



Prise en compte des effets environnementaux de l'éducation numérique dans l'UE

Cette étude a été initiée dans le cadre du projet Erasmus+
Green IT for VET Providers



Prise en compte des effets environnementaux de l'éducation numérique dans l'UE

Table des matières

Introduction	03
Les motivations	10
Méthodologie qualitative	14
Enquête	21
Méthodologie de l'analyse d'impact	27
Création du scénario	35
Résultats	46
Recommandations	70
Conclusion	73
Références	74
Annexes	86

01. Introduction

Chaque pas que nous faisons a une empreinte

De nos jours, chaque fichier possède une version numérique de sa version analogique, et cette conversion s'appelle la numérisation. Tous les individus, organisations et secteurs ont adopté cette méthode et migrent les informations nécessaires vers des environnements numériques. Les prestataires de l'Enseignement et de la Formation Professionnelle (EFP) s'échappent pas à la règle. Cependant, chaque opportunité a un impact, chaque pas que nous faisons a une empreinte, et dans le monde numérique, cela se traduit par un impact sur l'environnement.

Green IT for VET

L'enseignement à distance est régulièrement cité comme une opportunité de réduire les impacts environnementaux de l'éducation en diminuant les déplacements vers et depuis le lieu d'apprentissage et en réduisant les installations d'enseignement.

Selon SMARTer 2030 (n.d.), la formation indépendante du lieu d'apprentissage pourrait permettre d'économiser 5 milliards de litres de carburant et plus de 90 millions de tonnes de papier. Cependant, ces chiffres sont très controversés, tant au niveau de la portée de l'étude que des méthodologies adoptées (Roussilhe, 2021). En effet, des limites importantes ont été identifiées dans ces études (Longaretti et al., 2021 ; Rasoldier et al., 2022), telles que l'extrapolation de données statistiques non représentatives ou l'utilisation d'hypothèses trop optimistes.

La priorité du secteur de l'EFP était de numériser les supports d'apprentissage afin d'améliorer l'apprentissage numérique, mais ce secteur doit désormais tenir compte de l'impact environnemental causé par cette technologie, qui s'est accéléré depuis la crise COVID-19. Par conséquent, les prestataires d'EFP doivent procéder à des changements stratégiques et organisationnels pour mettre en œuvre un processus d'ingénierie de formation responsable pour développer leurs contenus de formation numériques.



01. Introduction

Notre partenariat

GIVE

vise à réduire l'impact environnemental de la formation numérique, à promouvoir les compétences numériques responsables pour les fournisseurs d'EFPP et à contribuer à l'innovation dans le secteur de la formation.

Le projet GIVE (Green IT for VET Providers) vise à réduire l'impact environnemental de la formation numérique, à promouvoir les compétences numériques responsables pour les fournisseurs d'EFPP et à contribuer à l'innovation dans le secteur de la formation.

La première étape du projet a consisté à mener une étude sur les pratiques des professionnels du secteur de l'EFPP en matière de développement et de mise en œuvre de formations numériques. Ce livre blanc a été produit sur la base des résultats de cette étude et étudie les impacts de certaines de ces pratiques.

Dans le cadre du projet, nous avons également développé une formation digitale d'introduction au numérique responsable pour les acteurs de l'éducation et de la formation. Elle est accessible en accès libre et gratuit, en 3 langues (français, anglais, portugais) sur la plateforme My Green Training Box.^[1]

Les partenaires du projet sont :

My Training Box est une Edtech française qui développe des solutions de formation numérique. Sa gamme de solutions comprend des systèmes de gestion de l'apprentissage, des contenus de formation numérique (vidéo, podcast, texte, évaluations) et des services de conseil. My Training Box a développé My Green Training Box, la première plateforme de diffusion de

formations numériques en libre accès sur le développement durable dans plusieurs secteurs (agriculture, construction écologique, RSE, santé...).

Hubblo, est une start-up française spécialisée dans l'évaluation de l'impact environnemental des services et systèmes numériques. Hubblo développe et s'appuie sur des méthodes ouvertes, des données et des outils open-source.

COFAC est une coopérative à but non lucratif, responsable de la gestion de l'université de Lusófona au Portugal. L'université propose un grand nombre de formations professionnelles et continues selon le paradigme du développement de la formation tout au long de la vie.

EVTA (Association européenne pour la formation professionnelle) est basée en Belgique. Elle est le résultat de la coopération entre les prestataires d'EFPP de différents pays de l'UE dans le cadre du projet Euroqualification. Elle est devenue une partie prenante importante dans le domaine du développement du capital humain, en participant à diverses coopérations, en apportant son soutien aux organisations membres et en veillant à ce que leurs besoins et leurs attentes soient satisfaits. Elle se concentre sur le développement de l'EFPP dans le cadre défini par la stratégie Europe 2020.

^[1] www.mygreentrainingbox.com

02. Les motivations

2.1 L'impact des TIC

Impacts directs

Malgré leur apparente immatérialité, les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont des impacts environnementaux majeurs qui ne peuvent être négligés. En effet, les services numériques reposent sur des actifs physiques, qui sont responsables de dommages environnementaux. Dans une étude européenne publiée en 2021 pour le groupe parlementaire européen des Verts/ALE, il a été évalué que les TIC représentent 4,2% des émissions européennes de GES. L'utilisation^[2] des TIC représente 9,3 % de la consommation européenne d'électricité. Plus problématique, ces impacts augmentent rapidement et pourraient atteindre 6 à 8 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2025.

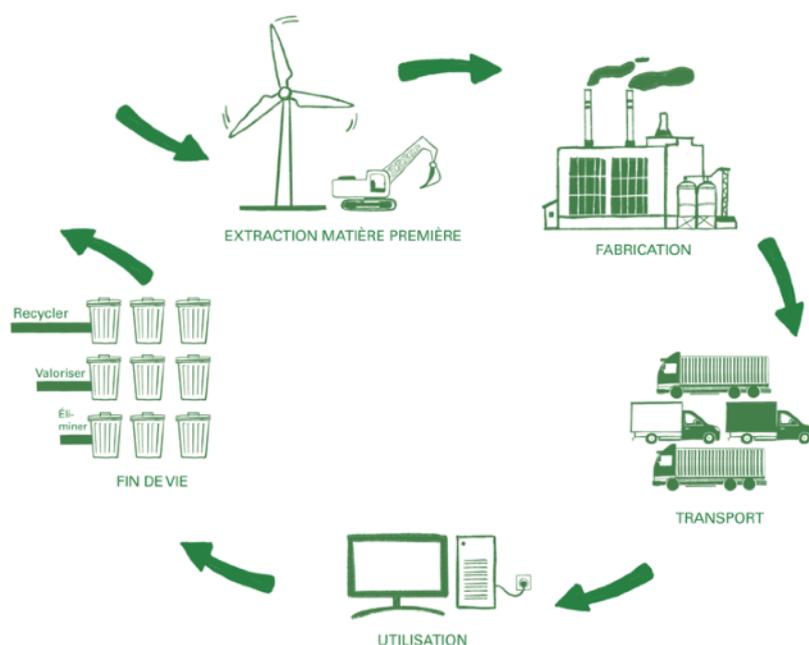


Figure 1. Diagramme du cycle de vie

Les incidences des TIC sur l'environnement se produisent à toutes les étapes du cycle de vie de l'équipement et de l'infrastructure informatiques.

Ces étapes sont généralement décrites comme suit : l'acquisition des matières premières, qui correspond aux impacts liés à l'extraction et à la production des matières premières, la phase de fabrication, qui correspond aux impacts de la production du produit final à partir des matières premières, le transport du produit final vers son lieu d'utilisation, la phase d'utilisation, qui correspond aux impacts induits par l'utilisation des produits - dans le contexte

des TIC, les impacts liés à l'utilisation sont principalement induits par la consommation d'électricité - et enfin, la phase de fin de vie, qui correspond aux impacts associés au traitement des déchets - qu'ils soient recyclés, récupérés ou mis au rebut. En Europe, 53 % des émissions de gaz à effet de serre des appareils destinés aux utilisateurs finaux se produisent en dehors de la phase d'utilisation. Il est donc important de prendre en compte toutes ces étapes du cycle de vie pour rendre compte de l'ensemble des impacts d'un produit ou d'un service numérique.

[2] Phase d'utilisation des équipements et infrastructures sur le sol européen

L'impact des TIC

2.1.1 Impacts directs

Les TIC ont des incidences sur l'environnement tout au long de leur chaîne de valeur. L'un des éléments les plus importants de la chaîne de valeur est l'impact des équipements des utilisateurs finaux. En Europe, les équipements des utilisateurs finaux sont responsables de 65,6 % des émissions de gaz à effet de serre des TIC. Mais d'autres éléments de la chaîne de valeur doivent également être pris en compte, tels que l'impact lié à l'infrastructure de réseau (TIER 2), et enfin le centre de données (TIER 3), qui sont tous deux responsables des 34,4 % restants des émissions de gaz à effet de serre des TIC en Europe. Il convient de noter que ces chiffres ne prennent en compte que les infrastructures présentes en Europe. Les TIC sont une chaîne de valeur mondialisée, et de nombreux services utilisés en Europe sont hébergés en dehors de l'Europe. Il est donc probable que les impacts liés au TIER 3 soient sous-estimés.

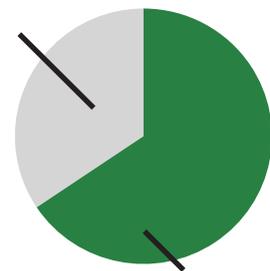
Enfin, les incidences environnementales des TIC ne se limitent pas aux émissions de gaz à effet de serre. En effet, les TIC sont un grand consommateur de ressources fossiles et minérales non renouvelables. La phase de fabrication des équipements informatiques fait appel à de nombreux types de minéraux, et ces matériaux sont en concurrence avec d'autres secteurs tels que les énergies renouvelables. Il est essentiel

de prendre en compte ces impacts pour comprendre l'ensemble des effets environnementaux induits par les technologies numériques. Cette étude se concentre sur les émissions de gaz à effet de serre pour rendre compte du réchauffement climatique, en raison du manque de données environnementales publiques sur notre périmètre. **Cependant, il faut garder à l'esprit que l'apprentissage numérique cause d'autres dommages environnementaux, et que les solutions pour les réduire doivent être mises en œuvre sans omettre ces autres impacts.**

65,6%

des émissions de gaz à effet de serre des TIC.

TIER
2 & 3



TIER 1
les équipements
des utilisateurs
finaux

L'impact des TIC

2.1.2 Effets d'habilitation

Les TIC sont souvent présentées comme un moyen de réduire les incidences environnementales d'autres secteurs. Ces types d'effets ont été définis sous différentes appellations, telles que l'effet d'habilitation, l'effet de réduction, les impacts positifs ou le scope 4.

On peut définir deux mécanismes principaux par lesquels les TIC peuvent réduire les impacts environnementaux d'autres activités : **l'effet d'optimisation**, qui correspond à la réduction de l'impact d'un processus de référence par l'intégration de composants informatiques, et **l'effet de substitution**, qui correspond à la numérisation d'un processus polluant.

La mesure de ces effets n'entre pas dans le cadre de cette étude car les méthodologies permettant de les prendre en compte sont encore très immatures. Néanmoins, nous avons décidé d'identifier les avantages environnementaux potentiels de l'apprentissage numérique et de les examiner dans la partie qualitative de notre étude.

Exemple de substitution

Un compteur intelligent peut remplacer les relevés d'énergie manuels, réduisant ainsi la nécessité d'une voiture pour déplacer un agent.

Exemple d'optimisation

Un GPS permet d'optimiser la durée et la distance d'un trajet, ce qui induit une réduction possible de la consommation de carburant associée à ce trajet.

L'impact des TIC

2.1.3 Effets indirects

Les effets indirects des TIC sont des phénomènes socio-économiques résultant du déploiement et de l'utilisation de produits ou de services numériques. Les impacts associés peuvent être supportés par le produit ou le service lui-même ou par des systèmes externes en conséquence du déploiement ou de l'utilisation du service.

Central dans la littérature sur ce sujet, l'"**effet rebond direct**" correspond à une augmentation de la consommation d'une technologie en raison d'une meilleure efficacité (coût, impacts, complexité, ressources...). L'effet rebond direct réduit l'effet d'abattement d'une technologie en le compensant par une augmentation de son utilisation. La capacité des TIC à accélérer la transformation des modes de production et de consommation est à l'origine de plusieurs effets rebond décrits dans la littérature (Bieser & al. 2018 ; Gossart, 2015). Par ailleurs, l'effet rebond indirect correspond à la surconsommation d'un autre produit ou service en raison de la réduction d'une contrainte (prix, temps, complexité, ...) sur le service étudié obtenue grâce aux composants informatiques.

D'autres effets indirects ont été décrits dans la littérature, tels que le rebond de l'ensemble de l'économie ou la transformation systémique (Horner & al., 2016).

Exemple de rebond direct

La facilitation des déplacements grâce au GPS pourrait entraîner une augmentation absolue des déplacements.

Exemple de rebond indirect

Les économies réalisées grâce à l'optimisation de la consommation de chauffage au moyen de thermostats connectés peuvent être utilisées pour acheter des produits ou des services plus efficaces.

L'impact des TIC

2.1.3 Effets indirects

La numérisation semble induire de nombreux effets indirects (Börjesson & al., 2014) (Horner & al., 2016) (Hilty & al., 2015). La manière d'identifier ces effets et d'évaluer leur ampleur, que ce soit à l'échelle mondiale ou à l'échelle d'un service spécifique, n'est pas encore clairement définie. Pourtant, leurs impacts environnementaux peuvent être plus importants que leurs impacts directs (Hilty, 2018). Les analyses d'impact globales ne les prennent jamais en compte ; peu d'analyses plus restreintes les incluent. Il n'existe pas de consensus sur les méthodologies à utiliser pour identifier, évaluer et contenir les effets indirects de la digitalisation. Ces incertitudes rendent toute conclusion sur les bénéfices de la digitalisation très limitée (Santarius & al., 2020).

Nous proposons d'utiliser la classification donnée par Horner & al. (2016) détaillée dans le *tableau 1*. Nous ajoutons l'effet d'empilement induit par la substitution partielle d'un processus de référence - une partie du produit ou service numérisé est empilée sur le produit ou service existant sans le remplacer, ce qui entraîne une augmentation absolue des impacts. La mesure des impacts induits par ces effets n'entre pas dans le cadre de l'étude. D'une part, parce que les études existantes sur le sujet sont très préliminaires et, d'autre part, parce qu'il faudrait

analyser les systèmes externes affectés par ces effets, ce qui implique une étude plus globale.

Néanmoins, l'identification des effets indirects de la numérisation est une étape préliminaire pour les évaluations futures. En outre, elle apporte une vision plus large des impacts induits par l'apprentissage numérique et nous aidera à établir des recommandations pour aplanir les impacts induits par ces effets, même s'ils ne peuvent pas être mesurés.

Il est donc très difficile de déterminer l'impact net d'une solution. Néanmoins, pour donner une vue d'ensemble des résultats de l'apprentissage numérique en Europe, nous avons choisi de présenter à la fois les impacts directs, les impacts de facilitation et les impacts indirects. Les impacts directs seront évalués en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Les effets de facilitation et les effets indirects seront examinés dans la partie qualitative de notre travail.

Tableau 1, taxonomie des effets indirects de Horner & al. (2016)

Effet	Source
Efficacité/optimisation	Horner & al. (2016)
Substitution	Horner & al. (2016)
Effet d'empilement	-
L'effet rebond direct	Horner & al. (2016)
L'effet rebond indirect	Horner & al. (2016)
Rebond de l'économie (changement structurel)	Horner & al. (2016)
Transformation systémique	Horner & al. (2016)

02. Les motivations

2.2 L'apprentissage numérique

Qu'est-ce que l'apprentissage numérique ?

Dans le cadre du projet GIVE, nous avons défini l'apprentissage numérique comme toutes les activités d'enseignement et d'apprentissage qui font appel aux technologies numériques. Ces activités peuvent être synchrones ou asynchrones, à distance ou en face à face.

Tous les processus d'apprentissage et d'enseignement intègrent des ressources numériques :

- Auto-apprentissage sur un système de gestion de l'apprentissage (LMS)
- Cours de formation en ligne sur la vidéoconférence
- Apprentissage mixte
- Cours en face à face utilisant un ordinateur portable ou un tableau blanc interactif
- .../...

Pour le secteur de l'enseignement et de la formation professionnels (EFP), le numérique est incontestablement un vecteur de progrès. La formation tout au long de la vie prend tout son sens grâce à l'accès à des contenus en ligne via des MOOC, des plateformes d'enseignement à distance, des conférences en ligne et la rediffusion de nombreux webinaires. Les outils de visioconférence et d'enseignement

à distance ont permis de limiter le décrochage scolaire massif lors de la récente crise sanitaire. La réalité virtuelle permet l'apprentissage de gestes techniques très précis par la répétition dans un environnement sécurisé. L'intelligence artificielle permet d'individualiser les formations et de les adapter à l'apprenant.

Le numérique est également utile à la transition écologique, grâce par exemple aux applications destinées à optimiser la consommation d'énergie. Mais le numérique a aussi un impact, et son empreinte environnementale augmente chaque année.

On peut imaginer que l'apprentissage numérique est moins impactant que la formation présentielle, car il n'y a plus de transport - sauf si l'apprenant doit se déplacer pour suivre la formation numérique -, plus de papier - sauf si l'apprenant imprime les supports de cours -, plus de salles de formation à chauffer en hiver ou à ventiler en été - sauf si chaque participant chauffe ou ventile son propre domicile.

En raison du large éventail de circonstances, la frontière est ténue et l'apprentissage numérique doit être considéré dans son sens le plus large.

02. Les motivations

2.3 L'apprentissage numérique responsable

L'apprentissage numérique durable s'inscrit dans une démarche plus large qui intègre les piliers du développement durable et les notions de RSE pour proposer un numérique moins impactant pour la planète, mais aussi plus accessible à tous et porteur de valeur. Ces piliers sont les suivants :

L'accessibilité des contenus numériques

L'accessibilité numérique est une notion fondamentale mise en évidence par les lignes directrices pour l'accessibilité des contenus web (WCAG). Les contenus numériques sont-ils perceptibles, adaptables, distinguables, exploitables, navigables, compréhensibles et compatibles pour tous les utilisateurs ?

L'impact environnemental des contenus numériques

Développer des contenus numériques et des pratiques d'apprentissage ayant moins d'impact sur la planète et prenant en compte les meilleures pratiques numériques durables pour mettre en œuvre un apprentissage numérique durable.

Le cycle de vie des contenus numériques

Déterminer le cycle de vie d'une formation numérique est utile pour comprendre et gérer les contenus numériques depuis leur création jusqu'à leur fin de vie.

Enfin, l'objectif est toujours de créer de la valeur pédagogique à travers les contenus de formation numériques et de permettre aux apprenants d'améliorer leurs connaissances et leurs compétences. Les générations d'apprenants et les méthodes ont changé, nous devons nous adapter. Nous n'allons pas revenir en arrière sur le numérique et nous n'allons pas "recréer" l'école du siècle dernier. Mais réfléchissons à des contenus numériques plus simples, sans mettre en œuvre des productions numériques impactantes, et en plaçant nos savoirs et notre pédagogie en leur cœur.

02. Les motivations

2.4 Études existantes

Plusieurs études ont examiné les impacts environnementaux de l'éducation, en particulier dans l'enseignement supérieur (ES). Dans une revue systématique de la littérature, Valls-Val & Bovea (2021) ont rapporté un impact par étudiant de l'enseignement supérieur compris entre 0,06 et 10,94 tCO₂ eq. Si l'on tient compte des publications, les déplacements des étudiants sont l'une des sources les plus importantes d'émissions de carbone, la première ou la deuxième source d'impact en moyenne (Valls-Val & Bovea, 2021) (Filimonau & al, 2020). En Allemagne, Marieke & al. (2018) ont montré que 40 à 90 % des impacts des établissements d'enseignement supérieur pouvaient être attribués aux déplacements des étudiants. Dans une analyse qualitative, ils ont ensuite montré l'importance de se concentrer sur la motivation des étudiants à choisir leur moyen de transport comme première étape pour la réduction des impacts de l'enseignement supérieur (Marieke & al. (2020).

Il est intéressant de noter que peu d'études relatives à l'enseignement supérieur ont pris en compte les équipements électroniques dans leur analyse environnementale. Auger & al. (2021) ont développé un outil configurable pour modéliser les émissions de carbone induites par un étudiant de l'enseignement supérieur au cours d'une année. Ils tentent de prendre en compte les activités numériques, en considérant

uniquement les impacts carbone directs de l'équipement de l'utilisateur final. D'autre part, plusieurs études ont spécifiquement pris en compte les impacts environnementaux des plateformes d'apprentissage numérique.

Compte tenu de l'impact de l'éducation, d'autres études se sont concentrées sur la possibilité qu'offre l'apprentissage numérique de réduire cet impact. L'apprentissage numérique est souvent appelé apprentissage en ligne ou apprentissage à distance. Ces formulations peuvent avoir des significations différentes selon l'auteur. Différentes définitions ont été données pour catégoriser ces différents types de processus d'apprentissage. Pour certains, l'apprentissage numérique est défini par la distance entre les participants, tandis que pour d'autres, c'est la proportion de contenu fourni en ligne qui caractérise l'apprentissage numérique. Allen & al (2003), par exemple, ont défini trois types d'apprentissage en ligne en fonction de la proportion de contenu fourni en ligne (*tableau 2*). L'apprentissage numérique pourrait également être défini par l'utilisation de services ou d'équipements numériques dans le contexte de l'apprentissage. Si on le définit comme tel, on peut affirmer que la prévalence des services et équipements numériques dans l'environnement éducatif des pays développés fait que la grande majorité du processus éducatif est, d'une certaine manière, déjà numérisée.

02. Les motivations

2.4 Études existantes

Tableau 2, définition de l'apprentissage en ligne en fonction de la proportion de contenu en ligne Allen & al. 2003

Proportion du contenu diffusé en ligne	Type de cours	Description typique
de 1 à 29%	Facilité par le web	Cours qui utilise la technologie du web pour faciliter ce qui est essentiellement un cours en face à face. Il peut s'agir d'utiliser Blackboard ou WebCT pour publier le programme et les devoirs, par exemple.
de 30 à 79%	Mixte/Hybride	Cours qui est un mélange de cours en ligne et de cours en face à face. Une part importante du contenu est fournie en ligne, des discussions en ligne sont généralement organisées, et quelques réunions en face à face ont lieu.
80+%	En ligne	Cours dont la majeure partie du contenu est dispensée en ligne. Généralement, il n'y a pas de réunions en face à face.

La réduction potentielle permise par l'apprentissage numérique repose sur sa capacité à remplacer les déplacements des participants ou à optimiser la consommation d'énergie liée aux établissements d'enseignement. Plusieurs publications ont examiné les impacts nets de l'apprentissage numérique. Alors que certaines n'ont rapporté que les émissions évitées, d'autres ont pris en compte les nouveaux impacts directs induits par l'apprentissage numérique. Dans une étude comparative entre une période normale et une période de fermeture dans une université britannique, Filimonau & al (2020) ont rapporté une réduction des impacts plus faible que prévu en raison d'une quantité

fixe de ressources nécessaires au fonctionnement de l'université (salle informatique, services généraux, etc.) et des nouvelles émissions induites par le logement des étudiants et du personnel (chauffage, appareils numériques, ...). En outre, il est important de noter que la substitution de l'apprentissage traditionnel par l'apprentissage numérique s'est avérée incomplète (Filimonau & al, 2020) (Marieke & al., 2020). Coroama & al. (2020) ont souligné l'importance de tenir compte de la substitution partielle lors de la réalisation d'une analyse nette.

D'après la littérature analysée, bien que certaines études aient mentionné l'importance de prendre en compte

les impacts indirects de l'apprentissage numérique (Caird & al., 2015), aucune étude ne les a intégrés. Cependant, certaines études ont abordé les impacts indirects liés à un processus similaire : le home office ou le télétravail (ADEME, 2020).

Enfin, le gain environnemental potentiel résultant de l'apprentissage numérique devrait être équilibré par ses implications sociales. Afin de tenir compte de ces implications sociales, Marieke & al. (2018) ont agrégé les avantages et les inconvénients liés à son déploiement selon les praticiens.

03. Méthodologie qualitative

Dans la section suivante, nous présentons la méthodologie utilisée pour la partie qualitative de notre travail.

Les principaux objectifs de notre étude qualitative sont (1) d'identifier des comportements d'utilisation hétérogènes en Europe concernant l'apprentissage numérique afin de les inclure dans notre enquête et dans notre modèle d'impact configurable, et (2) d'identifier des modifications dans les modèles de consommation ou de production (c'est-à-dire des effets indirects) induits par l'apprentissage numérique.

Étant donné que nous menons une recherche exploratoire, nous ne voulons pas présupposer une définition trop précise des services d'apprentissage numérique. Cependant, nous avons encore besoin de certains éléments pour lancer l'étude. Par exemple, nous devons identifier les parties prenantes qui devraient être invitées à participer aux discussions.

3.1 Définition du champ d'application de l'étude

3.1.1 Phases de vie

Même si l'étude est motivée par une analyse qualitative de l'usage, cela ne signifie pas que l'on n'étudie que la phase "utilisation" du système. Des études ont mis en évidence l'importance des impacts des autres phases d'utilisation (fabrication, fin de vie, transport). Il est essentiel de considérer toutes les étapes du cycle de vie du service étudié pour éviter les transferts de pollution^[3] d'une phase à l'autre.

3.1.2 Identification des parties prenantes

Nous ne voulons pas présumer excessivement de la portée du processus étudié, puisqu'il s'agit d'un résultat de l'analyse qualitative. Cependant, pour discuter de l'utilisation du service étudié, nous devons identifier les parties prenantes impliquées dans le processus. Nous avons mené des entretiens avec des enseignants et des apprenants universitaires, ainsi qu'avec des fournisseurs de plates-formes impliqués dans le projet GIVE. Nous avons identifié certains liens entre eux afin d'orienter nos questions (*figure 2*).

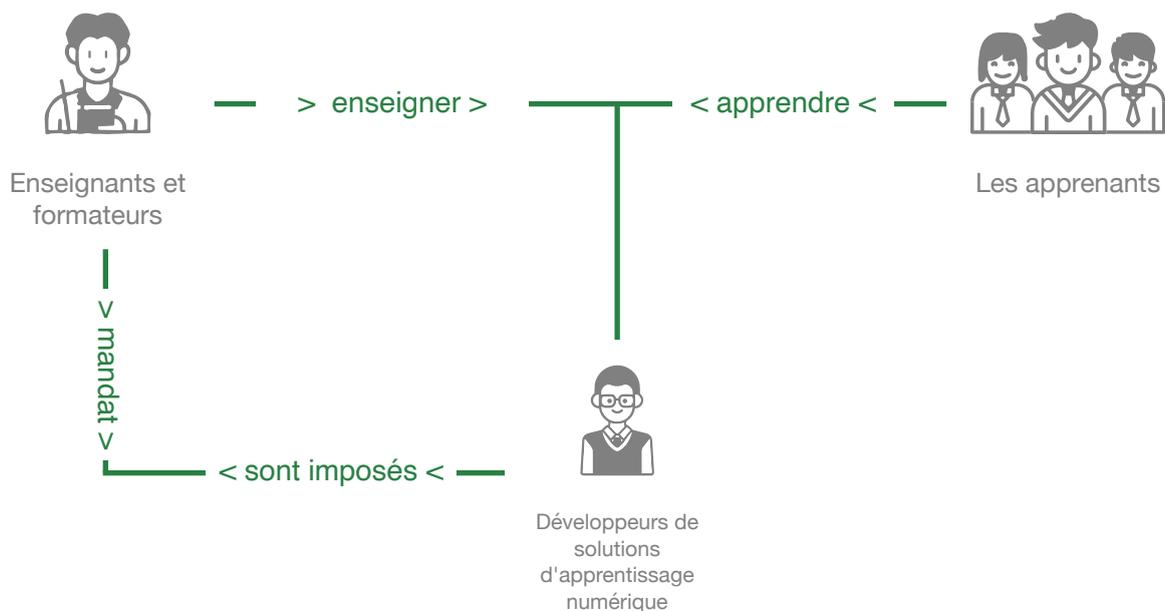


Figure 2, identification des parties prenantes et de leurs relations dans le contexte de l'apprentissage numérique

^[3] Le transfert de pollution correspond à un transfert d'impact d'un critère environnemental à un autre critère d'impact environnemental.

03. Méthodologie qualitative

3.2 Groupes de discussion

Nous avons décidé d'utiliser des groupes de discussion comme méthodologie qualitative. Cette décision a été motivée par la capacité de ces types de groupes à produire des données à partir de l'interaction des participants. Dans une discussion de groupe modérée, les participants devront positionner leurs pratiques et expériences en tenant compte des réponses des autres participants. De plus, la nature collaborative du groupe de discussion permet de réagir et d'ajouter des informations que les participants n'auraient pas envisagé de mentionner dans un questionnaire ou un entretien individuel. Enfin, les focus groups sont rentables puisqu'ils permettent de collecter des

données sur plusieurs participants en même temps (Kontio & al., 2008). Bien que les groupes de discussion puissent être utilisés pour obtenir des données concernant les attitudes, les sentiments, les croyances, les expériences, les réactions, les idées, la compréhension et les perceptions, (Prudence Plummer-D'Amato, 2017) (Gibbs, 1997) nous voulons principalement nous concentrer sur les expériences d'apprentissage numérique des participants. Kontio & al (2008) ont montré que les groupes de discussion étaient bien adaptés à la collecte de données relatives aux expériences dans le contexte du génie logiciel. Nous montrons dans le *tableau 3* comment ces questions sont liées à nos objectifs. Les

groupes de discussion ont été largement utilisés dans les phases exploratoires des études comme moyen d'apporter de nouvelles hypothèses sur un sujet spécifique ou de conduire une étude secondaire (Anita Gibbs, 1997) (Kontio & al, 2008). Étant donné que les groupes de discussion sont menés sur un très petit échantillon d'une population, les résultats de la partie qualitative de notre travail ne seront pas extrapolés à l'ensemble de la population étudiée, mais seront utilisés pour fournir un cadre à la construction de notre enquête, à la création d'un modèle et à l'émission d'hypothèses concernant les effets indirects de l'apprentissage numérique.

Tableau 3 : Relation entre la question abordée par le groupe de discussion selon Kontio & al. (2008) et nos objectifs

Questions abordées par le groupe de discussion selon Kontio & al. (2008)	Objectifs de notre étude
"Reconnaître une expérience passée qui peut être étudiée plus en détail par d'autres méthodes.	Mettre en évidence l'expérience passée de l'apprentissage numérique afin d'alimenter une étude quantitative
"Évaluation initiale des solutions potentielles, sur la base des commentaires des praticiens ou des utilisateurs".	Identifier l'acceptabilité des bonnes pratiques données par les participants
"Recueillir des recommandations sur les "enseignements tirés".	Mettre en évidence l'évolution potentielle des habitudes induite par l'apprentissage numérique
"Identifier les causes profondes potentielles des phénomènes	Identifier les comportements d'utilisation et les dynamiques sociales qui soutiennent les impacts évalués

Groupes de discussion

3.2.1 Conception des groupes de discussion

Tableau 4, liste des groupes de discussion

PAYS	INSTITUTION	TYPE DE PARTICIPANT	ANIMATEUR
France	Professionnel	Fournisseur de plateforme	Hubblo & MGTB ^[4]
France	Professionnel	Formateurs	Hubblo & MGTB
France	Universités	Apprenants	Hubblo & MGTB
Portugal	Universidade Lusófona	Formateurs	Universidade Lusófona
Portugal ^[5]	Universidade Lusófona	Apprenants	Universidade Lusófona
Belgique	Professionnel	Formateurs	EVTA

Nous avons organisé 6 groupes de discussion. Nos groupes de discussion ont été conçus pour être menés avec 3 à 6 participants. Les participants n'ont pas été rémunérés pour leur participation. Nous avons segmenté nos groupes de discussion en fonction du rôle du participant dans le processus d'apprentissage numérique :

- ▶ Apprenant/Étudiant
- ▶ Formateur/enseignant
- ▶ Plate-forme et fournisseur de contenu

Afin de couvrir une variété de contextes, nous avons organisé les groupes de discussion dans trois pays européens différents, dans des contextes professionnels et académiques, chacun couvrant un domaine d'étude différent. Les partenaires du projet GIVE ont animé chacun un à trois groupes de discussion.

Le groupe de discussion étant un moyen de mettre en évidence la typologie d'utilisation la plus large, nous avons décidé d'avoir un large éventail de profils socio-économiques et d'expériences. Nous n'avons pas cherché la représentativité, puisque nous recherchons une grande variété d'expériences et de pratiques, mais nous avons cherché l'hétérogénéité. Pour les apprenants, nous avons sélectionné des participants issus de différents domaines d'études, pour les créateurs de contenus et de plateformes, nous avons sélectionné des personnes développant différents contenus numériques sur différents supports, pour les formateurs, nous avons sélectionné des participants issus de différents domaines et utilisant différents supports d'apprentissage numériques. Nous avons supposé que l'apprentissage

numérique fût devenu courant en Europe depuis le verrouillage de la COVID-19. Nous avons essayé de sélectionner à la fois des experts qui avaient une expérience avant COVID-19 et des participants récemment impliqués dans de tels processus afin de mettre en évidence la spécificité de l'apprentissage numérique en tant que contrainte.

Nous n'avons pas organisé de recrutement excessif car nous avons eu quelques difficultés à trouver suffisamment de participants pour chaque groupe de discussion. L'un des groupes de discussion a été transformé en entretien en raison du manque de participants.

Un questionnaire a été envoyé pour recueillir des données sur chacun des participants afin d'éviter une collecte de données en direct qui aurait fait perdre du temps à la discussion.

^[4] My Green Training Box

^[5] Ce groupe de discussion a été transformé en entretien en raison d'un manque de participants

Groupes de discussion

3.2.2 Conduite des sessions de groupes de discussion

Un format de 2 heures - 4 thèmes principaux

Nous avons choisi un format de 2 heures en raison de la disponibilité limitée des participants. Nous avons identifié 4 thèmes principaux de discussion.

- Méthodes d'enseignement
- Évolution des pratiques
- Outils : Technologies et équipements
- Perception : avantages et inconvénients

12 questions à traiter

Nous avons dressé une liste de 12 questions à traiter. Nous n'avons pas pu poser toutes les questions, mais nous nous sommes principalement concentrés sur les 4 sujets dans chacun des groupes de discussion afin de recueillir des données sur les mêmes sujets dans l'ensemble des groupes de discussion. Nous avons présenté les objectifs et les règles aux participants de la manière suivante :

1. *Présentation du contexte de l'étude*
2. *Présentation des modérateurs et des participants*
3. *Demandez aux participants de remplir le questionnaire en ligne s'ils ne l'ont pas encore fait.*
4. *Remercier les participants pour leur présence*
5. *Informez les participants que les résultats de la session sont strictement confidentiels et qu'il n'y aura pas d'identification des réponses individuelles. Les résultats de la session seront strictement utilisés pour recueillir des informations sur la portée du projet actuel.*
6. *Demandez des réponses honnêtes et rappelez-vous qu'il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises questions.*
7. *Durée estimée : 120 minutes.*
8. *Demandez qu'il n'y ait pas de conversations parallèles ou privées et que la discussion de groupe se déroule de manière civilisée et ordonnée.*

Nous avons informé les participants de tout changement de sujet. Nous avons présenté les sujets dans l'ordre suivant :

1. *Les méthodes d'enseignement*
2. *Évolution des pratiques*
3. *Les outils : Technologie et équipement*
4. *Perception : avantages et inconvénients*

Groupes de discussion

3.2.2 Conduite des sessions de groupes de discussion

Nous avons choisi une table ronde classique où les participants étaient autorisés à réagir aux déclarations de n'importe quel participant. L'ordre de parole a été fixé de manière aléatoire et modifié entre deux questions. Nous avons essayé de répartir le temps de parole de manière égale entre les participants.

Le modérateur a pris quelques notes afin de faciliter l'animation. Toutes les sessions ont été enregistrées, et les sessions menées en français et en anglais ont été transcrites. Nous avons d'abord généré une transcription à partir d'une API de conversion de la parole en texte, puis nous avons revu manuellement chacune des transcriptions afin d'en améliorer la qualité.

Nous avons essayé de paraphraser les expériences et les perceptions des participants entre chaque sujet afin de valider notre compréhension de leurs déclarations.

Nous avons conclu les groupes de discussion en posant les questions suivantes :

Souhaitez-vous ajouter un élément qui n'a pas été abordé et que vous jugez pertinent ?

Avez-vous des suggestions ou des idées sur la manière d'identifier les ressources utilisées dans le cadre de l'apprentissage numérique ?

Enfin, nous avons remercié les participants et leur avons dit que nous leur ferions part des résultats de la recherche en cours.

Groupes de discussion

3.2.3 Analyse des données

Un travail d'étiquetage a été réalisé à partir de l'enregistrement vidéo, des notes et des transcriptions. L'objectif de cette étape était d'extraire les comportements d'usage et les impacts indirects des expériences des participants. Cette étape étant exploratoire, elle a été menée de manière itérative en collaboration avec les partenaires du projet GIVE.

Nous avons utilisé "Taguette"^[6], une application libre qui permet de manipuler des données qualitatives à partir de documents textuels. Nous avons d'abord créé les étiquettes indiquées dans le *tableau 5* et utilisé l'outil pour étiqueter le texte en conséquence. Les définitions de chaque étiquette ont été créées de manière itérative, en fonction de ce qui a été identifié dans le texte.

Des citations sont fournies dans la section des résultats lorsque cela est nécessaire. Les noms des entreprises, des lieux et des personnes sont rendus anonymes. Les mots parasites sont supprimés. Outre les résultats des groupes de discussion, nous avons utilisé des références bibliographiques pour confronter nos résultats à d'autres études lorsque cela s'avérait nécessaire.

Tableau 5, description de l'étiquette

Nom de l'étiquette	Description
Ressource logicielle	Élément lié aux logiciels utilisés dans un processus d'apprentissage numérique
Ressources matérielles	Éléments liés aux appareils numériques utilisés dans un processus d'apprentissage numérique
Comportements d'utilisation spécifiques	Un comportement intéressant, qui diffère de ce qui a été observé dans la littérature ou dans d'autres groupes de discussion
Effets indirects	Une déclaration qui décrit un effet indirect potentiel induit par l'apprentissage numérique
Causes	Une déclaration qui décrit la cause d'un comportement
Covid-19	Éléments spécifiques à la période COVID-19 (verrouillage, couvre-feu, limitation de la mobilité,...)
Bonnes pratiques	Pratiques définies comme bonnes pratiques environnementales par les utilisateurs

^[6] <https://www.taguette.org/>

04. L'Enquête

Une enquête a été élaborée pour atteindre deux objectifs distincts : fournir des données indispensables au développement du module d'évaluation de l'impact et fournir des informations qui peuvent être utilisées pour des recherches futures et des applications pratiques. À cet égard, certaines de ces idées devraient informer les parties prenantes et les décideurs importants sur les meilleures stratégies à mettre en œuvre dans les politiques futures afin de garantir que la durabilité devienne une pierre angulaire des politiques éducatives.

Cette enquête a été menée entre septembre et décembre 2022. La procédure d'échantillonnage peut être définie comme un échantillon de commodité avec une approche en boule de neige, puisque chaque organisation participante était responsable de contacter ses propres contacts, et que chaque contact était également invité à contacter ses partenaires et à agir en tant qu'agent de diffusion. L'échantillonnage en boule de neige est une stratégie d'échantillonnage non probabiliste couramment utilisée dans les études menées en ligne, comme celle-ci, et axées sur des résultats technologiques, ce qui permet non seulement d'étendre la portée géographique, mais aussi d'adopter une approche plus large et plus complète de la collecte de données. En ce qui concerne le calcul de la taille de l'échantillon, aucune procédure formelle n'a été définie, étant

donné que les critères d'évaluation (résultats) et la nature de la présente étude sont essentiellement exploratoires. Toutefois, le consortium s'est fixé pour objectif de collecter un échantillon minimum de 300 parties prenantes dans le contexte de l'éducation et de la formation. Il s'agit non seulement d'étudiants et d'apprenants, mais aussi d'enseignants, de formateurs et de créateurs de matériel pédagogique. En outre, étant donné qu'il était possible de tirer parti des partenaires précédents et des collaborations en cours, l'échantillon comprenait également les personnes - bien que dans une proportion plus limitée - qui sont responsables de la gestion et de la prise de décision dans les établissements d'enseignement et de formation.

Pour mettre en œuvre une bonne stratégie de collecte de données, chaque partenaire avait un objectif spécifique : collecter chacun 100 questionnaires en France, au Portugal et à l'international. Dans l'ensemble, les objectifs de la collecte de données ont été atteints et dépassés, l'échantillon final de l'analyse comprenant 372 participants répartis dans la plupart des pays européens. Cela donne une bonne représentation du paysage européen, bien qu'aucun calcul formel de la taille de l'échantillon n'ait été effectué. Pour cette raison, aucune analyse inférentielle n'a été réalisée et les généralisations sur les résultats de l'enquête doivent donc être faites avec prudence.



L'Enquête

4.1 Structure de l'enquête et questions

372

ont répondu à l'enquête. La majorité de l'échantillon était composée de femmes, les cohortes d'âge les plus représentées étant les 19-24 ans, les 45-54 ans et les 35-44 ans (voir tableau 6).

L'enquête a été élaborée par une équipe d'experts des institutions participantes. Tout d'abord, les variables concernant la caractérisation de l'échantillon ont été identifiées. Ensuite, trois scénarios ont été élaborés sur la base des conclusions de la méthodologie exploratoire utilisée dans le groupe de réflexion. Enfin, une série de questions pour la caractérisation de chaque scénario a été identifiée, en essayant, dans la mesure du possible, de créer une structure cohérente qui serait commune à tous.

Par conséquent, les quatre sections suivantes ont été utilisées pour la mise en œuvre de l'enquête :

1. Caractérisation de l'échantillon - Sexe, pays, âge, rôle dans le contexte éducatif et équipement numérique utilisé dans les activités quotidiennes ;
2. Scénario 1 - 1 heure de cours par vidéoconférence (apprentissage synchrone en ligne) - outils de vidéoconférence utilisés, déplacement, distance, mode de transport et raison du déplacement, appareils numériques achetés ;
3. Scénario 2 - 1 heure de cours d'auto-apprentissage (apprentissage asynchrone en ligne) - appareils numériques utilisés pendant le cours,

temps nécessaire à l'élaboration du matériel pour un cours d'une heure, matériel numérique utilisé, outils de communication utilisés, déplacement, distance, mode de transport et raison du déplacement, appareils numériques achetés ;

4. Scénario 3 - 1 heure d'apprentissage en face à face (apprentissage synchrone en classe) - équipement numérique utilisé, contenu numérique utilisé, impression du matériel, déplacement, distance, mode de transport et raison du déplacement, appareils numériques achetés.

La plupart des variables collectées dans la présente enquête concernant la caractérisation des pratiques dans chacun des scénarios ont été utilisées pour le développement de l'évaluation d'impact et sont donc expliquées dans la section 5 du présent livre blanc.

L'Enquête

4.2 Caractérisation des répondants et résultats des scénarios

L'enquête a été complétée par 372 participants. La majorité de l'échantillon était composée de femmes (n = 211, 56,7 %), les cohortes d'âge les plus représentées étant les 19-24 ans (n = 94, 25,3 %), les 45-54 ans (n = 89, 23,9 %) et les 35-44 ans (n = 74, 19,9 %) (voir tableau 6).

Le tableau 7. montre le rôle des répondants dans leur organisation. Environ un tiers de l'échantillon est composé d'enseignants ou de formateurs, les apprenants représentant le groupe le plus important parmi les participants à l'étude (n = 132, 35,5 %).

En ce qui concerne la question "Apportez-vous habituellement vos propres appareils numériques ou utilisez-vous les appareils de l'école, de l'université ou de l'entreprise ?", 47% (n = 175) de l'échantillon apportent leur propre appareil numérique au travail, tandis qu'un peu plus de la moitié de l'échantillon utilise l'appareil numérique de l'organisation (n = 95, 25,5%) ou les deux (n = 96, 25,8%).

Tableau 7. Quels sont les équipements que vous n'utilisez pas dans le cadre de vos activités professionnelles quotidiennes ?

	n	%
Enseignant	52	14,0
Formateur	71	19,1
Apprenant	132	35,5
Gestionnaires et concepteurs de l'apprentissage numérique	53	14,2
Autres	58	15,6
Total	366	98,4
Manquant	6	1,6
Total	372	100,0

Tableau 6. Quel est votre âge ?

	n	%
Moins de 18 ans	3	0,8
19-24 ans	94	25,3
25-34 ans	61	16,4
35-44 ans	74	19,9
45-54 ans	89	23,9
55-64 ans	39	10,5
65 ans et plus	6	1,6
Total	366	98,4
Valeurs manquantes	6	1,6
Total	372	100,0

L'Enquête

4.2 Caractérisation des répondants et résultats des scénarios

L'étude a également évalué l'utilisation de l'équipement numérique par les répondants dans leurs activités quotidiennes (voir tableau 8). L'équipement numérique le moins utilisé est le tableau blanc interactif (n = 285, 81,7%), suivi de la tablette (n = 252, 72,2%) et de l'ordinateur de bureau (n = 227, 65%). A l'inverse, l'ordinateur portable (n = 12, 3,4%) et le smartphone (n = 54, 15,5%) sont les équipements dont la proportion de non-utilisation est la plus faible.

En ce qui concerne les résultats des scénarios, l'apprentissage synchrone en ligne (n = 263, n = 70,7%) est le scénario le plus courant, suivi de l'apprentissage synchrone en classe (n = 253, 68%) et de l'apprentissage asynchrone en ligne (n = 189, 50,8%).

En ce qui concerne le scénario d'apprentissage synchrone, le tableau 9 montre la répartition de l'utilisation de chacun des outils de vidéoconférence. Conformément aux pratiques qui ont suivi la pandémie, Zoom reste l'outil de vidéoconférence le plus utilisé (85,8%), suivi de Google Meet (36,7%) et de WebEX (8,4%). En ce qui concerne les pratiques numériques dans ce scénario, la plupart des utilisateurs gardent leur caméra allumée (74,9 %), partagent leur écran (83,7 %) et utilisent des outils de communication instantanée (87,5 %) et de collaboration (60,1 %). Seuls 20,5 % d'entre eux impriment leur matériel numérique. Enfin, seuls 23,2% des répondants ont dû acheter un nouvel appareil pour participer à l'activité d'apprentissage synchrone.

Tableau 8, Quels sont les équipements que vous n'utilisez pas dans vos activités professionnelles quotidiennes ?

	n	%
Smartphone	54	15,5 %
Ordinateur portable	12	3,4 %
Ordinateur de bureau	227	65,0 %
Tablette	252	72,2 %
Tableau blanc interactif	285	81,7 %
Beamer (Vidéoprojecteur)	194	55,6 %
Second écran	164	47,0 %
Microphone	183	52,4 %
Casque d'écoute	71	20,3 %
Total	1442	413,2 %

Tableau 9. Quels outils de vidéoconférence utilisez-vous ?

	n	%
Zoom	194	85,8 %
Google Meet	83	36,7 %
Teams	1	0,4 %
WebEX	19	8,4 %
Other	36	15,9 %
Total	333	147,3 %

Pour le scénario d'apprentissage en ligne asynchrone, le tableau 10 montre la répartition de l'utilisation des solutions numériques. Les textes (89,4 %), les quiz (89,4 %) et les vidéos (84,6 %) sont les plus couramment utilisés.

Tableau 10. Contenus et pratiques numériques dans le scénario d'apprentissage en ligne asynchrone

	n	%
Vidéo	159	84,6 %
Texte	168	89,4 %
Questionnaire	168	89,4 %
Audio	107	56,9 %
Autre	38	20,2 %
Streaming	137	72,9 %
Téléchargement	150	79,8 %
Impression	46	24,5 %
Total	973	517,6 %

En ce qui concerne les outils de communication utilisés dans le scénario d'apprentissage en ligne asynchrone (voir tableau 11), le courrier électronique (92,6 %), les systèmes de messagerie (95,8 %) et le forum (92,6 %) sont les options préférées. Seuls 13,2% des participants ont indiqué qu'ils avaient dû acheter un nouvel équipement numérique pour participer à ce scénario d'apprentissage.

Tableau 11. Outils de communication utilisés dans le scénario d'apprentissage en ligne asynchrone

	n	%
Forum	175	92,6 %
Email	183	96,8 %
Boîte aux lettres (remise des travaux)	158	83,6 %
Système de messagerie (chat, chat bot, etc.)	181	95,8 %
Total	697	368,8 %

Pour le troisième scénario, l'apprentissage synchrone en classe, deux variables spécifiques doivent être prises en compte. Tout d'abord, nous devons considérer le type de contenu numérique utilisé pendant une heure de ce scénario d'apprentissage. Le tableau 12 présente les contenus les plus fréquemment utilisés. Les diaporamas (94,8 %) sont utilisés par la quasi-totalité des participants au scénario, suivis par les contenus PDF (58,2 %). Dans ce scénario, 38,3 % des participants impriment leur matériel d'apprentissage, mais seulement 11,5 % ont dû acheter un nouvel équipement numérique pour participer au scénario.

Tableau 12. Type de contenu numérique utilisé pendant une heure de ce scénario d'apprentissage

	n	%
Présentation des diapositives	236	94,8 %
Vidéo	59	23,7 %
PDF	145	58,2 %
Autre	32	12,9 %
Total	472	189,6 %

Pour tous les scénarios, une variable est à noter. En ce qui concerne l'utilisation de l'équipement, le tableau 13 montre la proportion de non-utilisation de chaque équipement par scénario. Comme prévu, l'ordinateur portable est celui dont la proportion de non-utilisation est la plus faible dans tous les scénarios, tandis que le tableau blanc interactif est celui dont la proportion de non-utilisation est la plus élevée, quel que soit le scénario observé.

Tableau 13. Quel équipement n'utilisez-vous pas pour votre activité d'apprentissage d'une heure ?

	Apprentissage synchrone		Apprentissage en ligne asynchrone		Apprentissage en classe	
	n	%	n	%	n	%
Smartphone	140	54,1 %	116	62,4 %	122	48,6 %
Ordinateur portable	14	5,4 %	10	5,4 %	13	5,2 %
Ordinateur de bureau	201	77,6 %	148	79,6 %	200	79,7 %
Tablette	218	84,2 %	160	86,0 %	216	86,1 %
Tableau blanc interactif	233	90,0 %	181	97,3 %	219	87,3 %
Beamer (Vidéoprojecteur)	234	90,3 %	177	95,2 %	156	62,2 %
Second écran	133	51,4 %	95	51,1 %	171	68,1 %
Microphone	167	64,5 %	110	59,1 %	214	85,3 %
Casque d'écoute	117	45,2 %	70	37,6 %	191	76,1 %
Total	1457	562,5 %	1067	573,7 %	1502	598,4 %

4.3 Remarques finales

Comme nous l'avons vu précédemment, les objectifs de l'enquête étaient doubles. Certaines des variables qui ne sont pas abordées dans la présente section ont été utilisées pour alimenter le modèle qui sera examiné dans la section suivante de ce livre blanc. Une fois encore, bien que l'échantillon soit de taille intéressante, il convient de ne pas faire d'inférences étant donné l'absence de calcul formel de la taille de l'échantillon, la stratégie d'échantillonnage non probabiliste et la nature exploratoire de la présente étude. Il en va de même pour la comparaison entre les scénarios. Les résultats actuels constituent plutôt un tremplin pour de futures recherches qui pourront s'appuyer sur cette première approche exploratoire des pratiques numériques durables.

05. Méthodologie de l'analyse d'impact

Différents scénarios et comportements d'utilisation

L'un des principaux résultats de l'étude qualitative est la diversité des scénarios et des comportements d'utilisation. Nous avons créé un modèle qui correspond le plus précisément possible à nos résultats qualitatifs. Ce modèle a ensuite été appliqué à l'Europe à partir des résultats de notre enquête et pour plusieurs cas d'utilisation. Nous proposons de détailler ici la méthodologie d'évaluation de l'impact qui a été appliquée pour construire le modèle.

Nous avons choisi d'utiliser uniquement des données publiques. Ce choix est motivé par de multiples raisons :

- ◆ L'intention est de rendre cette étude aussi reproductible que possible.
- ◆ L'étude se concentre principalement sur les mécanismes à l'origine des impacts plutôt que sur les impacts eux-mêmes.
- ◆ Pour une limitation financière
- ◆ Pour la limitation dans le temps

En raison de ce choix et parce qu'il est difficile d'obtenir des données multicritères sur les composants numériques, seul le potentiel de réchauffement global (mesuré en équivalent carbone) sera évalué. Nous sommes conscients que l'évaluation de

l'impact environnemental doit être aussi multicritères que possible pour éviter les transferts de pollution et pour sensibiliser le public à la diversité des impacts causés par les activités humaines. Nous espérons que de futures recherches accessibles au public et axées sur l'analyse multicritères des composants numériques verront le jour.

De plus, nous avons choisi une approche ascendante, qui nécessite l'identification des ressources nécessaires à la réalisation d'un processus d'apprentissage numérique et qui agrège chacun de leurs impacts environnementaux sur l'ensemble de leur cycle de vie (fabrication, transport, utilisation, fin de vie). Nous avons essayé de respecter autant que possible la représentativité géographique et temporelle. Notre périmètre géographique est l'Union européenne, et l'année de référence est 2020. Si plusieurs données sont disponibles, c'est celle dont l'impact est le plus important qui est retenue, dans un souci de prudence.

Nous avons mis en évidence cinq ressources physiques principales impliquées (voir section 6.1) : *Le niveau 1* qui correspond aux appareils de l'utilisateur final, *le niveau 2* qui correspond au réseau entre l'utilisateur final et le centre de données, *le niveau 3* qui correspond aux services d'hébergement du centre de données, *le transport des personnes* et enfin *la consommation d'énergie domestique*.



5.1 Niveau 1

5.1.1 Fabrication, transport et fin de vie

Bordage & al. ont réalisé une étude pour le groupe parlementaire européen des Verts/ALE sur les impacts de l'utilisation des TIC en Europe (The Greens EFA, 2021). Nous avons utilisé les données de cette étude, qui fournit des facteurs d'impact moyens pour les équipements numériques ayant un périmètre européen. Les impacts pour le niveau 1 ont été rapportés par type d'appareil. Nous avons extrait les émissions de carbone liées à la fabrication, au transport et à la fin de vie (parfois appelées émissions intrinsèques) et les avons reportées dans le *tableau 7*. Nous nous sommes uniquement concentrés sur les appareils identifiés lors de notre étude qualitative : ordinateurs portables, tablettes, smartphones, ordinateurs de bureau et seconds moniteurs. Nous avons exclu les vidéoprojecteurs et les périphériques.

Pour répartir ces impacts sur un processus d'apprentissage numérique spécifique, nous avons décidé d'utiliser une répartition basée sur le temps d'utilisation. Nous avons choisi de nous baser sur la durée d'utilisation (c'est-à-dire la durée totale pendant laquelle l'appareil est utilisé au cours de son cycle de vie) plutôt que sur le temps de possession (c'est-à-dire la durée totale de possession). Cette approche nous permet d'attribuer la totalité des émissions incorporées de l'appareil aux services qu'il remplit, alors qu'une attribution basée sur le temps de possession n'attribuerait les temps d'arrêt et d'inactivité à aucun service.

Tableau 14. Émissions intégrées des appareils identifiés (The Greens EFA, 2021)

	Ordinateurs portables	Tablettes	Smartphones	Ordinateurs de bureau	Secondes surveillances
Changement climatique (kg CO2 eq.)	1,88E+02	1,00E+02	8,42E+01	2,80E+02	6,90E+01

5.1 Niveau 1

5.1.1 Fabrication, transport et fin de vie

Nous évaluons la durée d'utilisation du produit en fonction de l'utilisation moyenne par jour et de la durée de vie moyenne de chaque appareil (équation 1). L'impact total des émissions incorporées peut alors être réparti en fonction de la durée d'utilisation de l'équipement pendant la session de formation (eq 2). Nos hypothèses d'utilisation sont présentées dans le tableau 15.

(eq1) utilisation_de_la_vie

$$= \text{temps_d'utilisation_par_jour} * \text{durée de vie} * 365$$

(eq2) impact_d_on_p

$$= (\text{embodied_impact} / \text{life_usage}) * \text{process_usage_duration}$$

Tableau 15, hypothèses d'utilisation pour les émissions intrinsèques des appareils destinés aux utilisateurs finaux

Dispositif	Fréquence d'utilisation par jour heure_d'utilisation_p ar_jour (heure)	Durée de vie moyenne durée de vie (année)	Durée d'utilisation moyenne dans le cycle de vie durée de vie (heures)
 Ordinateurs portables	3,56	4	5197,6
 Tablettes	3 (hypothèses)	3	3285
 Smartphones	2,41	2,5	2199
 Ordinateurs de bureau	3,54	5,5	7107
 Secondes surveillances	3,8	6	8322

Par défaut, nous avons utilisé les données fournies dans le rapport ICT Impact study pour la durée de vie (VHK et Viegand Maagøe, 2020) et les données du Global Webindex Device Report (2020) pour la fréquence d'utilisation.

5.1 Niveau 1

5.1.2 Impact de l'utilisation

Dans le cas des appareils numériques, les impacts de l'utilisation se composent exclusivement des impacts induits par la consommation électrique directe (sur le réseau électrique) ou indirecte (sur les batteries). Ainsi, les impacts de l'utilisation peuvent être définis comme le produit de la durée, de la consommation d'énergie et du facteur d'impact électrique (eq3). La durée est donnée en entrée du modèle, en fonction de la durée moyenne de l'appareil dans le contexte du processus (1 heure par défaut).

(eq3) *impact_utilisation*

= durée * consommation_électrique * facteur_impact_électrique

La consommation d'énergie des appareils identifiés a été extraite de l'étude ICT Impact commanditée par la Commission européenne (VHK et Viegand Maagøe, 2020). Nous avons choisi d'utiliser la valeur de 2020 pour qu'elle corresponde à notre année de référence. Les valeurs sont exprimées en kWh par an. Nous avons utilisé le temps d'utilisation moyen par jour pour obtenir la consommation électrique moyenne par heure (eq 4).

(eq4) *consommation_électrique_horaire*

= conso. électrique annuelle / (Temps d'utilisation moyen par jour * 365)

D'une part, nous attribuons la consommation d'inactivité à la consommation d'utilisation moyenne. D'autre part, nous ne tenons pas compte de la variation de la consommation électrique, qui dépend de la charge de travail de l'appareil. Tous les chiffres sont présentés dans le *tableau A1*. Nous avons utilisé les facteurs d'impact électrique de Scarlat & al. (2022) basés sur le mix électrique des pays européens en 2019 agrégé par Eurostat (2020). Nous avons utilisé le facteur d'impact de l'électricité consommée à basse tension, qui comprend la perte en ligne et l'échange d'électricité entre les pays. Nous avons reporté un facteur d'impact pour chaque pays et une moyenne européenne dans le *tableau A2*. Le pays d'utilisation est un paramètre du modèle qui adaptera le facteur d'impact électrique dans les équations d'utilisation.

5.2 Niveau 2

Différentes approches ont été menées pour modéliser les impacts du réseau internet. Elles comprennent la modélisation, les mesures physiques ou l'utilisation de données secondaires (Aslan & al., 2017). Lors de l'attribution des impacts à un transfert de données spécifique sur le réseau, plusieurs stratégies ont été proposées.

L'*approche par Go* est la plus couramment utilisée. Elle consiste à évaluer les impacts globaux d'un réseau sur un périmètre spécifique et à les diviser par la quantité de données qui y transitent. Plusieurs études ont donné un facteur électrique tenant compte de la phase d'utilisation en kWh/Go (Coroama & Hilty, 2014) (Malmodin & Lunden, 2016) (The Shift Project, 2019).

Comme nous voulons prendre en compte toutes les phases du cycle de vie de notre service, nous ne pouvons pas utiliser ces facteurs d'allocation. D'autres études ont donné un facteur d'allocation en kgCO₂eq./Go sur tous les cycles de vie de la fonction réseau (The Greens EFA, 2021) (ARCEP & ADEME, 2022). La principale limite de l'*approche par GB* est qu'elle diffère du phénomène physique derrière le transfert de données. En effet, Malmodin & al. (2020) ont montré que les impacts causés par le transfert de données ne sont pas proportionnels au

volume de données transférées, mais plutôt fonction de la capacité installée.

Une autre approche pourrait consister à répartir les impacts sur la base du nombre de lignes impliquées dans le processus. L'impact d'une ligne sur un processus particulier peut alors être réparti sur la durée d'utilisation de la ligne par le processus (eq 5).

$$(eq5) \text{ ligne_d'impact_sur_processus} = (\text{ligne_d'impact_année} / \text{heure_d'utilisation_année}) * \text{durée_d'utilisation_processus}$$

D'autres approches existent pour répartir l'impact de manière marginale, avec une allocation d'impact fixe par ligne et une allocation d'impact variable basée sur le volume de données. Le modèle de puissance proposé par Malmodin & al. (2020) suit ce principe. Même si cette approche est prometteuse, nous manquons de données pour caractériser le profil de consommation des équipements de réseau, leur fabrication et leurs impacts en fin de vie.

Au lieu de cela, nous avons choisi de mettre en œuvre dans le modèle une approche *par gigaoctet* et *par ligne* et d'adapter l'approche en fonction du contexte. Afin de suivre une stratégie conservatrice, un processus à faible

volume devrait avoir un impact alloué par *ligne*, tandis qu'un processus à fort volume devrait être alloué sur une base *par GB*. Les facteurs d'allocation *par GB* et *par ligne* ont été extraits de l'étude réalisée pour le groupe parlementaire européen des Verts/ALE, tant pour les lignes mobiles que pour les lignes fixes (The Greens EFA, 2021). Ils sont présentés dans le *tableau 17*. Les impacts relatifs à l'utilisation, à la fabrication, au transport et à la fin de vie sont donnés de manière agrégée, ce qui ne permet pas de les présenter séparément. On peut poser comme hypothèse que le transfert de données européennes transite par l'Europe, il est donc acceptable d'utiliser ces données où l'impact de l'utilisation a été mesuré sur la base du facteur d'émission électrique européen.

Tableau 16, facteur d'émission du réseau (The Greens EFA, 2021)

Type d'allocation	Réseau mobile - Facteur d'impact (kgCo2eq.)	Fixer le réseau - Facteur d'impact (kgCo2eq.)
Par ligne	9,85	81,2
Par Go	0,096	0,0307

5.3 Niveau 3

Les services utilisés dans le contexte de l'apprentissage numérique sont principalement hébergés sous forme d'applications SaaS sur des nuages privés ou publics. Il existe peu d'études sur la manière d'attribuer les impacts des plateformes en nuage à l'utilisation de services spécifiques. En outre, les données relatives aux fournisseurs de services en nuage sont très rares et peuvent varier considérablement d'un fournisseur à l'autre.

Pour tenir compte du niveau 3, nous avons utilisé des sources secondaires de données qui ont utilisé une approche descendante pour attribuer l'impact d'un service commun à une unité fonctionnelle. Ils ont mesuré l'impact global de leur centre de données (CD), l'ont attribué aux différents services sur la base de l'utilisation des ressources physiques (eq 6) et ont finalement divisé l'impact par le nombre d'unités fonctionnelles en cours de traitement (eq 7).

Pour chaque type de service, nous avons extrait séparément la consommation électrique et l'impact de la fabrication afin de configurer l'impact de l'utilisation en fonction de l'emplacement du centre de données (qui dépend du facteur d'émission électrique de l'emplacement du centre de données). Les équations détaillées se trouvent dans le modèle.

Cette approche est très limitée puisqu'elle utilise les résultats d'une ou deux études seulement. Un plus grand nombre d'études rapportant des facteurs d'émission pour le niveau 3 serait nécessaire pour établir des facteurs d'impact empiriques.

Nous avons utilisé les facteurs d'impact électrique de Scarlat & al. (2022) indiqués dans le *tableau A2* pour les centres de données européens. Pour les autres pays, nous avons utilisé les facteurs d'impact électrique de l'*explorateur de données d'Ember Climate*^[7], qui indique les facteurs d'impact électrique pour la plupart des pays du monde.

$$(eq\ 6)\ Impact_service_n = total_impact_DC * service_allocation_factor$$

$$(eq\ 7)\ Impact_function_unit_service_n = Impact_service_n / nb_functional_unit$$

Tableau 17, consommation électrique et facteurs d'impact de la fabrication pour les services de niveau 3

Service	Unité fonctionnelle	Consommation électrique (kWh)	Impact de la fabrication (KgCO2eq.)	Source	Note
Streaming	h	0,00226	0,00002	(Umweltbundesamt, 2021)	
Vidéoconférence	h/participant	0,00413	0,00034	(Umweltbundesamt, 2021)	
Stockage des données	Go/an	0,009	0,198	(Umweltbundesamt, 2021) & (Charret & al., 2020)	Moyenne calculée sur 7 centres de données des deux études

^[7] <https://ember-climate.org/data/data-explorer/>

5.4 Transport



Dans certains cas, détaillés dans la section des résultats, l'apprentissage numérique nécessite l'utilisation de moyens de transport. Pour ce type de transport, nous avons choisi de ne prendre en compte que les impacts des voitures individuelles. Même si nous avons mis en évidence d'autres moyens de transport (principalement des moyens de transport à faible émission de carbone), tels que la mobilité électrique, le vélo, les transports publics, nous n'avons pas inclus leurs impacts. Cette décision a été motivée par plusieurs raisons :

- ▶ Le manque de données génériques sur l'impact des transports à faible émission de carbone

- ▶ L'absence de données spécifiques pour l'Europe
- ▶ Notre volonté de promouvoir des transports à faible émission de carbone

Nous avons utilisé les émissions moyennes de CO₂ par km des voitures particulières neuves publiées par l'AEE et accessibles par l'intermédiaire d'Eurostat (Eurostat 2022). Les données donnent une moyenne des émissions par km des voitures particulières neuves au cours d'une année donnée pour un pays donné.

Nous avons modélisé les impacts du transport pour un facteur d'émission donné. Le facteur dépend du pays sélectionné. Il peut être calculé sur la base d'une moyenne

des années disponibles ou une année spécifique peut être sélectionnée. L'impact est ensuite mesuré en multipliant le facteur d'émission par une distance donnée (eq 8). Pour prendre en compte le covoiturage, nous avons introduit dans le modèle un taux d'occupation (eq 9).

$$(eq\ 8)\ transport_impact = impact_factor(location) * distance$$

$$(eq\ 9)\ transport_impact = (impact_factor(location) * distance) / occupancy_rate$$

5.5 Consommation d'énergie domestique

L'énergie consommée au domicile des participants induit des émissions de gaz à effet de serre. L'apprentissage à distance augmente le temps passé par les participants à leur domicile. Cette augmentation entraîne une surconsommation d'énergie.

Nous avons récupéré la surconsommation dans chaque pays européen en nous basant sur le modèle de Roder (2014). Le modèle a été initialement développé pour la surconsommation d'énergie domestique dans le contexte du télétravail en Allemagne. Nous avons adapté le modèle avec des données spécifiques d'Eurostat pour chaque pays européen pour 2020. Cette méthode modélise la consommation par personne par ménage et par heure à

partir d'une partie fixe, qui correspond à la consommation qui se produit avec ou sans la présence de l'habitant et d'une partie variable, qui correspond à une consommation avec la présence de l'habitant. La partie variable est fixée à 30% de la consommation fixe. Nous attribuons l'impact de la surconsommation (partie variable) en fonction de la durée du processus d'apprentissage considéré. Il faut noter que cette approche est extrêmement simpliste.

Nous proposons de comparer ces données avec les chiffres de l'AIE sur le périmètre européen en 2020, qui propose une surconsommation induite par le télétravail pour un ménage composé d'un seul membre.

5.5 Consommation d'énergie domestique

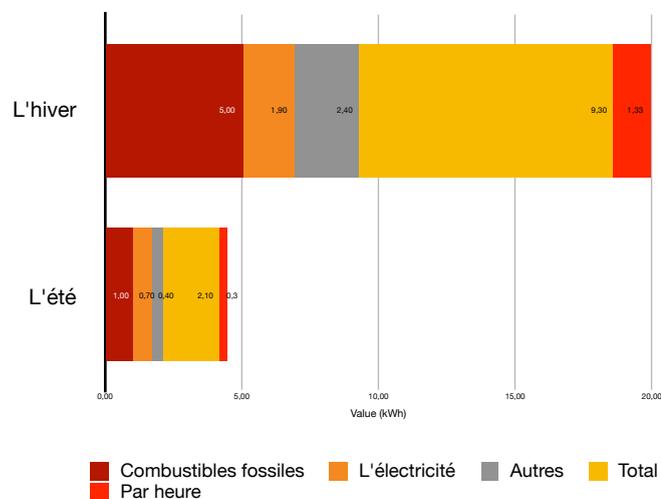
Nous avons adapté les chiffres de l'AIE pour une journée de travail de 7 heures. Cela donne une surconsommation moyenne de 0,3 en été, ce qui correspond à 67% de moins que ce que l'on obtient avec le modèle de Roder et de 1,33 en hiver, ce qui correspond à 48% de plus que ce que l'on obtient avec le modèle de Roder. La valeur moyenne sur une année est de 0,8 kWh au niveau européen, ce qui correspond au même ordre de grandeur que le modèle de Roder sur le périmètre européen (0,9 kWh).

Pour tenir compte de l'incertitude du modèle et du manque de sources de données détaillées pour le comparer, nous avons décidé de fournir une fourchette de +/- 50 % pour tenir compte de l'énergie liée à la consommation d'énergie domestique. Les valeurs pour chaque pays européen sont disponibles dans le Tableau A3.

Il convient de noter que cette approche est très limitée, car elle ne tient pas compte de plusieurs facteurs :

- ◆ La composition des ménages. Un ménage composé d'adolescents, par exemple, est plus susceptible d'utiliser l'enseignement à distance et présente des caractéristiques énergétiques spécifiques.
- ◆ Les données primaires utilisées avaient déjà intégré la consommation variable induite par l'enseignement à distance (en 2020, les ménages étaient déjà impliqués dans l'enseignement à

Tableau 18, variation moyenne de la demande d'énergie résultant d'une journée de travail à domicile pour un seul ménage - (AIE, 2020)



distance). Il y a donc un risque de double comptage.

- ◆ Les effets croisés induits par les ménages dont plusieurs membres suivent un enseignement à distance ou pratiquent le télétravail.
- ◆ La consommation spécifique pendant les heures d'apprentissage numérique (probablement pas d'énergie liée à la cuisine ou à la salle de douche, à l'utilisation d'un ordinateur, ...)

Pour tenir compte des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie domestique, nous fournissons un facteur d'impact pour chaque pays par kWh. Nous utilisons la part de l'énergie par source consommée par les ménages à des fins

résidentielles, fournie par Eurostat^[8], en combinaison avec l'impact de chaque source d'énergie provenant de la "Base carbone" de l'ADEME.

Les facteurs d'impact sont spécifiques au périmètre européen lorsqu'ils sont disponibles, et au périmètre français dans le cas contraire. Nous utilisons le facteur d'impact du tableau A2 pour l'impact de l'électricité. Comme plusieurs facteurs d'impact sont disponibles et font l'objet de débats entre les praticiens, nous proposons une valeur maximale et une valeur minimale pour chaque pays afin de proposer une fourchette de valeurs. Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans les tableaux A4, A5 et A6.

[8] <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/6b7f39aa-308d-4c4f-be02-3f09a83f0dd1?lang=en>

06. Création du scénario

6.1 Unités fonctionnelles

L'analyse de l'impact environnemental des processus est rapportée à une *unité fonctionnelle*. Celle-ci correspond à l'unité de référence fournie par le système. Le choix des unités fonctionnelles est crucial car il peut modifier les résultats de l'étude (Matheys et al., 2007). Elle doit correspondre à la fonction assurée par le système plutôt qu'au principe physique qui permet au système de fonctionner. Il est donc pertinent de caractériser l'unité fonctionnelle du point de vue des utilisateurs.

Au cours de notre groupe de discussion, la plupart des participants ont délimité leurs cours numériques en fonction de la durée. Nous avons donc choisi d'utiliser une heure d'apprentissage numérique comme unité fonctionnelle.

Certains formateurs professionnels caractérisent un cours en termes d'unité d'enseignement. Il peut s'agir, par exemple, de crédits ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) dans le contexte académique. Bien que cette unité fonctionnelle corresponde plus précisément à la nature de la fonction étudiée, nous avons décidé de ne pas retenir cette option. La raison principale est la difficulté de qualifier une unité d'enseignement homogène applicable à des contextes hétérogènes (synchrone ou asynchrone, professionnel ou académique, en autonomie ou au sein d'une institution, etc).

Comme les sessions d'apprentissage numérique sont suivies par un nombre hétérogène de participants - de quelques personnes dans la formation professionnelle synchrone à plusieurs milliers dans certaines formations asynchrones - nous avons décidé de rapporter les impacts par participant. L'unité fonctionnelle choisie est donc :

Une heure de session d'apprentissage numérique pour un participant

“Lorsque vous devez faciliter 4 heures.”

“Il fallait faire une journée de formation de 7 heures.”



6.2 Liste des ressources impliquées

6.2.1 Services concernés

Nous avons essayé d'identifier les ressources impliquées dans le contexte d'une classe d'apprentissage numérique. Nous avons utilisé les résultats du focus group pour caractériser les ressources. Nous avons essayé de rendre cette liste la plus exhaustive possible.

Nous avons choisi de regrouper les différents services mentionnés par les participants concernant leur utilisation lors d'une session d'apprentissage numérique.

Tableau 19, services numériques identifiés lors de l'étude qualitative

Nom	Description	Exemple donné au cours du groupe de discussion
Outil de vidéoconférence	Outils de communication orale et/ou visuelle synchrones entre les apprenants et les formateurs	Teams, Zoom, Jitsi, Google Meet, Webex, Skype
Collaboration synchrone	Outils de collaboration synchrones des apprenants avec les formateurs ou entre eux	Klaxoon, BCast, Mural, Metro-retro, Jamboard, Socrative, Mentimeter, Kahout !, Wooclap nextcloud, Doodle
Création de contenu	Outils permettant la création de contenus de formation dans différents formats (texte, contenu interactif, vidéo, diapositives)	PowerPoint, Adobe Captivate, Adobe creative suite, Audacity
Canal de communication	Outils permettant une communication asynchrone entre les apprenants et les formateurs ou entre les apprenants eux-mêmes	Email, SMS, Slack, chat
Nuage de stockage	Outils de stockage de contenus de formation ou de travaux liés à un processus d'apprentissage par les apprenants et les formateurs	Dropbox, Google Drive, OneDrive, Moodle, Nextcloud, LectureCast
LMS	Outils permettant de stocker des contenus de formation ou des travaux liés à un processus d'apprentissage	Moodle, My Green Training Box
Outils d'évaluation	Outils d'évaluation synchrones ou asynchrones des apprenants	Formulaire Google, outils d'évaluation spécifiques des universités

6.2 Liste des ressources impliquées

6.2.1 Services concernés

Les participants qui ont assisté à leurs premières sessions d'apprentissage numérique pendant la crise Covid ont tendance à avoir listé moins d'outils que les personnes qui étaient habituées à ce type de cours avant la crise. Les invariants pour les sessions synchrones étaient les *canaux de communication* et la *vidéoconférence*. La plupart des participants ont mentionné que leur organisation disposait d'un système de gestion de l'apprentissage (LMS) qui était sous-utilisé ou pas du tout utilisé.

Certains formateurs qui ont participé à notre groupe de discussion ont mentionné que le choix d'utiliser un type d'outil plutôt qu'un autre leur appartenait et dépendait de leur stratégie pédagogique et du format de la classe. Cependant, le choix d'un outil spécifique dépend de contraintes externes. Dans certains cas, l'institution dans laquelle le formateur dispense ses cours impose un fournisseur de services. C'est notamment le cas pour les *outils de vidéoconférence*. Ce type de contrainte se heurte à la volonté des participants d'utiliser des outils plus accessibles ou plus vertueux.

D'autres contraintes liées à l'accessibilité des logiciels ont été évoquées. En effet, la formation des personnes ayant des difficultés avec les outils numériques influence le choix des outils utilisés.

"ils m'imposent des outils [à l'université]"

"On est souvent bloqué par le fait qu'il n'y a que Teams qui peut être utilisé. [...] on avait d'autres options plus vertueuses, l'open source par exemple, mais ce n'était pas autorisé dans les entreprises."

"c'est seulement Zoom parce que c'est accessible pour eux".

6.2 Liste des ressources impliquées

6.2.2 Équipement de l'utilisateur final concerné

Alors que les ressources associées aux niveaux 2 et 3 ont été identifiées par le biais de services numériques, le niveau 1 est caractérisé par l'équipement matériel directement utilisé par les participants. Sur la base de leurs réponses, principalement dans la rubrique "Outils : Technologies et équipement", nous avons identifié 7 types d'équipement de l'utilisateur final impliqués dans une session d'apprentissage numérique. Ils sont présentés dans le *tableau 20*.

L'équipement impliqué dans l'apprentissage numérique peut avoir différentes origines. Il peut appartenir entièrement au participant, qui peut l'utiliser partiellement ou totalement pour l'apprentissage numérique. Il peut être partagé par des personnes du même foyer ou emprunté à l'institution.

L'un des participants au groupe de discussion des apprenants a mentionné l'utilisation d'un smartphone pour suivre un cours en dehors de son espace de travail.

"J'utilise parfois mon téléphone lorsque je me déplace."

L'utilisation des smartphones dans les cours en ligne est connue des producteurs de plateformes numériques d'apprentissage, qui peuvent mettre en place des outils compatibles. L'utilisation du smartphone est présentée par l'un des participants au focus group des producteurs de plateformes comme un comportement existant mais non recommandé.

"Vous pouvez être formé avec votre iPhone, même si ce n'est pas recommandé."

Tableau 20, équipements numériques identifiés lors de l'étude qualitative

Nom	Exemple donné au cours du groupe de discussion
Bureau	Mac mini
Webcam	Améliorer le confort de travail en investissant dans une webcam
Casque d'écoute	Améliorer le confort de travail en investissant dans un casque d'écoute
Ordinateur portable	PC, Macbook
Deuxième écran	Amélioration du confort de travail par l'installation d'un deuxième écran
Smartphone	Suivi d'un cours lors d'une mobilité
Équipements spécifiques de haute technologie	Casque de réalité virtuelle pour la formation à la prise de parole en public

Enfin, nous avons constaté que des équipements de haute technologie pouvaient être utilisés dans le contexte de l'apprentissage numérique. L'exemple de la réalité virtuelle a été mentionné et discuté au cours d'un des groupes de discussion, dans lequel plusieurs participants produisaient du contenu de réalité virtuelle.

"Pour s'entraîner avec la réalité virtuelle, il faut un PC équipé d'un casque de réalité virtuelle."

6.2 Liste des ressources impliquées

6.2.3 Autres ressources impliquées

Outre les ressources susmentionnées, nous avons identifié d'autres ressources non numériques impliquées dans le processus d'apprentissage numérique. Nous avons décidé de les inclure lorsque leurs impacts associés pouvaient être directement attribués au processus numérique, c'est-à-dire que leur utilisation dans le contexte d'un processus d'apprentissage numérique implique un coût environnemental supplémentaire. Elles sont présentées dans le tableau 21.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le transport était encore nécessaire pour plusieurs apprenants et formateurs. En effet, si la plupart des participants suivent les sessions numériques depuis leur domicile, d'autres doivent encore se déplacer pour suivre une session. Différentes raisons ont été évoquées :

- ◆ Absence de connexion au réseau
- ◆ Manque d'appareils numériques
- ◆ L'analphabétisme numérique
- ◆ Environnement inadapté à l'apprentissage et à l'enseignement
- ◆ La conception de certains cours, tels que les cours hybrides
- ◆ Nouvelles mobilités (voir partie 6.4.6)

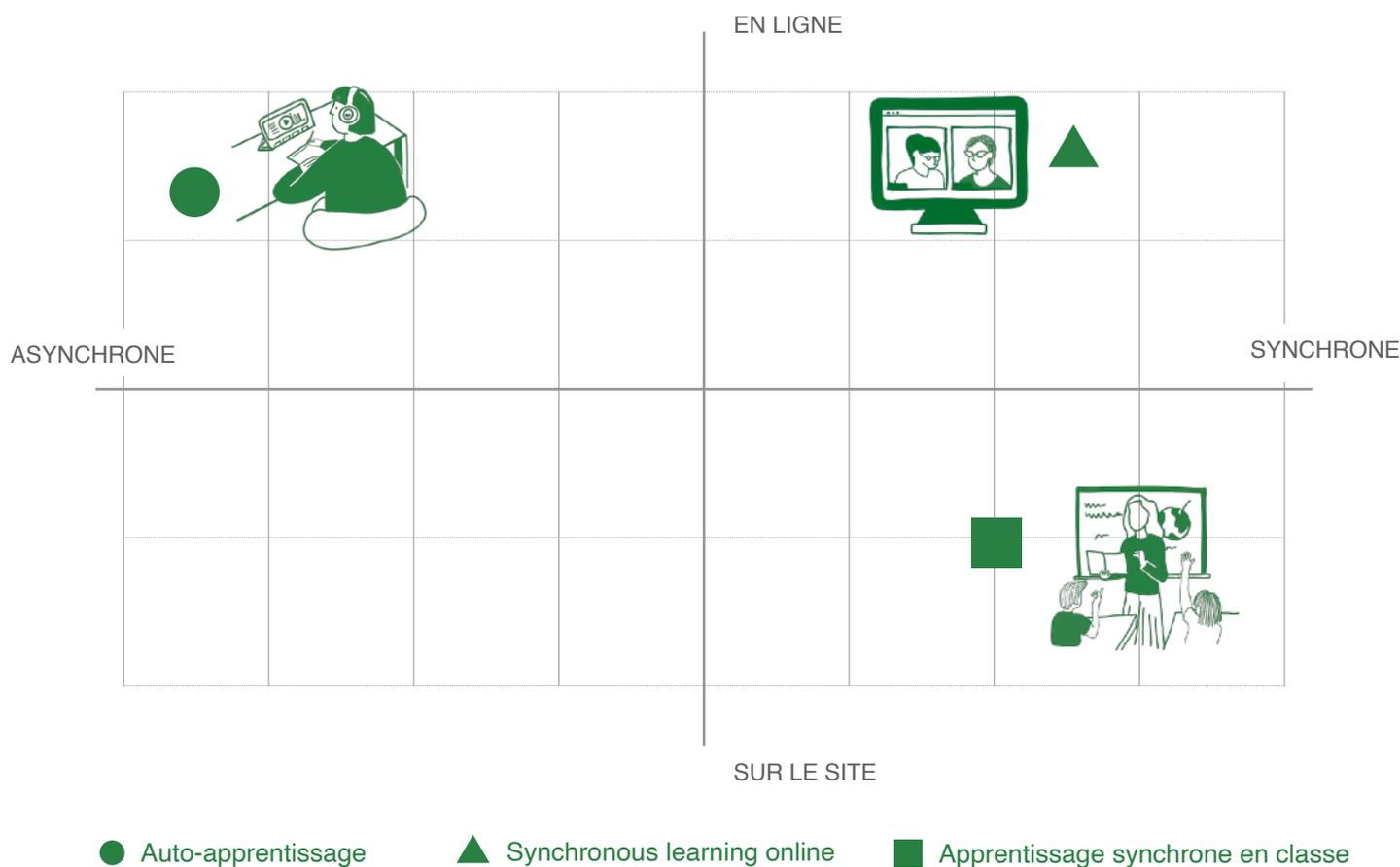
"le plus grand obstacle aujourd'hui à la massification des utilisateurs n'est pas l'équipement matériel, mais plutôt la qualité de la connexion".

"Ils n'avaient pas trois ordinateurs à la maison, ni même trois pièces pour pouvoir utiliser des haut-parleurs en parallèle.

Comme mentionné dans la section 5, la surconsommation d'énergie domestique induite par l'apprentissage numérique doit également être prise en compte. Aucun participant au groupe de discussion ne l'a mentionné. Cependant, nous avons décidé de l'inclure, car cette ressource a été mentionnée dans la littérature (Caird & al., 2015 ; Filimonau & al, 2020).

Tableau 21, autres ressources identifiées au cours de l'étude qualitative

Nom	Description	Exemple donné au cours du groupe de discussion
Transport	Les déplacements restants sont nécessaires pour suivre les cours numériques	Voyage vers un espace de coworking
Consommation d'énergie domestique	Surconsommation d'énergie domestique pendant les cours numériques	-



6.3 Histoires d'apprentissage numérique

Différents processus d'apprentissage peuvent être qualifiés d'apprentissage numérique. Cela a été constaté lors des groupes de discussion, les participants ayant des définitions différentes et nécessitant souvent des éclaircissements.

"Peut-on parler à la fois d'e-learning et d'enseignement à distance ? Est-ce qu'on parle des deux ? Ainsi que de ce que fait [l'entreprise], par exemple, avec des formations accessibles en e-learning et de ce que j'ai fait pour [l'entreprise] la semaine dernière à distance ?"

Nous avons pu identifier trois scénarios d'apprentissage numérique au cours du groupe de discussion. Le regroupement a été motivé par les similitudes dans l'utilisation des TIC, la synchronicité ou la non-synchronicité, et la localisation relative de chacun des participants. Le regroupement choisi est représenté dans la *figure 6*. Pour chaque scénario, des comportements d'utilisation spécifiques susceptibles d'avoir un impact sur le processus global ont été signalés afin d'être intégrés dans le modèle. Nos scénarios couvrent partiellement les catégories existantes données par Allen & al. (2003) présentées dans le *tableau 2*.

Par ailleurs, nous avons identifié deux grands types d'acteurs à travers les groupes de discussion. Un premier groupe que nous appelons les *débutants*, qui avaient peu

ou pas d'expérience en matière d'apprentissage numérique avant la crise COVID-19, et les *experts* qui étaient déjà habitués à ce type de processus, qui constituait leur activité principale.

Pour chaque scénario, nous avons donné une description, y compris toutes les ressources numériques et non numériques impliquées. Nous décrivons également ce que nous appelons les cas extrêmes, qui se réfèrent à des variations par rapport au scénario initial qui a été identifié au cours du groupe de discussion. Le modèle doit permettre de modéliser tous ces différents scénarios ainsi que les comportements spécifiques identifiés. Chaque élément est étayé par des citations tirées des groupes de discussion.

6.3 Histoires d'apprentissage numérique

6.3.1 Apprentissage synchrone en ligne



Scénario typique

Un enseignant crée un contenu, sur un outil de présentation, ou modifie un contenu déjà créé. Le contenu peut être composé de textes, d'images et de vidéos. Le contenu, la planification, le canal de communication et le stockage en nuage sont souvent organisés par les institutions dans une plateforme de type Moodle. L'enseignant crée son cours sur la plateforme de l'institution. Les apprenants se connectent à la plateforme pour accéder au planning et aux ressources. Une classe composée de nombreux apprenants et d'un enseignant se connecte à un outil de vidéoconférence avec leurs appareils finaux au moment du cours. L'enseignant partage généralement sa caméra et peu d'apprenants allument leur caméra. L'enseignant utilise de multiples supports pédagogiques. Il peut partager une présentation et faire participer les apprenants grâce à des outils de collaboration synchrone.

Une partie de la classe peut être consacrée à l'apprentissage autonome. L'enseignant envoie des instructions via un canal de communication (les instructions sont généralement hébergées sur un stockage en nuage). Les apprenants travaillent de manière asynchrone sur leur travail et le renvoient via un canal de communication pour une correction asynchrone ou synchrone. Les rapports d'avancement peuvent être réalisés en tête-à-tête avec les enseignants et les apprenants.

Après le cours, les enseignants et les apprenants restent en contact et partagent des documents (devoirs, questions, etc.) par l'intermédiaire de leur plateforme de type Moodle ou de leur canal de communication.

6.3 Histoires d'apprentissage numérique

6.3.1 Apprentissage synchrone en ligne

La grande majorité des débutants ont mentionné l'apprentissage synchrone par le biais d'outils de vidéoconférence comme le principal processus pouvant être qualifié d'apprentissage numérique. Ces types de cours sont très proches des cours classiques sur site. Les échanges oraux et visuels sont remplacés par un outil de vidéoconférence. Un expert a présenté ce type de cours de manière satirique comme suit : **"zoomer avec un PowerPoint"**

C'est parfois le seul processus mentionné par les débutants lorsqu'ils font référence à l'apprentissage numérique. La plupart d'entre eux ont rencontré ce type de processus lors des différents lockdowns ou lors des grèves pour un participant français. Il a été constaté que les experts critiquaient ce type de processus d'apprentissage qui, selon eux, ne tirait pas suffisamment parti des ressources numériques. **"En gros, on transforme un support PowerPoint, on le met dans un zoom, on dit qu'on fait de l'enseignement à distance et des classes virtuelles mais, très souvent, on en est très loin."**

Les experts ont présenté ce type de cours de manière plus complexe. Ils ont segmenté ces cours en sessions synchrones et asynchrones. Selon une partie prenante, la numérisation de la classe permet à l'enseignant de personnaliser plus facilement le soutien à l'apprenant pendant la partie asynchrone de la classe. "à distance, nous aurons un suivi plus individualisé." Qu'il s'agisse d'experts ou de débutants, ce type de cours permet bien sûr aux participants de retrouver les mécanismes d'une classe en présentiel grâce à l'outil numérique. On peut citer la collaboration avec les post-its, facilitée par les outils numériques. **"Cela m'a permis de redécouvrir le fonctionnement des post-it [...] les post-it numériques sont plus avancés que les post-it**



ordinaires. Pour avoir les mêmes fonctionnalités que les post-it classiques, nous avons dû nous préparer pendant longtemps"

Les principaux appareils utilisés pour suivre les vidéoconférences sont les ordinateurs portables et les ordinateurs de bureau. Certains participants utilisent plusieurs appareils afin de maximiser leur confort pendant une session. On peut citer le second écran mais aussi les téléphones qui peuvent servir de second écran pour chatter ou rechercher des ressources.

Enfin, dans le contexte universitaire, les sessions ne sont parfois pas obligatoires. Le fait de mettre la session en ligne a été, pour certains, un moyen d'augmenter leur assiduité (en raison d'un accès plus facile aux cours) tandis que pour d'autres, cela a été une incitation à réduire leur assiduité. Pour un étudiant, l'enregistrement des sessions pourrait être une autre incitation à réduire l'assiduité. **"J'ai assisté à de grandes conférences en face à face. Certains d'entre eux étaient enregistrés, de sorte que nous pouvions les réécouter après coup à la maison ou si nous ne voulions pas venir"**

Ce type de cours numérique pourrait dans certains cas être totalement asynchrone lorsque les enregistrements sont le seul moyen d'accéder au cours. Nous n'appelons pas ce type de cours "face-à-plateforme", car il n'est pas prévu que ces cours soient évolutifs. **" Mon professeur se filmait et mettait les vidéos sur [la plateforme]"**

6.3 Histoires d'apprentissage numérique

6.3.2 Auto-formation



Scénario typique *Une institution développe, achète ou loue une plateforme de type Moodle pour héberger des contenus d'apprentissage.*

Un créateur de contenu crée un cours, qui est formaté conformément à la plate-forme de type Moodle. Différents formats de contenu peuvent être mis en œuvre : texte, vidéo, audio, pages interactives, auto-évaluations, etc. L'institution peut développer des contenus spécifiques ou héberger des contenus externes sur sa plateforme.

Un cours est suivi de manière autonome par 0 à n apprenants, de manière discontinue. Le cours peut rester hébergé pour une durée indéterminée. Certaines sessions peuvent être organisées pendant des périodes spécifiques.

Ce type de scénario a surtout été rencontré dans un contexte professionnel ou par des experts dans un contexte académique. La raison principale de l'utilisation de ce format était le besoin ou la volonté d'étendre le processus d'apprentissage.

"Comme nous sommes dans une grande organisation, cela nous a semblé être la seule solution possible."

Certains participants suivent un apprentissage asynchrone de manière autonome sur des plateformes numériques qui ne sont pas gérées par leur établissement. Ce phénomène est encore plus marqué chez les étudiants universitaires. La typologie et le format des contenus hébergés sur ces plateformes sont hétérogènes. Ils vont du texte au contenu vidéo, audio, interactif ou de réalité virtuelle.

"Le contenu de la formation peut être présenté sous différentes formes, telles que des vidéos, des podcasts, des auto-évaluations, etc."

"Nous disposons d'une plateforme de contenus de réalité virtuelle."

Ces plateformes sont principalement utilisées de manière autonome et asynchrone par les apprenants. Cependant, elles peuvent être utilisées totalement ou partiellement dans le contexte d'une formation en face-à-face. Ce comportement est important à noter car il induit des déplacements.

"C'est un outil qui peut être utilisé de manière asynchrone, mais aussi de manière synchrone et qui est utilisé dans les universités, les organismes de formation, les entreprises, etc. Il peut même être utilisé en classe."

6.3 Histoires d'apprentissage numérique

6.3.3 Présentiel numérisé



Scénario typique *Un contenu numérique est créé par le formateur à l'aide d'outils de collaboration synchrone ou d'un outil d'apprentissage autonome. Le jour du cours, les formateurs et les apprenants se rendent sur le lieu du cours avec plusieurs moyens de transport. Les formateurs et les apprenants se déplacent souvent pour plusieurs cours.*

Le formateur anime la classe alternativement par une communication orale directe et par l'intermédiaire de l'outil numérique sur son appareil. Les apprenants disposent également d'appareils, qu'il s'agisse de leurs propres appareils ou d'appareils spécifiques liés au format du contenu numérique (fournis par l'institution).

D'après les témoignages des participants, le matériel utilisé pendant les cours sur place est hétérogène. Certains utilisent des cahiers, d'autres des ordinateurs portables pour prendre des notes. Cependant, tous les apprenants qui ont participé à notre groupe de discussion avaient besoin d'appareils numériques avant le cours pour s'inscrire et gérer leur emploi du temps, et après le cours pour les discussions asynchrones avec les formateurs ou les autres apprenants. D'après les réponses des participants, nous pouvons supposer que toutes les classes universitaires et professionnelles en face-à-face ont besoin d'appareils et d'infrastructures numériques à un moment ou à un autre.

"En classe, nous faisons tout sur nos ordinateurs. Je veux dire que je ne vois personne qui n'ait qu'un stylo et du papier".

Il convient de noter que les participants ne sont pas représentatifs et qu'il est possible que cette affirmation ne

soit pas totalement vraie, en particulier pour le sujet le plus pratique.

Le contenu pédagogique peut être imprimé, projeté ou envoyé par des canaux de communication. Le matériel pédagogique est généralement partagé dans un ou deux formats. Dans certains cas, les contenus numériques constituent le matériel pédagogique central. Un participant, par exemple, crée du contenu de réalité virtuelle et anime des cours professionnels en face à face. Ces cours nécessitent des casques de réalité virtuelle prêtés par l'institution. Un autre participant a créé du contenu numérique pour des classes de deuxième année (sur place).

"Il s'agit donc davantage d'équiper les enseignants, les éducateurs, les personnes qui interviendront auprès des jeunes dans les classes."

6.3 Histoires d'apprentissage numérique

6.3.4 Formation Hybride

Scénario typique *Un cours est organisé par un formateur en différents modules. Alors que certains modules sont organisés en présentiel, d'autres sont à distance, synchrones ou asynchrones (apprentissage autonome).*

Plusieurs participants ont mentionné un scénario hybride composé de plusieurs modules, chacun correspondant à un scénario présenté ci-dessus. En raison de l'hétérogénéité des cas identifiés, nous avons choisi de ne pas l'inclure dans notre enquête et notre évaluation d'impact.

Ce type de scénario est un mélange des scénarios précédents. Selon plusieurs participants, ce scénario se produit lorsqu'une institution commence à mûrir avec l'apprentissage numérique. Nous avons remarqué que les profils d'experts étaient plus susceptibles de mentionner des scénarios hybrides.

Dans certains cas, le terme hybride fait référence à un mélange d'apprentissage synchrone et asynchrone - via des vidéos ou des MOOC par exemple. Le terme d'apprentissage adaptatif ou d'approche mixte a été utilisé par certains experts. Dans ce cas, l'utilisation d'outils numériques est un moyen d'individualiser les formations. **"Il peut être 1/3 en zoom et 2/3 en enregistrements vidéo des années précédentes. Nous appelons cela l'apprentissage adaptatif, ce qui signifie que nous faisons de l'apprentissage synchrone et asynchrone, mais nous nous concentrons principalement sur l'apprenant, ce qui signifie que nous individualisons les cours de formation."**

Le terme d'apprentissage mixte a également été utilisé par certains experts. Dans ce cas, le terme hybride fait référence à une partie du cours en ligne et à une partie en face-à-face. **"Je fais aussi de l'apprentissage mixte, avec un peu de tout, [...] des parties d'autoformation, des parties synchrones, des conférences en ligne. Et puis il y a eu une journée de formation en face à face"**.

Si pour les *débutants*, le modèle hybride était un moyen d'accéder plus facilement à leur cours en variant les moyens d'accès, pour les *experts*, ce modèle est plutôt un moyen de personnaliser la formation pour chaque apprenant. Dans ce cas, les outils numériques sont un moyen d'individualiser l'accompagnement des apprenants, surtout dans le cas de classes avec un grand nombre de participants.

débutant : *"il n'est pas mauvais d'avoir le choix entre sur place et à distance"*

expert : *"Nous avons une approche mixte. [...] avec le numérique, il est facile de gérer une classe de 30 élèves et de différencier la pédagogie entre chaque individu."*

Ce type d'organisation de l'enseignement semble persister au-delà de la période COVID. En effet, certains participants ont fait état d'une volonté de leurs institutions d'établir des tarifs minimums pour l'enseignement à distance. **"Dans l'enseignement**

supérieur traditionnel, il y a eu de vrais bouleversements et cela, à mon avis, est vraiment pérenne. Je vois dans les différentes écoles que les directions veulent faire un minimum de 30% d'enseignement à distance".

Certaines institutions sont équipées ou sont en train de s'équiper d'outils d'enregistrement pour rendre tous les cours disponibles en ligne, facilitant ainsi la mise en place d'une organisation hybride. D'une part, les enregistrements peuvent permettre un mode hybride où certains participants suivent en ligne et d'autres en classe, d'autre part, ils peuvent être réutilisés dans le cadre de modules asynchrones pour les années suivantes, par exemple. **"Il s'agit d'un cours hybride, enregistré à l'aide d'une caméra pendant le cours, mais aussi d'un cours en face à face."**

Cette approche est préférée par la plupart des débutants pour des raisons de confort et de commodité, ainsi que par la plupart des experts en raison de l'individualisation pédagogique qu'elle permet. En outre, comme le suggèrent Marieke Versteijlen & al. (2021), ce type de cours pourrait constituer le meilleur compromis entre la réduction des émissions de carbone et la qualité de l'enseignement. **"Il est bon d'avoir un mélange"**

07. Résultats : évaluation des impacts de plusieurs scénarios

Pour chaque scénario identifié dans la section 6.3, nous avons appliqué notre modèle à un cas d'utilisation européen moyen et à un autre cas d'utilisation hypothétique intéressant. Les cas d'utilisation européens moyens sont modélisés à l'aide de facteurs d'impact et de variables d'enquête européens moyens.

L'objectif de cette section est de montrer, à travers différents exemples, l'ordre de grandeur de l'impact environnemental de l'apprentissage numérique en Europe. Il **convient de noter que les différents scénarios n'ont pas été conçus pour être comparés et, en tant que tels, ne devraient pas l'être.** Le but de cette section n'est pas de déterminer le meilleur scénario d'apprentissage numérique, mais plutôt de comprendre la taille des impacts de chaque scénario.

Comme défini dans la section méthodologie, les impacts liés à TIER 3 sont difficiles à estimer dans le contexte de notre étude. Ainsi, les impacts liés au TIER 3 sont probablement sous-estimés.

Le niveau 1 correspond aux appareils de l'utilisateur final

Le niveau 2 correspond au réseau entre l'utilisateur final et le centre de données

Le niveau 3 correspond aux services d'hébergement du centre de données

7.1 Formation numérique synchrone

7.1.1 Scénario européen moyen (SEM)

Nous utilisons des valeurs moyennes pour le cas d'utilisation européen tirées de notre enquête. Nous utilisons des facteurs d'impact européens moyens. L'impact lié à la mise en réseau est évalué avec la méthode "par ligne". Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le Table A7. Avec les valeurs moyennes tirées des résultats de l'enquête, l'empreinte d'une session d'une heure est évaluée entre 8,79E+00 kgCO2eq. et 1,92E+01 kgCO2eq. (1,31E+01 kgCO2eq. en moyenne), Table A8.

L'empreinte d'une séance d'une heure par personne est estimée entre 4,07E-01 kgCO2eq. et 8,91E-01 kgCO2eq. (6,06E-01 kgCO2eq. en moyenne). L'équivalence^[9] pour la valeur moyenne est présentée dans la figure 3.

La principale source d'impact provient de la surconsommation d'énergie dans le logement des participants à l'enseignement à distance, qui représente entre 27,9 % et 67 % de l'impact moyen d'une session. Ceci est dû à la forte proportion d'étudiants qui suivent les cours dans leur logement (94,3%).

La deuxième part la plus importante est liée au transport des participants. En effet, notre enquête a montré que même dans le cas d'une formation à distance synchrone, une partie des participants devait se déplacer (5,7%). Cette part, bien que faible, a un impact significatif sur la session (entre 16% et 35%). Selon notre modèle et dans les conditions moyennes de déplacement (40 km), l'impact induit par le



Figure 3. L'équivalence pour la valeur moyenne d'une session d'une heure par session - SEM

déplacement d'un participant est plus important que celui lié à la surconsommation d'énergie dans le logement d'un participant.

Si l'on considère les impacts liés aux ressources numériques, les terminaux sont la principale source d'impacts. Ceci est principalement dû au grand nombre de terminaux impliqués, et en particulier à l'utilisation de plusieurs terminaux par participant (2,3). On peut noter que les impacts liés aux phases de fabrication, de transport et de fin de vie représentent plus de la moitié des impacts. Ceci s'explique par la quantité de terminaux utilisés dont les impacts embarqués sont importants.

Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement

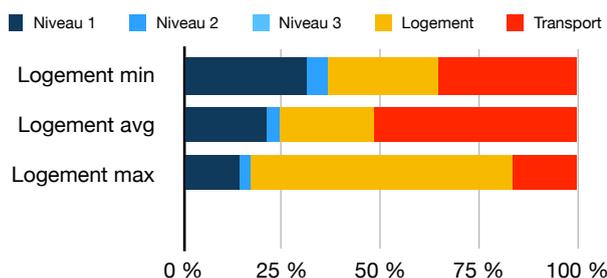


Figure 4. Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement - SEM - Synchronous DL

Distribution de l'impact numérique

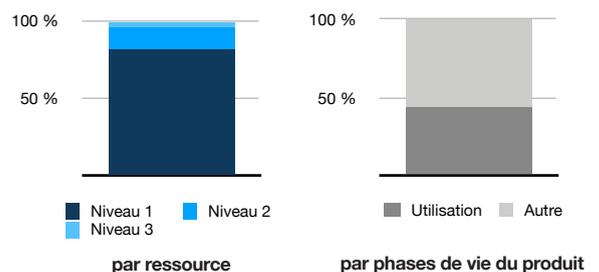


Figure 5. Distribution de l'impact numérique par ressources et par phases de vie d'un produit - SEM - Synchronous DL

[9] Les équivalents sélectionnés sont tirés de <https://impactco2.fr/>. ImpactCO2 est un projet de l'ADEME qui fait partie de Datagir.

7.1 Formation numérique synchrone

7.1.2 Cours universitaires en ligne au Portugal - Cas d'usage 1

Appliquons maintenant le modèle à un cas d'utilisation spécifique : **un cours magistral par vidéoconférence avec 59 étudiants et un professeur dans une université portugaise.**

Nous choisissons un cas minimaliste où chaque étudiant n'utilise qu'un seul équipement. Les types d'équipement utilisés sont répartis de manière égale entre les ordinateurs portables, les smartphones et les ordinateurs fixes. 1 Go de stockage en ligne est utilisé pour cette classe spécifique et stocké pendant un an (la durée d'une année universitaire). Le stockage et le service de vidéoconférence sont hébergés dans un environnement en nuage aux États-Unis. Nous supposons que tous les étudiants suivent le cours à leur domicile, ce qui évite l'utilisation des transports mais augmente la consommation d'énergie liée à leur maison. Toutes les autres variables ont des valeurs par défaut. Tous les facteurs d'impact sont spécifiques au mix énergétique portugais. Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le tableau A9.

Dans ce scénario, l'impact d'une session d'une heure est évalué entre $7,52E+00$ kgCO₂eq. et $2,80E+01$ kgCO₂eq. ($1,54E+01$ kgCO₂eq. en moyenne), Table A10.

L'impact d'une session d'une heure par personne est estimé entre $1,25E-01$ kgCO₂eq. et $4,66E-01$ kgCO₂eq. ($2,57E-01$ kgCO₂eq. en moyenne).

Si l'on considère que ce cours est dispensé en sessions de 2 heures pendant les 36 semaines académiques, nous estimons que l'impact du cours se situe entre $5,42E+02$ kgCO₂eq. et $2,01E+03$ kgCO₂eq. ($1,11E+03$ kgCO₂eq. en moyenne). L'équivalence des valeurs moyennes est indiquée dans la figure 6.

La principale source d'impact provient de l'énergie utilisée par les participants pendant la session. On estime qu'elle représente entre 55% et 90% des impacts attribuables à cette session.

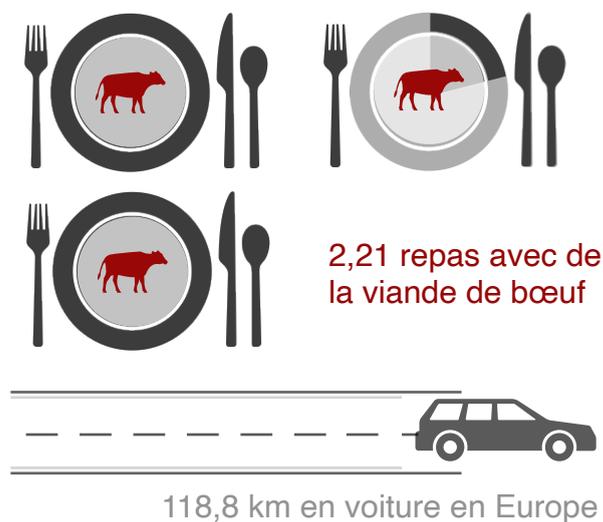


Figure 6. L'équivalence pour la valeur moyenne d'une session d'une heure par session (59 étudiants et 1 professeur)

Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement

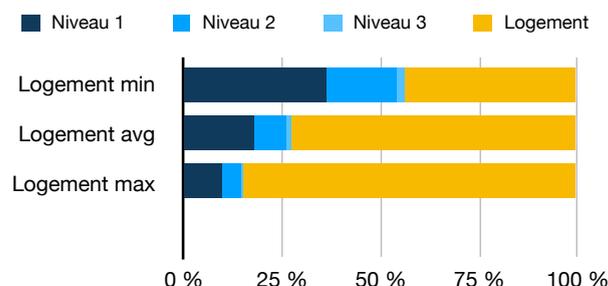


Figure 7. Distribution de l'impact numérique par ressources et par phases de vie d'un produit - Cas d'utilisation 1

7.1 Formation numérique synchrone

7.1.2 Cours universitaires en ligne au Portugal - Cas d'usage 1

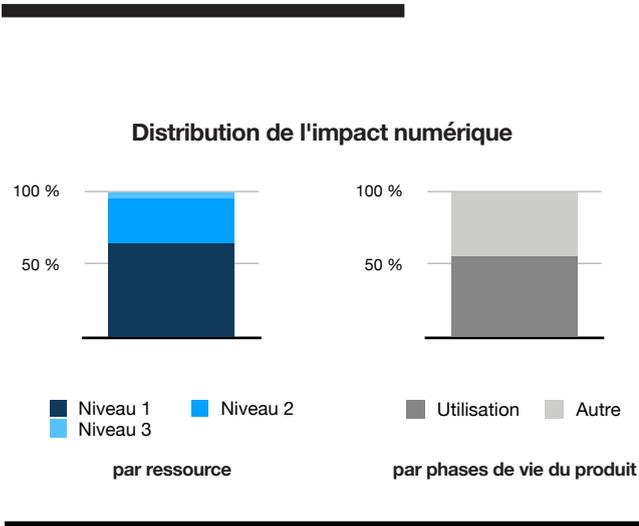


Figure 8. Répartition de l'impact numérique par ressource et par phase de vie d'un produit - Cas d'utilisation 1

Si l'on considère les impacts liés aux ressources numériques, les terminaux sont la principale source d'impacts. Ceci est principalement dû à leur grand nombre (60). On peut noter que les impacts liés aux phases de fabrication, de transport et de fin de vie représentent la moitié des impacts, l'autre moitié étant portée par la phase d'utilisation. Ceci s'explique par la quantité de terminaux utilisés dont les impacts embarqués sont importants.

La phase d'utilisation n'est pas négligeable, car l'intensité en carbone du bouquet énergétique portugais est assez élevée (par rapport à la moyenne européenne). **Il convient de noter que les terminaux sur batterie (ordinateur portable, smartphone) ont un impact proportionnellement plus faible sur l'utilisation que les terminaux sur secteur (ordinateur de bureau, écran) car leur consommation d'électricité est optimisée pour maximiser la durée d'utilisation par charge, Figure 10.**

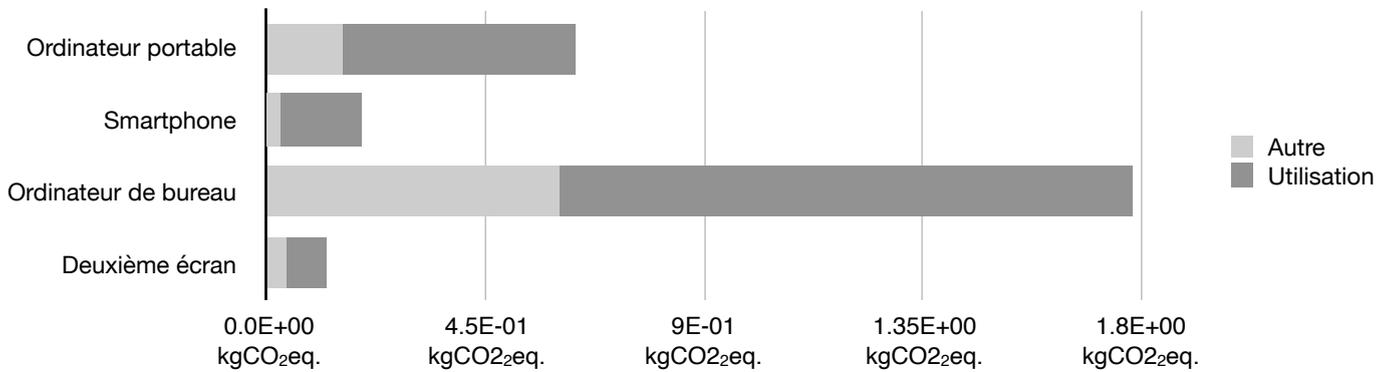


Figure 9. Impact de l'utilisation des ressources numériques par appareil

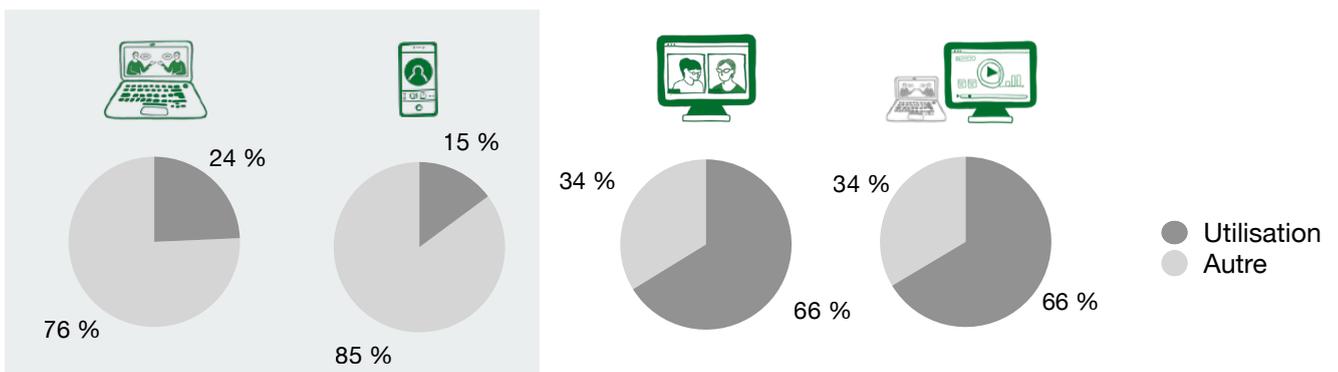


Figure 10. Pourcentage de l'impact de l'utilisation dans le cycle de vie de l'appareil

7.2 Formation numérique asynchrone*

7.2.1 Scénario européen moyen

Nous utilisons les valeurs moyennes de notre enquête pour le cas d'utilisation européen. Nous utilisons des facteurs d'impact européens moyens. L'impact lié à la mise en réseau est évalué avec la méthode "par ligne". Pour le niveau 3, nous ne prenons en compte que les incidences liées à la diffusion de contenu vidéo (via la diffusion en continu). Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le *tableau* A11.

Avec les valeurs moyennes tirées des résultats de l'enquête, l'empreinte d'une session d'une heure pour un apprenant est évaluée entre 3,59E-01 kgCO₂eq. et 8,44E-01 kgCO₂eq. (avec une valeur moyenne de 5,58E-01 kgCO₂eq.), *Table* A12. L'équivalence pour la valeur moyenne est illustrée à la figure 11.

Les impacts liés au transport et à l'énergie domestique représentent la majeure partie de l'impact d'une session (entre 70% et 85%). Bien que seulement 2% des participants utilisent leur voiture, le transport représente l'une des principales empreintes d'une session (entre 22 et 45%).

Si l'on considère les impacts liés aux ressources numériques, les terminaux sont la principale source d'impacts. Ceci est principalement dû au grand nombre de terminaux impliqués,



0,09 repas avec de la viande de bœuf



5 km en voiture en Europe

Figure 11. The equivalence for the average value of a 1-hour session per session per participant – AES

et en particulier à l'utilisation de plusieurs terminaux par participant (2,2). On peut noter que les impacts liés aux phases de fabrication, de transport et de fin de vie représentent plus de la moitié des impacts. Ceci s'explique par la quantité de terminaux utilisés dont les impacts embarqués sont importants. Cependant, l'impact lié à la phase d'utilisation n'est pas négligeable en raison de l'intensité carbone du mix électrique européen (0,334 kgCo₂eq./kWh).

Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement

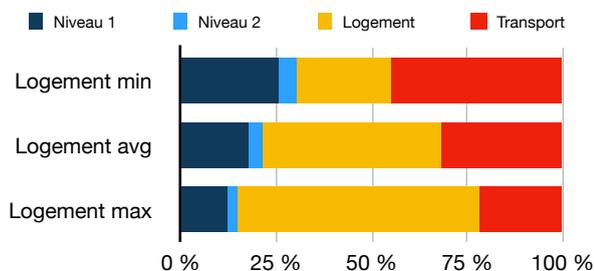


Figure 12. Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement - AES - Asynchronous DL

Distribution de l'impact numérique

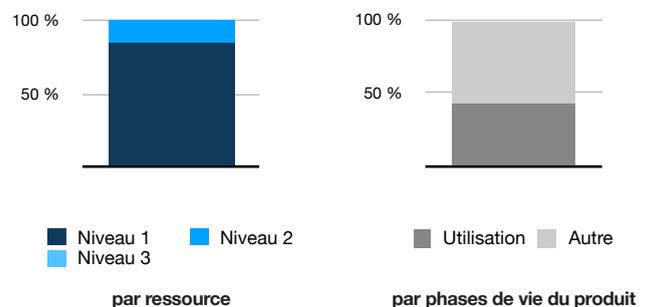


Figure 13. Répartition de l'impact numérique par ressource et par phase de vie d'un produit - AES - Asynchronous DL

*Nous ne prenons pas en compte les impacts liés au développement de la plateforme ou du contenu.

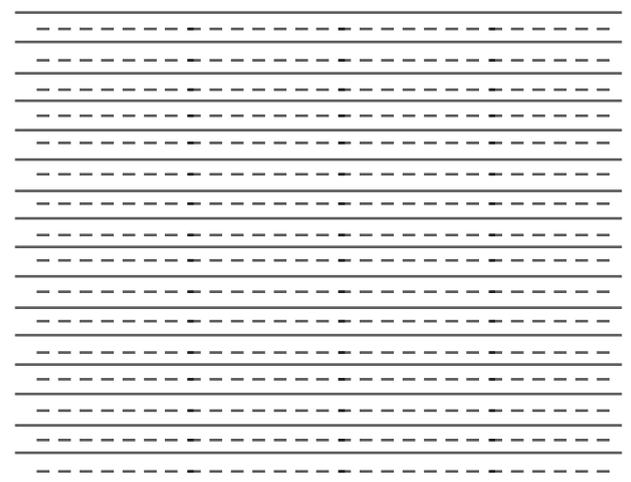
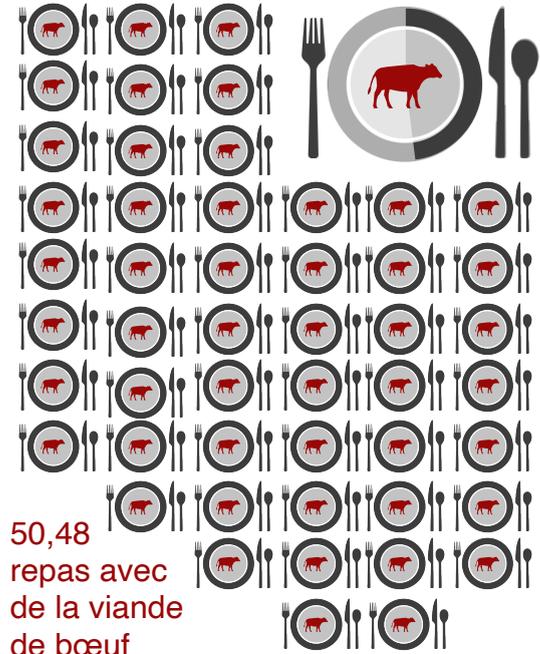
7.2 Formation numérique asynchrone

7.2.2 Plate-forme de formation (Doodle) - Belgique - Cas d'usage 2

Appliquons maintenant le modèle à un cas d'utilisation spécifique : **une plateforme Moodle utilisée sur le marché belge. Nous évaluons l'impact d'une session d'une heure pour 300 apprenants. La session est basée sur un contenu vidéo (streaming). La plateforme est hébergée en Belgique.**

La moitié des apprenants suivent la session chez eux puisqu'ils possèdent un ordinateur portable, l'autre moitié doit se rendre dans leur établissement où ils possèdent un ordinateur de bureau. La moitié d'entre eux se déplace en voiture, avec une distance moyenne de 25 km (aller-retour). Toutes les autres variables ont des valeurs par défaut. Tous les facteurs d'impact sont spécifiques au bouquet énergétique de la Belgique. Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le tableau A13.

Dans ce scénario, l'impact d'une session d'une heure est évalué entre 3,16E+02 kgCO2eq. et 3,97E+02 kgCO2eq. (3,53E+02 kgCO2eq. en moyenne), Tableau A14. L'impact d'une séance d'une heure par personne est estimé entre 1,05E+00 kgCO2eq. et 1,32E+00 kgCO2eq. (1,18E+00 kgCO2eq. en moyenne). L'équivalence des valeurs moyennes est présentée dans la figure 15.



2718 km en voiture en Europe 

Figure 14. Équivalence de l'impact d'une séance d'une heure en Belgique en termes de repas au bœuf et de kilomètres en voiture en Europe

7.2 Formation numérique asynchrone

7.2.2 Plate-forme de formation (Doodle) - Belgique - Cas d'usage 2

Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement

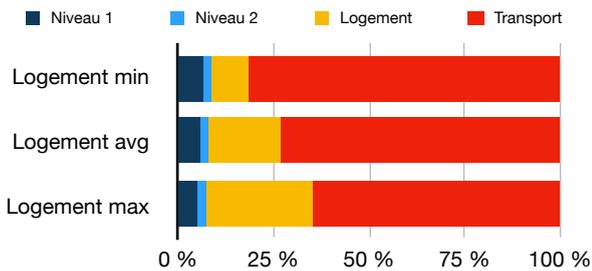


Figure 15. Répartition des impacts en fonction de l'impact du logement - Cas d'utilisation 2

Les impacts liés au transport et à l'énergie domestique des participants représentent la majeure partie des impacts d'une session (entre 85% et 91%). Bien que seulement un quart des participants utilisent leur voiture, le transport représente l'empreinte la plus importante d'une session (entre 65% et 81%).

Distribution de l'impact numérique

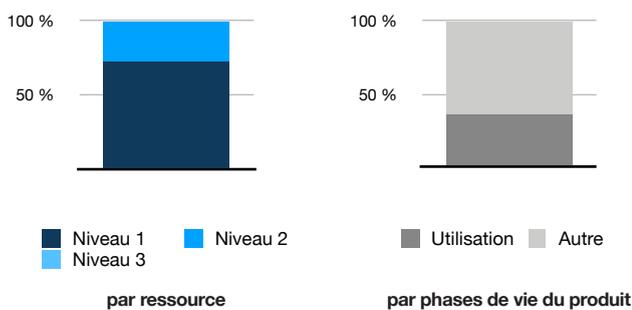


Figure 16. Répartition de l'impact numérique par ressource et par phase de vie d'un produit - Cas d'utilisation 2

Là encore, l'impact lié aux ressources numériques est principalement supporté par les terminaux des utilisateurs (70%). Il est suivi par l'impact de l'utilisation du réseau (27%). L'utilisation du streaming entraîne une consommation importante de données, ce qui explique la part importante du réseau dans ce scénario. Il est à noter que les impacts liés au TIER 3 (centres de données) sont probablement sous-estimés.

7.3 Présentiel numérisé

7.3.1 Scénario européen moyen (SEM)

Nous utilisons des valeurs moyennes pour le cas d'utilisation européen tirées de notre enquête, ainsi que des facteurs d'impact européens moyens. Les impacts liés à l'utilisation des centres de données (TIER 3) et du réseau (TIER 2) sont exclus de ce scénario en raison de la difficulté à déterminer les ressources numériques utilisées dans une salle de classe. Une étude plus spécifique devrait être menée pour déterminer les pratiques numériques au sein des classes européennes en présentiel. Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le tableau A15.

Avec les valeurs moyennes tirées des résultats de l'enquête, l'empreinte d'une session d'une heure est évaluée à 9,33E+01 kgCO2eq. en moyenne, tableau A16.

L'empreinte d'une session d'une heure par personne est estimée à 3,49E+00 kgCO2eq. en moyenne. L'équivalence de la valeur moyenne est présentée dans la Figure 18.

La principale source d'impact (96,5 %) est liée au transport des participants en voiture (seuls les impacts liés au transport des personnes en voiture sont pris en compte).

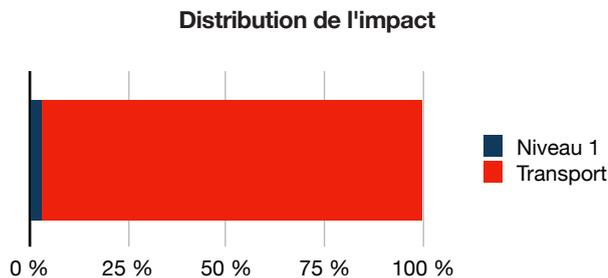
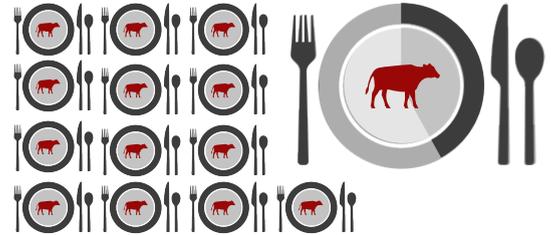


Figure 18. Distribution de l'impact – SEM



13,33 repas avec de la viande de bœuf

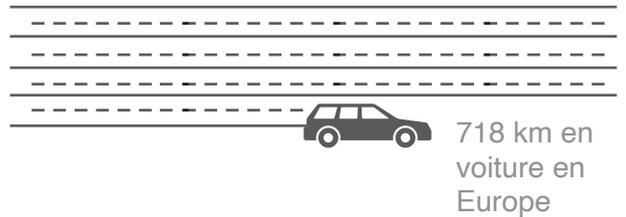


Figure 17. Équivalence de l'empreinte d'une session d'une heure en termes de km parcourus en Europe en voiture et d'un repas à base de viande de bœuf - AES - Face-à-face numérisé

7.3 Présentiel numérisé

7.3.2 Formation professionnelle - France - Cas d'usage 3

Appliquons maintenant le modèle à un cas d'utilisation spécifique : **une classe professionnelle en face à face sur site, à laquelle participant 9 apprenants et un formateur.**

Dans ce scénario, l'organisme de formation fournit une tablette à chaque apprenant et à chaque formateur. Les tablettes ont un taux de renouvellement élevé (1,5 an contre 3 ans en moyenne en Europe) et ne sont utilisées qu'à des fins de formation. Nous supposons que tous les contenus numériques sont disponibles localement. Par conséquent, aucun impact lié au réseau ou aux services en nuage n'est pris en compte.

Tous les apprenants doivent se rendre sur le site d'enseignement. La moitié d'entre eux se déplace en voiture, avec une distance moyenne de 20 km. Toutes les autres variables ont des valeurs par défaut. Tous les facteurs d'impact sont spécifiques au mix énergétique français. Toutes les valeurs utilisées sont reportées dans le tableau A17.

Dans ce scénario, l'impact d'une session d'une heure est évalué à $1,51E+01$ kgCO₂eq., Tableau A18. L'impact d'une session d'une heure par personne est estimé à 1,51 kgCO₂eq. Si l'on considère que ce cours est dispensé pendant une journée (sessions de 7 heures) durant 4 jours, nous estimons l'impact du cours à $1,05E+02$ kgCO₂eq. L'équivalence [10] est présentée dans la figure 20.

Dans ce scénario, le transport des participants est responsable de la plupart des impacts (90%). Seuls les terminaux des utilisateurs sont pris en compte dans cette approche. Ils représentent 10% de cette session.

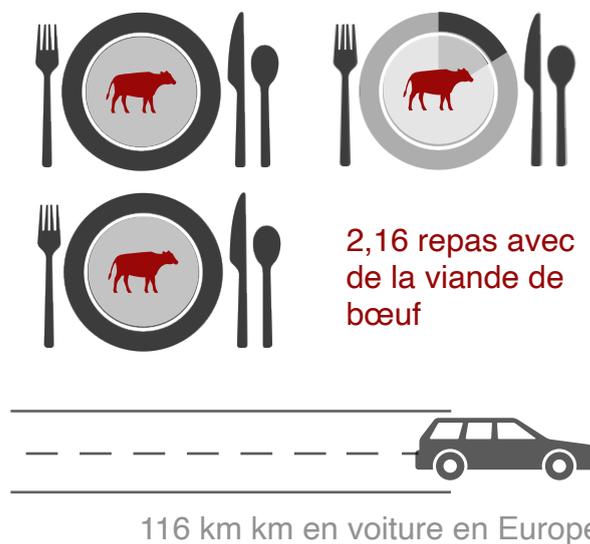


Figure 19. Équivalence de l'empreinte d'une session d'une heure en termes de km parcourus en Europe en voiture et d'un repas à base de viande de bœuf - Cas d'utilisation 3

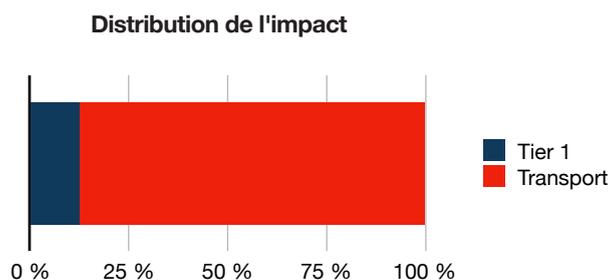


Figure 20. Répartition des impacts - Cas d'utilisation 3

[10] Les équivalents sélectionnés sont tirés de <https://impactco2.fr/>. ImpactCO2 est un projet de l'ADEME qui fait partie de Datagir. 054

7.3 Présentiel numérisé

7.3.2 Formation professionnelle - France - Cas d'usage 3

La quasi-totalité des incidences des terminaux d'utilisateurs sont dues aux phases de fabrication, de transport et de fin de vie. Cela s'explique par plusieurs raisons :

- ▶ Le mix énergétique français considéré a une faible intensité carbone (0,098 kgCo2eq./kWh, soit 3,5 fois moins que le mix moyen européen). Les émissions liées à la consommation d'électricité (phase d'utilisation) sont donc faibles.
- ▶ Le taux de renouvellement des tablettes utilisées dans ce scénario est très élevé (tous les 1,5 ans), de sorte que les émissions intégrées représentent une part importante associée à une session.
- ▶ Dans ce scénario, les tablettes sont peu utilisées (1 heure par jour), de sorte que les émissions intégrées représentent une part importante associée à une session.

Cette institution pourrait modifier ses politiques d'achat et d'utilisation des tablettes afin de réduire son impact. Par exemple, imaginons que la durée de vie de ses tablettes passe à 5 ans et qu'il décide de les partager entre plusieurs classes dans une journée, ce qui conduit à une utilisation de ses tablettes de 4 heures par jour. Les émissions incorporées restent la part la plus importante, en partie à cause de la faible intensité carbone du mix électrique français, mais l'impact absolu associé aux tablettes est réduit d'un facteur 13.

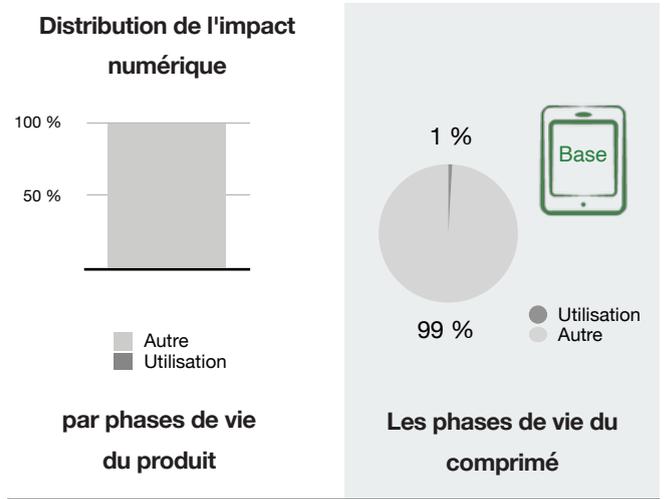


Figure 21. Répartition de l'impact numérique par phase de vie du produit (ex. tablettes) - Cas d'utilisation 2

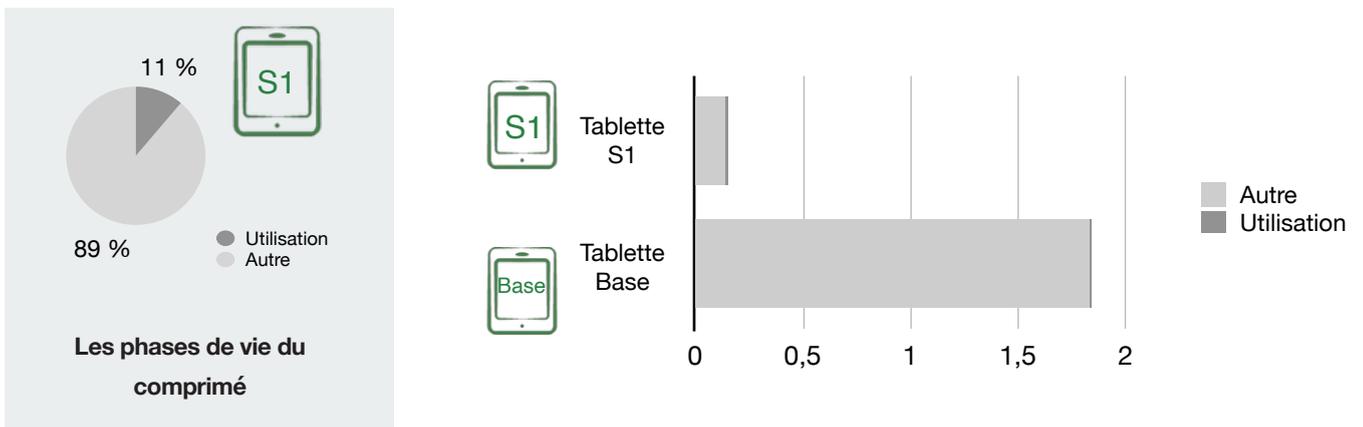


Figure 22. Répartition de l'impact numérique par phase de vie du produit avec comparaison des impacts d'un tableau entre deux scénarios

7.4 Premières conclusions

Les principales conclusions que l'on peut tirer de ces différentes évaluations sont les suivantes :

- ◆ Les incidences liées aux ressources non informatiques (transport et consommation d'énergie domestique) sont plus importantes que celles liées aux ressources informatiques.
- ◆ Il existe un compromis entre les impacts évités du transport et la surconsommation d'énergie domestique. La substitution des trajets domicile-travail entraînera une surconsommation de l'énergie domestique des apprenants et des formateurs, tandis que les trajets domicile-établissement réduiront les impacts liés à la consommation d'énergie domestique.
- ◆ Un participant qui doit se déplacer pour assister à un cours a une empreinte liée au transport plus importante que les impacts liés à la consommation d'énergie domestique d'un participant qui ne se déplace pas - dans les conditions de déplacement considérées.
- ◆ La surconsommation d'énergie domestique dépend du pays, mais elle reste importante pour tous les pays.
- ◆ L'impact lié aux ressources numériques reste minoritaire dans tous les scénarios et ne semble pas être affecté par le fait de suivre le cours en face à face ou à distance.
- ◆ La plupart du temps, l'impact lié aux ressources informatiques est principalement porté par les impacts incorporés.
- ◆ Le niveau 1 est celui qui a le plus d'impact dans tous les scénarios.
- ◆ La durée de vie de l'équipement est l'une des variables les plus importantes de l'impact d'une session d'apprentissage numérique. Plus l'équipement dure longtemps, plus l'impact de la session est faible.

08. Résultats : Effets indirects

La section précédente a donné quelques ordres de grandeur pour comprendre les impacts dits directs induits par un cours numérique. Cependant, cette section ne donne qu'une vision partielle des impacts de l'enseignement à distance. En effet, l'introduction de processus numériques dans le contexte de l'éducation a conduit à des changements socio-économiques dans la production et la consommation de services d'apprentissage et d'autres services qui peuvent conduire à de nouveaux impacts environnementaux. Nous proposons de détailler et de caractériser les impacts indirects identifiés lors des groupes de discussion. Le cas échéant, nous proposons de faire correspondre les effets identifiés à un ou plusieurs des types d'effets indirects définis dans le tableau 1.

8.1 Réduction des trajets domicile-travail

Comme mentionné dans la section 2, l'apprentissage numérique est présenté dans la littérature comme un moyen de réduire les impacts de l'éducation, en grande partie grâce à la réduction des déplacements des apprenants et des formateurs. Cette réduction a semblé évidente à tous les participants. Nous avons également souligné la réduction des déplacements de longue distance dans le cas d'apprenants ou de formateurs vivant à l'étranger. Il n'est pas encore possible de savoir si cet effet sera durable dans le temps ou restera limité à la pandémie de Covid-19.

Cela peut être qualifié d'*effet de substitution*, puisque l'apprentissage numérique a la capacité de remplacer l'apprentissage sur site, réduisant ainsi les impacts liés aux déplacements des apprenants et des formateurs.

Au-delà de la simple réduction des déplacements, certaines études ont souligné qu'une réduction globale des déplacements peut réduire les effets de la congestion aux heures de pointe (ADEME, 2020) :

- ▶ Rendre les transports publics plus attrayants
- ▶ Réduction de la durée des trajets et de la pollution

Toutefois, cet effet positif devrait être contrebalancé par les effets de rebond induits par l'attrait accru des réseaux de transport moins encombrés. En effet, il a été démontré qu'une réduction de la congestion des réseaux de transport peut conduire à une ré-augmentation de leur utilisation (Hymel et al., 2010).

“Je ne suis allé nulle part, pas même à Londres pendant un an, alors que j'étais censé le faire. J'habite à [ville] et par conséquent, je ne suis pas allé à Londres pendant plus d'un an”

“Certains enseignants ont refusé de voyager et sont restés dans leur pays d'origine.”

8.2 Réduire la consommation d'énergie des bâtiments scolaires

Un deuxième effet positif associé au processus d'apprentissage numérique est la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments scolaires.

À court terme, la mise en œuvre de l'apprentissage numérique pourrait réduire la consommation d'énergie des bâtiments par un effet de substitution. Bien que la réduction de la consommation d'énergie semble être directement liée au nombre de cours dispensés dans un bâtiment, cet effet semble plus complexe à évaluer. En effet, certaines publications scientifiques ayant étudié les effets de la réduction de la consommation

d'énergie des universités pendant le COVID ont montré que la réduction n'était que marginale (Fillimonau & al, 2020). Ceci pourrait s'expliquer par la nécessité de maintenir un niveau de consommation d'énergie pour les fonctions administratives et un manque de gestion de l'énergie au sein des bâtiments d'enseignement.

Malgré cela, certaines universités comptent sur cet effet de substitution pour réduire leurs coûts énergétiques. C'est le cas de l'Université de Strasbourg qui a décidé de fermer ses locaux pendant 2 semaines dans un contexte de crise énergétique^[11].

A terme, la généralisation de l'enseignement à distance pourrait conduire à l'abandon et à la mutualisation de certains bâtiments éducatifs. Cependant, il n'est pas encore possible d'évaluer la crédibilité d'un tel scénario. Par ailleurs, il n'est pas non plus possible d'évaluer les effets nets d'une telle dynamique. En effet, elle pourrait réduire les impacts liés aux bâtiments mais pourrait augmenter les temps de trajet restants, augmentant ainsi les impacts du transport des employés et des apprenants.

8.3 Nouveaux déplacements quotidiens de courte distance

Comme nous l'avons vu plus haut, l'apprentissage numérique a la capacité de réduire la pollution induite par les déplacements domicile-travail. Malgré cette réduction, nous avons identifié l'apparition de nouveaux déplacements de courte distance rendus possibles par la réduction des contraintes suite à l'introduction de processus de formation numérique.

Certains participants ont mentionné une augmentation de leur temps libre en raison de la suppression du trajet jusqu'à leur lieu d'enseignement. Dans certains cas, ce temps libre a été utilisé pour d'autres activités impliquant des transports.

"Aller dans des parcs ou des choses comme ça. Dans les cafés aussi, ce qui n'était pas possible auparavant."

Pour certains apprenants, leur lieu de résidence ne leur permet pas de suivre des cours en ligne dans de bonnes conditions. On peut parler de problèmes d'accessibilité. Plusieurs raisons ont été citées. L'absence d'une connexion internet suffisante ou le manque d'ordinateurs. Un participant a mentionné que l'équipement partagé par un ménage n'est parfois pas suffisant pour répondre à tous les besoins numériques. L'environnement de travail a également été cité comme raison, car certains apprenants ne bénéficient pas d'une situation suffisamment calme. Par ailleurs, les difficultés de certains apprenants avec les TIC les amènent à avoir besoin d'un soutien pour utiliser les ordinateurs. Ce soutien se fait souvent en face à face. Enfin, le désir de renouer avec les pairs est également une raison invoquée.

[11] https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/crise-de-l-energie-la-fermeture-prolongee-a-l-universite-de-strasbourg-est-validee_5465512.html

"Il y a des enfants ou des familles qui n'ont pas accès à l'internet et il est donc impossible de faire de la formation numérique."

"J'ai eu 2/3 stagiaires qui ont dû partir ailleurs pour suivre une formation parce qu'ils vivaient dans des zones blanches"

"l'un des premiers obstacles [...] est en effet cette méconnaissance du monde numérique".

"aller et venir chez [personne] et [personne] ou chez [personne] pour étudier avec des pairs"

Des tiers-lieux ont été créés dans certains territoires afin d'améliorer l'accessibilité (lieux différents du lieu de travail ou du domicile). Ces lieux peuvent fournir une connexion internet, des appareils numériques, une assistance, etc.

"S'ils ont une mauvaise connexion, ou s'ils ne disposent pas d'un ordinateur performant pour suivre la formation, ils ont la possibilité de se rendre dans des tiers-lieux qui sont répartis sur l'ensemble du territoire de la [Région], ce qui signifie qu'ils ont la possibilité de se rendre dans un tiers-lieu proche de leur lieu de résidence pour disposer de l'équipement adéquat afin de suivre efficacement la formation."

"Aujourd'hui, nous discutons avec certaines communautés qui souhaitent mettre en place des tiers-lieux où l'on pourrait suivre une formation."

Si ces lieux constituent une approche prometteuse pour permettre à la population d'accéder à la formation numérique, ils réduisent l'avantage de la réduction des déplacements. Cet inconvénient a été mentionné par un participant, qui l'a mis en balance avec le bénéfice social.

"Il y a 20 ans, j'étais convaincu que l'enseignement à distance était meilleur parce qu'il n'y avait pas besoin de se déplacer. [...] aujourd'hui, en fait, la question est de se demander si, dans certains cas, [...] il vaut mieux qu'il y ait un lieu où les utilisateurs auront accès à des équipements où ils pourront se former, accéder à l'éducation, même s'il y aura des déplacements [...], mais cela créera une valeur sociale"

Ceci peut être qualifié de *rebond direct*, puisque la réduction de la contrainte temporelle permise par l'apprentissage numérique pourrait paradoxalement conduire à une nouvelle consommation de transport de courte distance, créant de nouveaux impacts environnementaux.

8.4 Nouveaux voyages longue distance

Outre les nouveaux déplacements possibles sur de courtes distances, nous avons également mis en évidence les nouveaux déplacements sur de longues distances induits par l'apprentissage numérique. Ces types de déplacements pourraient avoir des impacts importants car ils sont moins susceptibles d'être effectués avec des modes de transport à faible émission de carbone.

Certains participants ont mentionné la possibilité de suivre leurs cours à partir d'une résidence secondaire, ce qui implique un transport jusqu'à celle-ci. De même, certains participants ont mentionné l'organisation de voyages dans une autre région ou un autre pays pendant les périodes de cours.

"Je me suis même permis de partir en vacances, par exemple, à [région] pour aller voir [personne] ce que

je ne me serais pas permis de faire avant [...] Donc c'est vrai que ça me permet de prendre plus de temps libre et d'être moins à la maison. [J'ai pris le temps de me déplacer parce que j'avais besoin d'avoir un environnement autre que ma chambre et ma cuisine. Je travaillais"

"Nous dirons "voyages à long terme". Pas des vacances, mais des études en dehors de mon domicile et de mon lieu de résidence, mais pas de voyages quotidiens, vous savez, des voyages à long terme plutôt que des voyages quotidiens"

Ceci peut être qualifié de *rebond direct*, puisque la réduction des contraintes de temps et de présence permise par l'apprentissage numérique pourrait conduire à une nouvelle consommation de transport à longue et moyenne distance, créant de nouveaux impacts environnementaux.

8.5 Effet de l'éducation

Le rôle de l'éducation dans l'alignement de notre société sur les limites de la planète est régulièrement cité comme un moyen de réduire l'impact de tous les secteurs d'activité.

On peut citer l'éducation des citoyens aux enjeux environnementaux globaux. C'est également le cas dans le cadre de la formation professionnelle, en commençant par les bonnes pratiques environnementales jusqu'à l'accompagnement de la transformation des pratiques (agricoles, industrielles...). Enfin, le rôle de l'éducation est également crucial pour accompagner les

transformations socio-économiques induites par les politiques de transition écologique (changement d'horizons professionnels, suppression de certaines industries, augmentation des besoins humains dans d'autres...).

L'effet éducation n'est pas spécifique à l'apprentissage numérique. Cependant, l'apprentissage numérique offre de nouveaux canaux de formation qui pourraient contribuer à sa généralisation.

8.6 Obésité du contenu

Nous avons constaté que l'apprentissage numérique avait participé à l'augmentation générale de la production et de la fourniture de contenu d'apprentissage. La redondance du contenu est l'une des raisons invoquées. Étant donné que chaque institution peut disposer de sa propre plateforme, le contenu peut être hébergé à plusieurs endroits.

"En fait, le même contenu sera utilisé X fois partout."

Le modèle économique des contenus de formation est une autre raison invoquée. En effet, les plateformes généralistes, en concurrence les unes avec les autres, doivent proposer des contenus couvrant les champs disciplinaires les plus larges possibles, ce qui conduit à des redondances.

"Lorsque vous êtes un consommateur, vous voulez regarder quelque chose sur les mathématiques et vous avez 46 plateformes qui le proposent, parce que ce sont des marchés et que tout le monde essaie de gagner sa vie sur ces marchés."

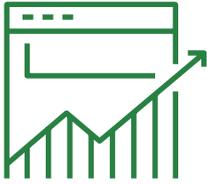
L'obésité du contenu est la conséquence d'une mutualisation insuffisante des contenus et des plateformes, ce qui entraîne une redondance.

"Il n'y a pas cet aspect de mutualisation."

Ceci doit être mis en perspective avec l'opportunité d'offrir un contenu de formation plus personnalisé, permettant un accès plus large à la formation pour la population.

"Cela a élargi le champ de nos clients, en touchant des personnes qui n'avaient pas nécessairement une idée de l'apprentissage à distance, et c'est donc très positif d'avoir changé les habitudes."

Ce phénomène peut être qualifié de *rebond direct*, puisque l'introduction de l'apprentissage numérique a augmenté la production globale de contenus d'apprentissage. La production et la maintenance de nouveaux contenus numériques entraînent de nouveaux impacts environnementaux liés au développement et à l'hébergement.



8.7 Consommation accrue des contenus de formation

La plupart des apprenants qui ont participé à notre groupe de discussion ont signalé une augmentation du nombre de cours en ligne suivis. Le nombre de cours dispensés par leur établissement est resté stable, mais les participants ont signalé une augmentation des cours suivis de manière autonome, indépendamment de leur établissement. La familiarisation avec l'apprentissage numérique, la diversité du contenu fourni en ligne et la possibilité de suivre un contenu d'apprentissage à un coût faible ou nul en dehors du contexte d'une institution sont les principales causes évoquées lors des groupes de discussion.

“Je pense qu'il y a eu beaucoup plus de contenu vidéo au cours des cinq dernières années, il s'est pratiquement démocratisé.”

“Il y a une multiplication de l'utilisation, une diversification de l'utilisation et une multiplication des canaux numériques pour atteindre les apprenants de différentes manières. C'est une tendance qui s'installe”

Ce phénomène peut être qualifié de rebond direct, puisque l'introduction de l'apprentissage numérique a augmenté la production et la consommation globales de contenu d'apprentissage. Si certains cours numériques ont remplacé des cours sur site, d'autres doivent être attribués à une nouvelle consommation. Ainsi, nous pourrions également affirmer que l'apprentissage numérique a entraîné un effet d'empilement des contenus de formation. L'augmentation absolue de la consommation de contenu numérique pourrait entraîner de nouveaux impacts environnementaux.

8.8 Contenus poussiéreux

Une grande partie du contenu d'apprentissage est répliqué dans des plateformes d'entreprise de type Moodle afin d'être intégré dans le plan de formation interne. **Nous avons remarqué que les contenus d'apprentissage restent souvent sur la plateforme de l'institution, même s'ils sont obsolètes ou ne sont pas suivis. Ces ressources induisent une consommation de ressources telles que le stockage.** L'enregistrement du contenu dans une plateforme et son hébergement induisent des impacts environnementaux, pour peu ou pas de besoin. Pour décrire ce problème, l'image d'un contenu reposant sur une étagère a été donnée.

"il se retrouve sur les étagères parce qu'il ne répond pas à un besoin identifié".

"Nous pourrions parler du contenu de l'étagère."

Nous appelons donc ces phénomènes *l'effet d'étagère de contenu poussiéreux*, qui est principalement dû au modèle économique de l'achat de contenu d'apprentissage. Étant donné que la majeure partie de l'investissement économique a déjà été réalisée lors de l'achat, les contenus sont conservés sur les plateformes, parfois sans aucun processus de contrôle ou de déclassement.

"Ils ont un contenu qu'ils ont payé et qui n'a jamais été utilisé"

Le fait que leur contenu puisse rester sur une étagère sans être utilisé a été un réel problème soulevé par les *experts* lors des groupes de discussion.

"c'est une crainte, [...] que nous mettions en place des solutions qui fonctionnent de manière ponctuelle"

La qualification du besoin est donc d'une grande importance. Un expert nous a fait part de quelques-unes des questions importantes qu'il posait lors d'un entretien avec un client potentiel pour réduire cet effet.

"vous avez besoin d'une plateforme, pourquoi en fait ? Qu'allez-vous mettre sur cette plateforme, et qui va créer le contenu qui sera sur cette plateforme ?"

Cet effet augmente les impacts liés à l'enseignement sans apporter de valeur ajoutée.

8.9 Obésité logicielle

Aujourd'hui, l'apprentissage numérique repose sur de nombreux types de logiciels (voir section 6.1.1). D'après les parties prenantes, le nombre d'outils disponibles utilisés dans l'apprentissage numérique a récemment augmenté. D'une part, cela est considéré comme une bonne occasion d'améliorer la qualité des cours.

D'autre part, les logiciels peuvent être utilisés de manière non coordonnée. **Un participant a même utilisé le terme d'obésité logicielle. Par exemple, les personnes travaillant dans les mêmes institutions utilisent souvent des outils différents pour atteindre le même objectif, ce qui peut entraîner une incohérence des logiciels.**

La réduction des coûts de la plateforme est une des raisons évoquées pour expliquer la multiplicité des logiciels utilisés. De nombreux logiciels SaaS peuvent être partiellement utilisés gratuitement, ce qui réduit les contraintes de sélection, l'utilisation d'un logiciel dans un cours n'étant pas soumise à la validation de l'institution. Ce phénomène peut être qualifié de *rebond direct*, puisque la réduction des contraintes de prix et de sélection a conduit à une augmentation de la consommation globale de logiciels d'apprentissage numérique.

Une autre raison invoquée par les experts est l'attachement des institutions aux outils plutôt qu'aux méthodes d'enseignement.

"Il y a plus de ressources et plus d'outils qui peuvent permettre beaucoup plus d'échanges et d'interactivité."

"Il y a 20 ans [...] on n'avait rien, il n'y avait pas d'outils, [...] aujourd'hui c'est vrai qu'il y a tellement de choses qui se développent"

"Il existe une pléthore d'outils, par exemple des tableaux blancs, des outils de post-informatique, etc."

"qui est un peu, je pense, une obésité du, du logiciel, des solutions"

"Ils ont tous un peu la même fonctionnalité."

"Ce qui serait formidable, c'est d'avoir un outil comme zoom, qui intègre des solutions interactives"

"Nous nous rendons compte aujourd'hui qu'il existe de nombreuses solutions gratuites."

"Il y a une fixation sur les outils. Combien de fois avons-nous rencontré des entreprises, des écoles, des organismes de formation ; ils vous appellent pour augmenter leur compétence en matière d'enseignement à distance, ou ils veulent développer l'enseignement à distance en interne. Et la première chose dont ils vous parlent, ils vous parlaient à l'époque, mais toujours, c'est la plateforme. Vous arrivez à un rendez-vous, j'ai besoin d'une plateforme et voilà, j'ai besoin d'une plateforme mais super mais comment ça se passe avant la plateforme ?"

"C'est vrai qu'il y a une fixation sur les outils."

8.9 Obésité logicielle

Certains participants ont souligné le manque d'intégration des logiciels aux appareils existants ou au processus de formation. Par exemple, les formateurs reçoivent peu de formation sur les logiciels d'apprentissage numérique.

Tous ces effets peuvent conduire à une sous-utilisation des logiciels puisque les besoins qu'ils sont censés satisfaire ne sont pas bien définis. La sous-utilisation peut se traduire soit par l'utilisation d'un logiciel dans quelques classes, soit par l'utilisation partielle des fonctionnalités offertes par le logiciel. Un participant explique cet effet par un manque d'exploration fonctionnelle de la part des formateurs.

Ce phénomène peut être qualifié de *rebond direct*, puisque l'introduction de l'apprentissage numérique a augmenté la production globale de logiciels d'apprentissage. La production et la maintenance de nouveaux logiciels peuvent entraîner de nouveaux impacts environnementaux liés à leur développement ou à leur utilisation.

"En fait, j'avais beaucoup d'outils dans mes armoires, mais personne ne sait comment les utiliser."

"Ils ont des armoires pleines d'outils et de solutions qui sont développés par les services d'innovation R&D à Paris [...], ce n'est jamais intégré dans les appareils".

"Cela n'a jamais changé, nous avons donc une multitude d'outils numériques qui ne sont pas utilisés parce qu'ils n'ont pas été conçus pour les utilisateurs, c'est-à-dire qu'un enseignant se voit imposer un outil."

"Ils ne vont jamais au bout des outils. [...] Il n'y a pas d'exploration fonctionnelle."

8.10 Familiarisation avec la consommation en ligne

L'évolution des habitudes induite par l'apprentissage numérique a eu des conséquences sur la consommation d'autres contenus numériques par les participants.

D'une manière générale, les étudiants universitaires ont fait état d'une forte augmentation de leur consommation numérique. Il est difficile de dire si la cause en est l'enfermement ou l'introduction de l'apprentissage numérique.

L'un des éléments mentionnés est la multiplication des événements sociaux tels que les réunions de famille, les réunions d'associations ou les événements publics. Une partie de cette augmentation peut être attribuée

à la substitution partielle (hybride) ou totale d'événements sur place. Cependant, selon les participants, une autre partie de l'augmentation est due à l'introduction de nouveaux événements. Certains participants ont directement attribué la création de ces nouveaux événements à leur familiarisation avec les outils de vidéoconférence dans le contexte de l'apprentissage en ligne.

"C'est parfois un réflexe d'utiliser la vidéoconférence même pour des choses qui ne sont pas nécessairement liées au travail ou aux études. Surtout avec la famille ou les amis, ce qui n'était pas le cas auparavant."

"Mais il est vrai que même dans les réunions d'associations, on fait beaucoup plus de vidéoconférences qu'avant"

Dans le contexte professionnel, cette augmentation a également été soulignée, mais elle a surtout été attribuée à la familiarisation avec les outils à distance dans le cadre du télétravail.

Nous pourrions affirmer que l'apprentissage numérique a participé à la *transformation systémique* et à l'augmentation de la consommation en ligne, ce qui a entraîné une augmentation possible des impacts associés.

8.11 Effet des nouveaux équipements

Le processus d'apprentissage numérique implique la nécessité d'un lieu de travail numérique pour les apprenants et les formateurs. Lorsque ce matériel n'est pas disponible pour les apprenants ou les formateurs, cela peut impliquer la consommation de nouveaux matériels.

Contrairement à ce que nous avons prévu, l'apprentissage numérique n'était pas une raison importante invoquée pour l'achat d'appareils informatiques (ordinateur portable, smartphone, ordinateur de bureau), car tous les participants possédaient déjà

au moins l'un d'entre eux. Les étudiants universitaires ont indiqué que les ordinateurs portables étaient déjà obligatoires pour suivre leurs cours sur place. Dans certains cas, les universités pouvaient louer ou prêter l'équipement. Dans le contexte professionnel, une grande partie des participants ont utilisé leur équipement professionnel.

Cependant, la plupart des participants ont déclaré avoir investi dans d'autres équipements non obligatoires pour améliorer leur confort pendant les cours en ligne : casque, chaise de

bureau ergonomique, deuxième écran, souris Bluetooth, etc.

"J'ai investi dans des casques Bluetooth et c'était peut-être un peu lié aux cours en ligne."

"La seule chose que j'avais à faire était d'acheter un appareil photo pour avoir une micro-caméra sur le Mac Mini."

"Il est intéressant d'avoir un double écran pour les formateurs et les apprenants."

"C'était juste un bonus, je me débrouille très bien avec ou sans mes écouteurs."

L'achat de ces équipements peut être attribué principalement au processus d'apprentissage numérique, puisqu'ils ont été achetés principalement pour suivre les sessions d'apprentissage numérique. Cependant, les participants les ont utilisés pour d'autres processus après avoir investi dans ces équipements.

Il a été mentionné que la demande croissante de puissance de calcul par les logiciels utilisés dans l'enseignement pourrait conduire à un renouvellement précoce des appareils. Par exemple, un participant a rencontré des problèmes de surchauffe lors de vidéoconférences.

"Il provoque une surchauffe. Je suis obligé de couper la vidéo en général [...] sinon le Mac Book Air aurait chauffé de manière importante, et ce n'est pas du tout agréable au niveau du son"

Si les individus ont peu modifié leur consommation d'appareils numériques, il en va différemment pour les institutions. En effet, il a été rapporté que certains établissements ont dû faire d'importants investissements pour soutenir la numérisation de leurs classes.

"Il y a eu une émergence, une demande croissante, voire exponentielle, sur les besoins de la digitalisation. Aussi, les collectivités locales qui se sont aperçues qu'en termes d'infrastructures, ce n'était pas prêt ni en termes de serveurs, ni en termes de flux, ni en termes de connectivité, [...]..."

La participation des processus d'apprentissage numérique ou des logiciels à l'achat et au renouvellement précoce des appareils numériques entraîne de nouveaux impacts liés à la fabrication, au transport et à la fin de vie des nouveaux équipements.

8.12 Effet des "équipement poussiéreux"

Dans le contexte professionnel, les employés utilisent leurs appareils professionnels. La plupart d'entre eux sont fournis par leur organisation pour l'accomplissement des tâches quotidiennes. Leur utilisation dans le contexte de l'apprentissage numérique est secondaire. Lorsque des appareils high-tech spécifiques (comme un casque de RV) sont nécessaires pour le cours, l'équipement est automatiquement prêté aux participants soit par l'institution, soit par l'organisme de formation. Dans le contexte académique, les appareils peuvent être prêtés à un étudiant spécifique sur la base de critères sociaux ou médicaux ou distribués automatiquement à l'ensemble de la classe. Cette pratique a été observée dans des écoles. Bien que les participants apprécient ces initiatives dans de nombreux cas, il a été démontré que les équipements sont souvent sous-utilisés. Plusieurs raisons ont été évoquées.

8.12 Effet des « équipement poussiéreux »

Lorsque tous les apprenants disposent d'un équipement, la duplication des appareils peut se produire, car certains apprenants peuvent déjà en posséder un.

“Nos clients sont déjà équipés, on essaie de s'adapter, on ne leur fait pas acheter des choses pour acheter des choses qui. Je déteste tout ça, j'ai vu dans ma vie trop d'étagères de tablettes qui n'ont jamais été utilisées”

Parfois, l'équipement fourni n'est pas intégré dans les stratégies pédagogiques de l'institution. Ainsi, les appareils fournis ne seront pas utilisés par le personnel enseignant pendant les cours. Cela peut être dû à un choix incohérent par rapport à l'utilisation requise ou à un manque de formation des apprenants et des formateurs.

“Nous avons des armoires pleines de tablettes parce qu'il y a quelques années, nous avons essayé de nous en occuper, nous nous sommes rendu compte que c'était une autre affaire. En outre, les clients n'étaient pas satisfaits parce que nous leur fournissions une tablette Android. Ils voulaient tous un iPad.”

“Je constate qu'en général, ils sont suréquipés.”

“Les enseignants se retrouvent donc avec des tablettes équipées d'un LMS pour lequel ils n'ont pas été formés.”

Dans le contexte académique, le modèle de distribution des équipements peut être remis en question. Selon les parties prenantes, les politiques se sont concentrées sur la distribution des appareils plutôt que sur le soutien à l'évolution des pratiques (création de contenu, formation des apprenants et des formateurs, etc.) Plusieurs raisons ont été évoquées, comme un effet de mode (voir section 6.4.11) ou la plus grande facilité pour les politiques de débloquer des budgets d'investissement plutôt que des budgets de fonctionnement.

“Il existe de grands projets numériques dans le secteur de l'éducation, qui finissent souvent par investir 80 % de leur budget dans le matériel informatique.”

“En général, les communautés qui aiment les tohos font des plans d'équipement. D'abord, cela peut être photographié. Deuxièmement, il s'agit d'un budget d'investissement et non d'un budget de fonctionnement, donc ce n'est pas un problème”.

En outre, plusieurs participants ont mentionné une sous-utilisation importante de certains équipements de haute technologie, en particulier les casques de réalité virtuelle. Ceci est d'autant plus problématique compte tenu de l'évolution technologique rapide, induisant un renouvellement régulier pour bénéficier des dernières avancées technologiques.

On peut conclure que la divergence entre les investissements dans les dispositifs pédagogiques et la stratégie pédagogique peut conduire à une sous-utilisation de l'équipement.

La distribution et le renouvellement régulier de ces équipements ont des impacts environnementaux significatifs par rapport à la valeur limitée qu'ils apportent au processus éducatif.

8.13 Effet de buzz

Que ce soit dans le contexte académique ou professionnel, nous avons identifié lors du focus group une tendance de l'institution à investir dans des équipements et logiciels de haute technologie afin de marquer la modernité de l'institution indépendamment de sa stratégie pédagogique. Un participant a qualifié cet effet d'*effet de mode* et a utilisé le terme de *buzzwords*.

"Je pense qu'il y a des effets de mode sur les mots à la mode"

Le terme "*effet wow*" a également été utilisé pour caractériser ce type d'effet.

"Le problème, c'est qu'on est toujours sur l'effet Waouh. Moi, je parle surtout de la réalité virtuelle. Moi, je vais investir sur la réalité virtuelle, pour pouvoir faire du marketing sur le sujet. Par contre, il n'y a pas de question sur la pédagogie, encore une fois, sur les effets de la formation"

Les technologies régulièrement citées sont l'IA, la réalité virtuelle et, plus récemment, le métavers.

"En ce moment, nous trouvons le méta-verse dans l'appel à projets"

Cet effet se traduit par des financements publics et privés orientés vers des projets utilisant des produits et services de haute technologie. Pour certains participants, si ces technologies peuvent être utiles, leur omniprésence dans les appels à projets n'est pas valorisante. Ils regrettent que les personnes qui financent ces projets ne soient pas très au fait de leur utilisation dans le contexte de l'apprentissage numérique.

"Je vais prendre l'IA qui aujourd'hui est nécessaire pour tous les financements. Elles sont très utiles sur certains types d'apprentissage [...], il y a une vraie valeur ajoutée et parfois non"

"Je le constate depuis 10 ans, il y a régulièrement des incontournables dans toute réponse, et cela ne correspond pas nécessairement à une utilisation qui se situe au sommet de la nécessité."

Une fois encore, l'écart entre le financement des outils pédagogiques et la stratégie pédagogique conduit à des investissements dans des technologies qui seront sous-utilisées.

"Il y a un divorce entre les patrons, qui sont plus intéressés par la partie marketing de l'histoire, et les éducateurs."

"Si vous n'écrivez pas qu'il y a de l'IA, [...] vous allez passer pour un idiot auprès d'eux, en fait, ce n'est pas innovant, [...] il faut leur dire des choses qu'ils ne comprennent pas, et comme ils ne comprennent pas, ils disent "putain, c'est super innovant, c'est génial, on va le financer"."

"Quand on parle d'éducation et de formation, il est bon de partir des approches et des utilisateurs, de l'ambition pédagogique et ensuite de la technologie, qui doit être au service de la pédagogie et non l'inverse."

Cet effet stimule le marché de la haute technologie et les investissements en présentant de nouvelles applications dans le contexte de l'éducation numérique. Il pourrait ainsi participer à un *rebond de l'économie* dans le secteur des hautes technologies. Ceci doit être observé de près étant donné les impacts significatifs associés à ce secteur.

9. Synthèse des effets

Nous synthétisons dans le tableau 23 tous les effets environnementaux liés à l'apprentissage numérique documentés dans cette étude. Pour chaque effet, nous qualifions sa classe (impact direct, effet facilitateur ou effet indirect) et son type selon la classification proposée dans le tableau 1.

Tableau 23, synthèse des effets de l'apprentissage numérique

Effets	Classe d'effet	Type d'effet (d'après le tableau 1)
Impacts de niveau 1	Impacts directs	-
Impacts de niveau 2	Impacts directs	-
Impacts de niveau 3	Impacts directs	-
Impacts sur les transports	Impacts directs	-
Impacts sur la consommation d'énergie domestique	Impacts directs	-
Réduction des trajets domicile-travail	Effet d'habilitation	Substitution
Réduction de la consommation d'énergie des bâtiments scolaires	Effet d'habilitation	Substitution
Effet sur l'éducation	Effet d'habilitation	-
Nouveaux déplacements quotidiens de courte distance	Effet indirect	Rebond direct
Nouveaux voyages de longue durée	Effet indirect	Rebond direct
Obésité du contenu	Effet indirect	Rebond direct
Augmentation de la consommation de contenu de formation	Effet indirect	Rebond direct et effet d'empilement
Étagères au contenu poussiéreux	Effet indirect	-
Obésité logicielle	Effet indirect	Rebond direct
Familiarisation avec la consommation en ligne	Effet indirect	Transformation systémique
Nouveau matériel	Effet indirect	-
Équipement poussiéreux	Effet indirect	-
Effet de buzzword	Effet indirect	Rebond de l'économie

10. Recommandations

10.1 Généralités

L'analyse des impacts directs de l'enseignement en ligne d'une heure a montré que les principales ressources ayant un impact sur un processus d'apprentissage numérique sont, par ordre d'importance :

- ▶ Transport des apprenants et des formateurs
- ▶ La surconsommation de bâtiments
- ▶ Émissions intégrées provenant de terminaux d'utilisateurs
- ▶ Émissions liées à la consommation de terminaux d'utilisateurs
- ▶ Émissions intégrées et émissions liées à l'utilisation des infrastructures numériques (réseaux et centres de données)

De nombreuses actions nécessaires pour réduire ces impacts doivent être entreprises au niveau des politiques publiques européennes. Nous ne proposons pas ici une liste exhaustive de ces orientations générales. Néanmoins, nous pouvons citer au niveau des politiques publiques : l'isolation des bâtiments, le développement

de la mobilité douce, la réduction de la mobilité à forte émission, la régulation du déploiement des nouvelles infrastructures numériques, le démantèlement de certaines infrastructures, etc.

Les actions d'optimisation des infrastructures doivent également être mises en œuvre par les opérateurs d'infrastructures numériques. Les effets rebond induits par l'optimisation des infrastructures doivent être considérés avec attention. Il faut garder à l'esprit que ces optimisations doivent permettre de réduire les émissions du secteur en termes absolus et non en termes relatifs.

Dans les prochaines parties de ce rapport, nous nous concentrerons sur les recommandations qui peuvent être mises en œuvre par les acteurs du secteur de l'apprentissage numérique, c'est-à-dire les établissements d'enseignement, les fournisseurs de plateformes et de contenus, les formateurs et enfin les apprenants.

10. Recommandations

10.2 Au niveau des institutions

10.2.1 Équipements

La réduction des impacts liés à l'équipement est principalement réalisée par :

- ▶ Éviter la duplication des équipements
- ▶ Prolonger leur durée de vie pour réduire le taux de renouvellement
- ▶ Dimensionner l'équipement à la bonne taille, c'est-à-dire fournir un équipement dont la configuration est adaptée à l'utilisation. Si l'équipement est sous-dimensionné, il devra être remplacé rapidement, tandis que s'il est surdimensionné, il aura un impact intégré plus important et consommera plus d'électricité que nécessaire.

Dans le cas où l'institution offre des équipements aux utilisateurs, les recommandations suivantes peuvent s'appliquer :

- ◆ Étudier les besoins réels avant d'investir dans des équipements afin d'éviter d'avoir des équipements inutilisés.
- ◆ Opter pour des contrats avec de longues garanties
- ◆ Distribuer l'équipement uniquement aux utilisateurs qui ne disposent pas d'un équipement équivalent afin d'éviter les doublons. Cela implique que les institutions devraient permettre l'utilisation d'équipements personnels.
- ◆ Partager l'équipement entre plusieurs classes afin de réduire le nombre d'équipements achetés par l'institution.
- ◆ Acheter des équipements d'occasion ou remis à neuf

- ◆ Fixer des objectifs ambitieux en matière de durée de vie, par exemple trois fois la durée de vie moyenne en Europe.
- ◆ Proposer systématiquement une protection pour les terminaux des utilisateurs
- ◆ Réaffecter les équipements en fonction de l'évolution des besoins. Un équipement qui n'est plus assez performant pour un usage donné peut le rester pour d'autres.

Votre institution est également responsable des équipements appartenant aux apprenants et aux formateurs. Plusieurs recommandations peuvent être appliquées pour réduire ces impacts :

- ◆ Promouvoir la réparation et l'amélioration en proposant des ateliers d'autoréparation ou des services de réparation.
- ◆ Promouvoir l'utilisation et l'achat responsables des équipements (longue durée de vie, dimensionnement correct, remise à neuf, etc.)
- ◆ Créer un marché de l'occasion au sein de votre institution

10.2.2 Contenu et services

- ◆ Éviter la duplication des services.
- ◆ Veiller à ce que les services utilisés par l'institution soient compatibles avec un maximum de terminaux (différentes générations, différents types de terminaux) afin d'éviter de pousser les utilisateurs à renouveler

leur équipement.

- ◆ Mettre en place une politique de gestion des contenus afin de supprimer les contenus qui ne sont plus pertinents (non utilisés, non mis à jour) et d'étudier la nécessité de nouveaux contenus. Encourager la mise à jour des contenus plutôt que l'achat ou la création de nouveaux contenus.

10.2.3 Transport et bâtiment

- ◆ Promouvoir les modes de transport actifs et à faible émission de carbone, tels que les vélos et les transports publics dans la ville.
- ◆ Promouvoir le covoiturage dans les zones à faible densité par la mise en œuvre de politiques incitatives et de plateformes de covoiturage entre usagers.
- ◆ Réduire les émissions des bâtiments grâce à l'isolation thermique et à des mesures d'économie d'énergie (réduire les températures de chauffage, réduire l'utilisation de l'air conditionné).
- ◆ Rendre l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments contrôlable afin d'éviter de consommer de l'énergie dans des salles de classe vides.

10.2.4 Autres

Rationaliser les horaires pour éviter les journées hybrides (une partie à distance et une partie en face-à-face) afin de mutualiser l'impact du transport sur un nombre limité de jours.

10. Recommandations

10.3 Au niveau des plateformes et des fournisseurs de contenu



- ◆ Mettre en place une politique de gestion des contenus afin de supprimer les contenus qui ne sont plus pertinents (non utilisés, non mis à jour) et d'étudier la nécessité de nouveaux contenus. Encourager la mise à jour des contenus plutôt que la création de nouveaux contenus.
- ◆ Mettre en place une politique de gestion des fonctionnalités pour supprimer celles qui ne sont plus pertinentes et étudier si les nouvelles fonctionnalités répondent aux besoins réels des consommateurs.
- ◆ Opter pour une économie de services basée sur une offre de services et non de contenus, afin d'éviter la duplication et la sous-utilisation des contenus au sein des institutions.
- ◆ Éco-conception de votre plateforme.
- ◆ Alléger le contenu :
 - ▶ Réduire la qualité du contenu (vidéo, images, etc.)
 - ▶ Réduire l'utilisation de la vidéo
 - ▶ Favoriser un type de contenu plus léger (d'un podcast à une vidéo, d'un fichier à un contenu web, d'un ppt à un format compressé comme le PDF)
- ◆ Étant donné que les appareils des utilisateurs finaux représentent une part importante de l'impact environnemental de l'apprentissage numérique, il est essentiel que les développeurs de programmes et de contenus optimisent leur compatibilité avec tous les types d'appareils des utilisateurs finaux afin d'éviter un renouvellement prématuré.
 - ▶ Compatible avec les générations maximales
 - ▶ Compatible avec le plus grand nombre d'équipements
 - ▶ Compatible avec les faibles débits
 - ▶ Séparer les mises à jour évolutives et correctives pour permettre aux utilisateurs de conserver les équipements incompatibles avec les dernières versions de votre plateforme tout en bénéficiant des correctifs de sécurité.

10.4 Formateurs



- ◆ Étudiez les besoins en équipement numérique de votre classe.
- ◆ Étudiez les services et le contenu offerts par votre institution afin d'éviter les doublons.
- ◆ Assurez-vous de la compatibilité des services et des contenus utilisés sur tous les terminaux utilisés par les étudiants afin d'éviter de pousser vos apprenants à acheter de nouveaux équipements.
- ◆ Participer aux discussions relatives à l'achat d'équipements, de services et de contenus pour s'assurer qu'ils répondent à vos besoins.

10.5 Apprenants



- ◆ Augmentez la durée de vie de votre équipement.
- ◆ Utiliser des moyens de transport à faible émission de carbone, principalement les transports publics ou la bicyclette.

Conclusion

La numérisation a été intégrée dans la majorité des contextes éducatifs en Europe, qu'il s'agisse d'apprentissage synchrone ou asynchrone, en face à face ou à distance. Malgré les effets sociétaux bénéfiques sur l'accès à l'éducation, la numérisation a également des conséquences environnementales qui doivent être prises en compte par le secteur de l'éducation.

Pour proposer une première vision de ces impacts, nous avons choisi de modéliser l'empreinte carbone de trois scénarios typiques d'éducation numérique en Europe. Des groupes de discussion ont été organisés dans trois pays européens pour définir ces scénarios et identifier les effets environnementaux indirects de l'apprentissage numérique.

Les résultats fournis par le modèle révèlent que les principaux impacts proviennent de la surconsommation d'énergie au domicile des participants et du transport résiduel des apprenants. Les impacts causés par les ressources numériques (terminaux, réseaux et centres de données) viennent en deuxième position. Dans tous les scénarios, les terminaux des utilisateurs représentent l'impact le plus important des ressources numériques en raison du nombre d'appareils impliqués dans le processus

d'apprentissage (au moins un par personne). De manière générale, les impacts intégrés (extraction, fabrication et fin de vie des équipements numériques) représentent la majeure partie des impacts des ressources numériques avant les impacts liés à la phase d'utilisation. Cette répartition (entre impacts d'utilisation et impacts incorporés) dépend du pays où se déroule le processus, le mix énergétique des pays étant plus ou moins intensif en carbone. Nous avons également proposé une classification des effets indirects induits par l'apprentissage numérique. Nous pouvons mentionner les effets de facilitation, en particulier la réduction des déplacements des participants, la réduction de la consommation d'énergie des établissements d'enseignement et les effets de l'éducation. En outre, nous avons également mis en évidence certains effets de rebond, tels que de nouveaux déplacements à courte et longue distance, ainsi que des effets d'obésité des logiciels et du matériel, notamment en raison de l'absence de stratégies d'achat et de déclassement des institutions. Enfin, nous pouvons également mentionner les effets de buzz qui attirent le secteur vers de nouvelles solutions de haute technologie, ce qui pourrait conduire à des impacts d'importation à l'avenir.

Ces résultats suggèrent que l'éducation numérique ne peut être considérée comme la seule solution pour réduire les impacts environnementaux de l'éducation. La transition vers une éducation plus durable dépend principalement de notre capacité à atteindre nos objectifs globaux en matière de développement durable, tels que la décarbonisation des transports et de l'électricité, ainsi que l'isolation des bâtiments. Les institutions et les individus peuvent agir de manière marginale en adoptant des pratiques durables telles que l'allongement de la durée de vie de leurs équipements. En fin de compte, les ressources numériques apparaissent comme une possibilité éducative supplémentaire qui doit faire partie d'une stratégie pédagogique globale tenant compte de l'équilibre entre les avantages éducatifs et les risques environnementaux.

Références

- ARCEP & ADEME. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France 2 ème volet de l'étude. Paris. (2022, 19 janvier). https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-numerique-environnement-ademe-arcep-volet02_janv2022.pdf
- Les Verts EPT, Projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES EN EUROPE : une approche du cycle de vie environnemental <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-LCA-7-DEC-EN.pdf>
- Les Verts EPT, projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). AU-DELÀ DES CHIFFRES : comprendre l'impact des TIC sur l'environnement et agir. https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Final-Behind-the-figures-EN_compressed.pdf
- Les Verts EPT, Projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). ANNEXES DU RAPPORT : Les technologies numériques en Europe : une approche environnementale du cycle de vie. <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf>
- DIMPACT. (2021, juin). Impact carbone du streaming vidéo. https://s22.q4cdn.com/959853165/files/doc_events/2021/Carbon-impact-of-video-streaming.pdf
- Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission européenne, 2018
- VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne. (2020, juillet). Étude d'impact des TIC. Commission européenne.
- Widdicks, K., Hazas, M., Bates, O. et Friday, A. (2019). Streaming, multi-écrans et YouTube. Actes de la conférence CHI 2019 sur les facteurs humains dans les systèmes informatiques. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300696>
- Suski, P., Pohl, J., & Frick, V. (2020). All you can stream. Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401709>
- Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt et Göran Finnveden. "Inclure les effets de second ordre dans les évaluations environnementales des TIC". *Environmental Modelling & Software* 56 (2014) : 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.
- Bieser, J. C. et Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- ADEME. (2020). Caractérisation des effets rebond induits par le télétravail,

- Grimal, L., Loreto, I. di, Burger, N., & Troussier, N. (2021). Conception d'une méthode d'évaluation interdisciplinaire pour la durabilité multi-échelle des projets informatiques. Un travail basé sur le cadre d'évaluation de l'informatique durable (SCEF). LIMITS Workshop on Computing within Limits. <https://doi.org/10.21428/bf6fb269.2ee80cf1>
- Schien, D., Shabajee, P., Chandaria, J., Williams, D. et Preist, C. (2021). Using behavioural data to assess the environmental impact of electricity consumption of alternate television service distribution platforms. Dans *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 91, p. 106661). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106661>
- Schien, D., Shabajee, P., Yearworth, M. et Preist, C. (2013). Modeling and Assessing Variability in Energy Consumption During the Use Stage of Online Multimedia Services (Modélisation et évaluation de la variabilité de la consommation d'énergie pendant l'étape d'utilisation des services multimédias en ligne). In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 17, Issue 6, pp. 800-813). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12065>
- Arushanyan, Y., Moberg, Å., Nors, M., Hohenthal, C. et Pihkola, H. (2014). Environmental Assessment of E-media Solutions.
- Malmodin, Jens, et Vlad Coroama. "Assessing ICT's Enabling Effect through Case Study Extrapolation - the Example of Smart Metering (Évaluer l'effet facilitateur des TIC par l'extrapolation d'études de cas - l'exemple des compteurs intelligents). 2016 *Electronics Goes Green 2016+ (EGG)*, 2016. <https://doi.org/10.1109/egg.2016.7829814>.
- ISO, ISO 14044:2006, Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, 2006
- Arzoumanidis, I., D'Eusano, M., Raggi, A. et Petti, L. (2019). Critères de définition des unités fonctionnelles dans l'analyse du cycle de vie et l'analyse du cycle de vie social : A Discussion. *Perspectives on Social LCA*, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". *Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour la durabilité*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Bieser, J. et Hilty, L. (2018). Évaluer les effets environnementaux indirects des technologies de l'information et de la communication (tic) : A systematic literature review. *Sustainability*, 10(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/su10082662>
- Institut européen des normes de télécommunication - Ingénierie environnementale (ETSI EE). *Analyse du cycle de vie (ACV) des équipements, réseaux et services TIC ; méthodologie générale et exigences communes*. ETSI ES 203 199 (02/2015) : Version 1.3.1, 2015 50
- Secteur de la normalisation de l'Union internationale des télécommunications (UIT-T). *Méthodologie pour l'évaluation du cycle de vie environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication*. ITU-T L.1410., 2015

- Arushanyan, Y., Ekener-Petersen, E. et Finnveden, G. (2014). Lessons learned - Review of LCAs for ICT products and services (Leçons apprises - Examen des ACV pour les produits et services TIC). In *Computers in Industry* (Vol. 65, Issue 2, pp. 211-234). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.10.003>
- Raihanian Mashhadi, A., & Behdad, S. (2017). Évaluation de l'impact environnemental de l'hétérogénéité du comportement d'utilisation des consommateurs : An Agent-Based Modeling Approach. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 22, Issue 4, pp. 706-719). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12622>
- Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer. 2015. Les TIC au service de la durabilité : Un champ de recherche émergent. Dans *ICT Innovations for Sustainability (Advances in Intelligent Systems and Computing)*, Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 3-36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
- Hilty, L. M., Som, C. et Köhler, A. (2004). Assessing the Human, Social, and Environmental Risks of Pervasive Computing (Évaluation des risques humains, sociaux et environnementaux de l'informatique omniprésente). Dans *Human and Ecological Risk Assessment : An International Journal* (Vol. 10, Issue 5, pp. 853-874). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10807030490513874>
- ADEME, Principes généraux de l'étiquetage environnemental des produits de consommation, Référentiel méthodologique pour l'évaluation environnementale des services numériques, juillet 2021
- Nations Unies. (2015). Accord de Paris. Nations unies. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- GIEC, 2022 : Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Sous presse.
- WWF Suède, The potential global CO2 reductions from ICT use Identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tonnes of CO2, 2008.
- #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges (Solutions TIC pour les défis du 21e siècle). (n.d.). https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Pierre-Yves Longaretti et Françoise Berthoud. " Le Numérique, Espoir Pour La Transition Écologique ? " *L'Économie Politique*, n° 90 (mai 2021) : 8-22. <https://doi.org/https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03233585>.
- Christopher L. Weber, Jonathan G. Koomey, H. Scott Matthews, The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. et Friday, A. (2021). Le climat réel et l'impact transformateur des TIC : Une critique des estimations, des tendances et des réglementations. *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

- Roussilhe G. (Mars 2021). Que peut le numérique pour la transition écologique ? (s.d.). <https://gauthierroussilhe.com/pdf/NTE-Mars2021.pdf>
- Valls-Val, K. et Bovea, M. D. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions : a literature review and prospects for future research. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(9), 2523-2542. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2>
- Filimonau, Viachaslau, Dave Archer, Laura Bellamy, Neil Smith et Richard Wintrip. "The Carbon Footprint of a UK University during the COVID-19 Lockdown (L'empreinte carbone d'une université britannique pendant le verrouillage COVID-19). *Science of the Total Environment* 756 (février 2021) : 143964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>.
- Versteijlen, M., Perez Salgado, F., Janssen Groesbeek, M. et Counotte, A. (2017). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux Pays-Bas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.004>
- Marieke Versteijlen, Bert van Wee, Arjen Wals. (2020). Exploring sustainable student travel behaviour in The Netherlands : balancing online and on-campus learning | Emerald Insight. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(8), 146-166. <https://doi.org/10.1108/IJSHE>
- Marieke Versteijlen, & Anda Counotte. (2018, 9 janvier). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux... *ResearchGate ; Elsevier*. https://www.researchgate.net/publication/322336985_Pros_and_cons_of_online_education_as_a_measure_to_reduce_carbon_emissions_in_higher_education_in_the_Netherlands
- Clément Auger, Benoit Hilloulin, Benjamin Boisserie, Maël Thomas, Quentin Guignard, et al. Estimateur de Bilan Carbone OpenSource : Développement et déclinaison universitaire. *Sustainability*, MDPI, 2021, 13 (8), pp.4315. [ff10.3390/su13084315](https://doi.org/10.3390/su13084315) [ff.fhal-03537646f](https://doi.org/10.3390/su13084315)
- Alharthi, A. D., Spichkova, M. et Hamilton, M. (2018). Exigences de durabilité pour les systèmes d'apprentissage en ligne : une analyse et une revue systématique de la littérature. *Requirements Engineering*, 24(4), 523-543. <https://doi.org/10.1007/s00766-018-0299-9>
- E. Allen & J. Seaman, Sizing the Opportunity, The Quality and Extent of Online Education in the United States, 2002 and 2003, The Sloan Consortium a Consortium of Institutions and Organizations Committed to Quality Online Education Sizing the Opportunit, n.d. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED530060.pdf>.
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmödin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Actes de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Horner, Nathaniel C, Arman Shehabi, et Inês L Azevedo. "Known Unknowns : Effets énergétiques indirects des technologies de l'information et de la communication." *Environmental Research Letters* 11, no. 10 (1er octobre 2016) : 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>.

- Santarius, Tilman, Johanna Pohl et Steffen Lange. "La numérisation et le débat sur le découplage : Les TIC peuvent-elles contribuer à réduire les incidences sur l'environnement alors que l'économie continue de croître ?" *Sustainability* 12, no. 18 (11 septembre 2020) : 7496. <https://doi.org/10.3390/su12187496>.
- Kunkel, Stefanie, et David Tyfield. "Digitalisation, industrialisation durable et rebond numérique - Poser les bonnes questions pour un agenda de recherche stratégique." *Energy Research & Social Science* 82 (décembre 2021) : 102295. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102295>.
- Bieser, J. C. T., & Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- Kontio, Jyrki, Johanna Bragge et Laura Lehtola. "The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering". *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*, 2008, 93-116. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_4.
- Plummer, P. (2008, février). Focus group methodology Part 1 : Considerations for design. ResearchGate ; Mark Allen Healthcare. https://www.researchgate.net/publication/224011299_Focus_group_methodology_Part_1_Considerations_for_design
- Anita Gibbs (1997). Focus group. https://openlab.citytech.cuny.edu/her-macdonaldsbs2000fall2015b/files/2011/06/Focus-Groups_Anita-Gibbs.pdf
- Eva Ericsson, Hanna Larsson, Karin Brundell-Freij, Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potential effects of a new driver support tool, 10.1016/j.trc.2006.10.001, *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 2006.
- Eurostat, (2022). Taille moyenne des ménages. Europa.eu. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LVPH01__custom_1513607/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=b2cf2ee6-5c29-4f67-bda9-a6137bee6222
- Globalwebindex.com. 2020. Tendances des consommateurs en matière d'utilisation des appareils numériques - GlobalWebIndex. <https://www.globalwebindex.com/reports/device>
- Scarlat, Nicolae, Matteo Prussi et Monica Padella. "Quantification de l'intensité en carbone de l'électricité produite et utilisée en Europe". *Applied Energy* 305 (janvier 2022) : 117901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117901>.
- Eurostat. (2020). Europa.eu. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- Aslan, Joshua, Kieren Mayers, Jonathan G Koomey, et Chris France. "Intensité électrique de la transmission de données sur Internet : Untangling the Estimates : Electricity Intensity Of..." ResearchGate. Wiley, août 2017. https://www.researchgate.net/publication/318845230_Electricity_Intensity_of_Internet_Data_Transmission_Untangling_the_Estimates_Electricity_Intensity_of_Data_Transmission.

- Malmodin, J. et Lunden, D. (2016). The energy and carbon footprint of the ICT and EaM sector in Sweden 1990-2015 and beyond. Actes de ICT for Sustainability 2016. <https://doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.25>
- The shift project dirigé par Hugues ferreboeuf.(mars 2019).Lean ict vers la sobriété numérique rapport du groupe de travail dirigé par pour le think tank the shift project -mars. (s.d.).https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/lean-ict-report_the-shift-project_2019.pdf
- Vlad Constantin Coroama, & Hilty, L. M. (2014, février). Évaluation de l'intensité énergétique d'Internet : Un examen des méthodes et des résultats. ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/259570379_Assessing_Internet_energy_intensity_A_review_of_methods_and_results
- Matheys, J., Van Autenboer, W., Timmermans, J.-M., Van Mierlo, J., Van den Bossche, P. et Maggetto, G. (2007). Influence de l'unité fonctionnelle sur l'évaluation du cycle de vie des batteries de traction. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(3), 191-196. <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.322>
- Jens Malmodin (septembre 2020). The power consumption of mobile and fixed network data services - The case of streaming video and downloading large files (La consommation d'énergie des services de données des réseaux mobiles et fixes - Le cas du streaming vidéo et du téléchargement de fichiers volumineux). https://online.electronicsgoesgreen.org/wp-content/uploads/2020/10/Proceedings_EGG2020_v2.pdf#page=87
- Umweltbundesamt dirigé par Jens Gröge, Ran Liu, Dr. Lutz Stobbe, Jan Druschke, Nikolai Richter.(2021). Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf
- Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Françoise Berthoud, Bruno Azeznik, Anthony Defize, et al. Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données. [Rapport de recherche] CNRS - GRICAD. 2020. hal-03573790
- Eurostat. (2022). Émissions moyennes de CO2 par km des voitures particulières neuves (source : AEE, DG CLIMA). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_30/default/table?lang=en
- Reitan, F. A. (2014). L'effet de rebond : Un modèle de simulation du télétravail. Ntnu.no. <https://doi.org/742058>
- Röder, D. et Nagel, K. (2014). Analyse intégrée de la consommation d'énergie des navetteurs. Procedia Computer Science, 32, 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.479>
- Van Lier, T., De Witte, A., & Macharis, C. (2012). L'impact du télétravail sur les externalités du transport : The Case of Brussels Capital Region. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 54, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.743>
- Caird, Sally ; Lane, Andrew ; Swithenby, Edward ; Roy, Robin et Potter, Stephen (2015). Design of higher education teaching models and carbon impacts. International Journal of Sustainability in Higher Education, 16(1) pp. 96-111.

- Perez Salgado F, de Kraker J, Boon J, Van der Klink M : Compétences pour l'éducation au changement climatique dans un contexte de mobilité virtuelle. *Int J Innov Sustain Dev* 2012, 1:53-65.
- Jevon, William Stanley. *The Coal Question ; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines (La question du charbon ; enquête sur les progrès de la nation et l'épuisement probable de nos mines de charbon)*. Londres, Royaume-Uni : Macmillan & Co, 1865.
- Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission européenne, 2018
- VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne. (2020, juillet). Étude d'impact des TIC. Commission européenne.
- Widdicks, K., Hazas, M., Bates, O. et Friday, A. (2019). Streaming, multi-écrans et YouTube. Actes de la conférence CHI 2019 sur les facteurs humains dans les systèmes informatiques. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300696>
- Suski, P., Pohl, J., & Frick, V. (2020). All you can stream. Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401709>
- Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt et Göran Finnveden. "Inclure les effets de second ordre dans les évaluations environnementales des TIC". *Environmental Modelling & Software* 56 (2014) : 105–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.
- Bieser, J. C. et Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- ADEME. (2020). Caractérisation des effets rebond induits par le télétravail,
- Grimal, L., Loreto, I. di, Burger, N., & Troussier, N. (2021). Conception d'une méthode d'évaluation interdisciplinaire pour la durabilité multi-échelle des projets informatiques. Un travail basé sur le cadre d'évaluation de l'informatique durable (SCEF). *LIMITS Workshop on Computing within Limits*. <https://doi.org/10.21428/bf6fb269.2ee80cfl>
- Schien, D., Shabajee, P., Chandaria, J., Williams, D. et Preist, C. (2021). Using behavioural data to assess the environmental impact of electricity consumption of alternate television service distribution platforms. Dans *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 91, p. 106661). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106661>
- Schien, D., Shabajee, P., Yearworth, M. et Preist, C. (2013). Modeling and Assessing Variability in Energy Consumption During the Use Stage of Online Multimedia Services (Modélisation et évaluation de la variabilité de la consommation d'énergie pendant l'étape d'utilisation des services multimédias en ligne). In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 17, Issue 6, pp. 800-813). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12065>
- Arushanyan, Y., Moberg, Å., Nors, M., Hohenthal, C. et Pihkola, H. (2014). *Environmental Assessment of E-media Solutions*.

- Malmodin, Jens, et Vlad Coroama. "Assessing ICT's Enabling Effect through Case Study Extrapolation - the Example of Smart Metering (Évaluer l'effet facilitateur des TIC par l'extrapolation d'études de cas - l'exemple des compteurs intelligents). 2016 Electronics Goes Green 2016+ (EGG), 2016. <https://doi.org/10.1109/egg.2016.7829814>.
- ISO, ISO 14044:2006, Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, 2006
- Arzoumanidis, I., D'Eusanio, M., Raggi, A. et Petti, L. (2019). Critères de définition des unités fonctionnelles dans l'analyse du cycle de vie et l'analyse du cycle de vie social : A Discussion. Perspectives on Social LCA, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour la durabilité, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Bieser, J. et Hilty, L. (2018). Évaluer les effets environnementaux indirects des technologies de l'information et de la communication (tic) : A systematic literature review. Sustainability, 10(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/su10082662>
- Institut européen des normes de télécommunication - Ingénierie environnementale (ETSI EE). Analyse du cycle de vie (ACV) des équipements, réseaux et services TIC ; méthodologie générale et exigences communes. ETSI ES 203 199 (02/2015) : Version 1.3.1, 2015 50
- Secteur de la normalisation de l'Union internationale des télécommunications (UIT-T). Méthodologie pour l'évaluation du cycle de vie environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication. ITU-T L.1410., 2015
- Arushanyan, Y., Ekener-Petersen, E. et Finnveden, G. (2014). Lessons learned - Review of LCAs for ICT products and services (Leçons apprises - Examen des ACV pour les produits et services TIC). In Computers in Industry (Vol. 65, Issue 2, pp. 211-234). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.10.003>
- Raihanian Mashhadi, A., & Behdad, S. (2017). Évaluation de l'impact environnemental de l'hétérogénéité du comportement d'utilisation des consommateurs : An Agent-Based Modeling Approach. In Journal of Industrial Ecology (Vol. 22, Issue 4, pp. 706-719). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12622>
- Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer. 2015. Les TIC au service de la durabilité : Un champ de recherche émergent. Dans ICT Innovations for Sustainability (Advances in Intelligent Systems and Computing), Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 3-36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
- Hilty, L. M., Som, C. et Köhler, A. (2004). Assessing the Human, Social, and Environmental Risks of Pervasive Computing (Évaluation des risques humains, sociaux et environnementaux de l'informatique omniprésente). Dans Human and Ecological Risk Assessment : An International Journal (Vol. 10, Issue 5, pp. 853-874). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10807030490513874>
- ADEME, Principes généraux de l'étiquetage environnemental des produits de consommation, Référentiel méthodologique pour l'évaluation environnementale des services numériques, juillet 2021

- Nations Unies. (2015). Accord de Paris. Nations unies. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- GIEC, 2022 : Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Sous presse.
- WWF Suède, The potential global CO2 reductions from ICT use Identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tonnes of CO2, 2008.
- #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges (Solutions TIC pour les défis du 21e siècle). (n.d.). https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Pierre-Yves Longaretti et Françoise Berthoud. " Le Numérique, Espoir Pour La Transition Écologique ? " L'Économie Politique, n° 90 (mai 2021) : 8-22. <https://doi.org/https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03233585>.
- Christopher L. Weber, Jonathan G. Koomey, H. Scott Matthews, The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods Journal of Industrial Ecology, 2010, 10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. et Friday, A. (2021). Le climat réel et l'impact transformateur des TIC : Une critique des estimations, des tendances et des réglementations. Patterns, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- Roussilhe G. (Mars 2021). Que peut le numérique pour la transition écologique ? (s.d.). <https://gauthierroussilhe.com/pdf/NTE-Mars2021.pdf>
- Valls-Val, K. et Bovea, M. D. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions : a literature review and prospects for future research. Clean Technologies and Environmental Policy, 23(9), 2523-2542. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2>
- Filimonau, Viachaslau, Dave Archer, Laura Bellamy, Neil Smith et Richard Wintrip. "The Carbon Footprint of a UK University during the COVID-19 Lockdown (L'empreinte carbone d'une université britannique pendant le verrouillage COVID-19). Science of the Total Environment 756 (février 2021) : 143964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>.
- Versteijlen, M., Perez Salgado, F., Janssen Groesbeek, M. et Counotte, A. (2017). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux Pays-Bas. Current Opinion in Environmental Sustainability, 28, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.004>
- Marieke Versteijlen, Bert van Wee, Arjen Wals. (2020). Exploring sustainable student travel behaviour in The Netherlands : balancing online and on-campus learning | Emerald Insight. International Journal of Sustainability in Higher Education, 22(8), 146-166. <https://doi.org/10.1108/IJSHE>

- Marieke Versteijlen, & Anda Counotte. (2018, 9 janvier). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux... ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/322336985_Pro Pros_and_cons_of_online_education_as_a_measure_to_reduce_carbon_emissions_in_higher_education_in_the_Netherlands
- Clément Auger, Benoit Hilloulin, Benjamin Boisserie, Maël Thomas, Quentin Guignard, et al. Estimateur de Bilan Carbone OpenSource : Développement et déclinaison universitaire. Sustainability, MDPI, 2021, 13 (8), pp.4315. [ff10.3390/su13084315](https://doi.org/10.3390/su13084315)[ff. fhal-03537646f](https://doi.org/10.3390/su13084315)
- Alharthi, A. D., Spichkova, M. et Hamilton, M. (2018). Exigences de durabilité pour les systèmes d'apprentissage en ligne : une analyse et une revue systématique de la littérature. Requirements Engineering, 24(4), 523-543. <https://doi.org/10.1007/s00766-018-0299-9>
- E. Allen & J. Seaman, Sizing the Opportunity, The Quality and Extent of Online Education in the United States, 2002 and 2003, The Sloan Consortium a Consortium of Institutions and Organizations Committed to Quality Online Education Sizing the Opportunit, n.d. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED530060.pdf>.
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Actes de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Horner, Nathaniel C, Arman Shehabi, et Inês L Azevedo. "Known Unknowns : Effets énergétiques indirects des technologies de l'information et de la communication." Environmental Research Letters 11, no. 10 (1er octobre 2016) : 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>.
- Santarius, Tilman, Johanna Pohl et Steffen Lange. "La numérisation et le débat sur le découplage : Les TIC peuvent-elles contribuer à réduire les incidences sur l'environnement alors que l'économie continue de croître ?" Sustainability 12, no. 18 (11 septembre 2020) : 7496. <https://doi.org/10.3390/su12187496>.
- Kunkel, Stefanie, et David Tyfield. "Digitalisation, industrialisation durable et rebond numérique - Poser les bonnes questions pour un agenda de recherche stratégique." Energy Research & Social Science 82 (décembre 2021) : 102295. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102295>.
- Bieser, J. C. T., & Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. Progress in IS, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- Kontio, Jyrki, Johanna Bragge et Laura Lehtola. "The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering". Guide to Advanced Empirical Software Engineering, 2008, 93-116. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_4.
- Plummer, P. (2008, février). Focus group methodology Part 1 : Considerations for design. ResearchGate ; Mark Allen Healthcare. https://www.researchgate.net/publication/224011299_Focus_group_methodology_Part_1_Considerations_for_design
- Anita Gibbs (1997). Focus group. https://openlab.citytech.cuny.edu/her-macdonaldsbs2000fall2015b/files/2011/06/Focus-Groups_Anita-Gibbs.pdf

- Eva Ericsson, Hanna Larsson, Karin Brundell-Freij, Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potential effects of a new driver support tool, 10.1016/j.trc.2006.10.001, Transportation Research Part C : Emerging Technologies, 2006.
- Eurostat, (2022). Taille moyenne des ménages. Europa.eu. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LVPH01__custom_1513607/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=b2cf2ee6-5c29-4f67-bda9-a6137bee6222
- Globalwebindex.com. 2020. Tendances des consommateurs en matière d'utilisation des appareils numériques - GlobalWebIndex. <https://www.globalwebindex.com/reports/device>
- Scarlat, Nicolae, Matteo Prussi et Monica Padella. "Quantification de l'intensité en carbone de l'électricité produite et utilisée en Europe". Applied Energy 305 (janvier 2022) : 117901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117901>.
- Eurostat. (2020). Europa.eu. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- Aslan, Joshua, Kieren Mayers, Jonathan G Koomey, et Chris France. "Intensité électrique de la transmission de données sur Internet : Untangling the Estimates : Electricity Intensity Of..." ResearchGate. Wiley, août 2017. https://www.researchgate.net/publication/318845230_Electricity_Intensity_of_Internet_Data_Transmission_Untangling_the_Estimates_Electricity_Intensity_of_Data_Transmission.
- Malmodin, J. et Lunden, D. (2016). The energy and carbon footprint of the ICT and EaM sector in Sweden 1990-2015 and beyond. Actes de ICT for Sustainability 2016. <https://doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.25>
- The shift project dirigé par Hugues ferreboeuf.(mars 2019).Lean ict vers la sobriété numérique rapport du groupe de travail dirigé par pour le think tank the shift project -mars. (s.d.).https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/lean-ict-report_the-shift-project_2019.pdf
- Vlad Constantin Coroama, & Hilty, L. M. (2014, février). Évaluation de l'intensité énergétique d'Internet : Un examen des méthodes et des résultats. ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/259570379_Assessing_Internet_energy_intensity_A_review_of_methods_and_results
- Matheys, J., Van Autenboer, W., Timmermans, J.-M., Van Mierlo, J., Van den Bossche, P. et Maggetto, G. (2007). Influence de l'unité fonctionnelle sur l'évaluation du cycle de vie des batteries de traction. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(3), 191-196. <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.322>
- Jens Malmodin (septembre 2020). The power consumption of mobile and fixed network data services - The case of streaming video and downloading large files (La consommation d'énergie des services de données des réseaux mobiles et fixes - Le cas du streaming vidéo et du téléchargement de fichiers volumineux). https://online.electronicsgoesgreen.org/wp-content/uploads/2020/10/Proceedings_EGG2020_v2.pdf#page=87
- Umweltbundesamt dirigé par Jens Gröge, Ran Liu, Dr. Lutz Stobbe, Jan Druschke, Nikolai Richter.(2021). Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu

- Umweltwirkungen des Cloud Computing. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf
- Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Françoise Berthoud, Bruno Azeznik, Anthony Defize, et al. Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données. [Rapport de recherche] CNRS - GRICAD. 2020. hal-03573790
- Eurostat. (2022). Émissions moyennes de CO2 par km des voitures particulières neuves (source : AEE, DG CLIMA). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_30/default/table?lang=en
- Reitan, F. A. (2014). L'effet de rebond : Un modèle de simulation du télétravail. Ntnu.no. <https://doi.org/742058>
- Röder, D. et Nagel, K. (2014). Analyse intégrée de la consommation d'énergie des navetteurs. *Procedia Computer Science*, 32, 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.479>
- Van Lier, T., De Witte, A., & Macharis, C. (2012). L'impact du télétravail sur les externalités du transport : The Case of Brussels Capital Region. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.743>
- Caird, Sally ; Lane, Andrew ; Swithenby, Edward ; Roy, Robin et Potter, Stephen (2015). Design of higher education teaching models and carbon impacts. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1) pp. 96-111.
- Perez Salgado F, de Kraker J, Boon J, Van der Klink M : Compétences pour l'éducation au changement climatique dans un contexte de mobilité virtuelle. *Int J Innov Sustain Dev* 2012, 1:53-65.
- Jevon, William Stanley. *The Coal Question ; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines (La question du charbon ; enquête sur les progrès de la nation et l'épuisement probable de nos mines de charbon)*. Londres, Royaume-Uni : Macmillan & Co, 1865.

Annexes

Tableau A1. Caractéristiques d'utilisation des appareils des utilisateurs finaux

Dispositif	Consommation électrique annuelle (kWh/an)	Durée d'utilisation moyenne par an (heure/an)	Consommation électrique moyenne (Wh)
Ordinateurs portables	30,96	1299	24
Tablettes	18,6	1095	17
Téléphones intelligents	3,9	880	4,4
Ordinateurs de bureau	104,39	1292	81
Second moniteur	70	1387	50
Ordinateurs de bureau + moniteur	-	-	81+50=131

Tableau A2. Facteur d'impact européen de l'électricité basse tension consommée (Scarlat & al. 2022)

Pays	Code	Facteur d'impact (kgCo2eq./kWh)
L'Europe	EEE	0,334
Autriche	AUT	0,264
Belgique	BEL	0,23
Bulgarie	BGR	0,544
Croatie	VRC	0,372
Chypre	CYP	0,791
Danemark	DNK	0,158
Estonie	EST	0,472
Finlande	FIN	0,141
France	FRA	0,098
Allemagne	DEU	0,422
Grèce	GRC	0,78
Hongrie	HUN	0,338
Islande	ISL	0,026
Irlande	IRL	0,384
Italie	ITA	0,356
Lettonie	LVA	0,325
Lituanie	LTU	0,321
Luxembourg	LUX	0,338
Malte	MLT	0,463
Pays-Bas	NLD	0,45
Pologne	POL	0,805
Portugal	EPR	0,324
Roumanie	ROU	0,464
Slovaquie	SVK	0,346
Slovénie	SVN	0,307
Espagne	ESP	0,279
Suède	SWE	0,04

Tableau A3, modèle Roder (2014) appliqué aux pays européens

Pays	Consommation variable par heure adaptée de Roder (2014)	50 %	-50 %
Union européenne - 27 pays	0,90	1,36	0,45
Belgique	1,17	1,76	0,59
Bulgarie	0,57	0,86	0,29
Tchécoslovaquie	1,09	1,64	0,55
Danemark	1,38	2,08	0,69
Allemagne	1,19	1,79	0,60
Estonie	1,17	1,76	0,59
Irlande	1,05	1,58	0,53
Grèce	0,59	0,89	0,30
Espagne	0,51	0,76	0,25
France	0,97	1,45	0,48
Croatie	0,96	1,44	0,48
Italie	0,85	1,28	0,43
Chypre	0,70	1,05	0,35
Lettonie	0,94	1,40	0,47
Lituanie	0,81	1,21	0,40
Luxembourg	1,43	2,15	0,72
Hongrie	0,83	1,24	0,41
Malte	0,37	0,55	0,18
Pays-Bas	0,93	1,40	0,47
Autriche	1,27	1,91	0,64
Pologne	0,75	1,13	0,38
Portugal	0,49	0,74	0,25
Roumanie	0,68	1,02	0,34
Slovénie	0,08	0,12	0,04
Slovaquie	0,77	1,16	0,39
Finlande	1,61	2,41	0,80
Suède	1,08	1,62	0,54

Tableau A4. Intensité carbone de chaque source d'énergie utilisée dans le secteur du bâtiment en Europe

SIEC (Étiquettes)	Min (kgCO ₂ eq / kWh PCI)	Source	Max (kgCO ₂ eq / kWh PCI)	Source	Commentaire
Combustibles fossiles solides tourbe produits de la tourbe schiste bitumineux et sables bitumineux	0,374	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,421	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Moyenne de Charbon à coke, Charbon à vapeur, Charbon sous-bitumineux, Houille arrondis au 10ème
Gaz naturel	0,239	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,244	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Eur. Gaz naturel
Gaz naturel liquéfié	0,238	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,238	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Gaz naturel liquéfié (GNL)
Pétrole et produits pétroliers	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Fioul domestique (FOD)
Gaz de pétrole liquéfiés	0,27	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,27	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Propane / Butane
Autres kérosènes	0,312	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,312	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Kérosène (jet A ou A1)
Gazole et huile diesel	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Fioul domestique (FOD)
Énergies renouvelables et biocarburants	0,0302	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/37	0,816	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/37	Biodiesel - changement d'affectation des sols scénario maximum
Solaire thermique	0	Hypothèse	0,045	GIEC	
Chaleur ambiante (pompes à chaleur)	Facteur élec/ 1	multiples sources spécialisées	Facteur élec/6	Multiples sources spécialisées	Rendement de 3 kWh PCI par kWh d'électricité
Biocarburants solides primaires	0,0109	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/36	0,0174	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/36	Déchets bois - ""Adjuvantés"" (Broyat criblé sans Sortie du Statut Déchet classés non dangereux)" - Valeur maximale
Biogaz	0,014	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/462	0,142	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/462	Biopropane - à base d'huile de colza 0,142 kgCO ₂ eq/kWh PCI
L'électricité	Facteur élec	Voir tableau 10	Facteur élec	Voir tableau 10	
Chaleur	0,004	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Reseau_de_chaleur	0,455	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Reseau_de_chaleur	

Tableau A5. Proportion de la consommation d'énergie finale des ménages en 2020 par pays européen - d'après [NRG_D_HHQ_custom_4463338].

SIEC (Étiquettes)	Combustibles fossiles solides tourbe produits de la tourbe schiste bitumineux et sables bitumineux	Gaz naturel	Gaz naturel liquéfié	Pétrole et produits pétroliers	Gaz de pétrole liquéfiés	Autres kérosènes	Gazole et huile diesel	Énergies renouvelables et biocarburants	Solaire thermique	Chaleur ambiante (pompes à chaleur)	Biocarburants solides primaires	Biogaz	L'électricité	Chaleur
1-Europe	2,88 %	32,02 %	0,00 %	12,53 %	0,00 %	0,49 %	9,65 %	19,17 %	0,86 %	2,48 %	16,08 %	0,13 %	25,08 %	8,33 %
Belgique	0,41 %	38,63 %	0,00 %	32,32 %	0,00 %	0,35 %	29,61 %	8,28 %	0,32 %	1,32 %	6,39 %	0,00 %	20,18 %	0,18 %
Bulgarie	4,17 %	4,03 %	0,00 %	0,89 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	36,07 %	0,48 %	0,00 %	35,59 %	0,00 %	40,99 %	13,85 %
République tchèque	9,99 %	25,65 %	0,00 %	0,66 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	31,23 %	0,20 %	2,58 %	28,45 %	0,00 %	18,98 %	13,49 %
Danemark	0,00 %	13,69 %	0,00 %	4,05 %	0,00 %	0,02 %	3,24 %	23,90 %	0,29 %	5,26 %	18,36 %	0,00 %	21,77 %	36,58 %
Allemagne	0,55 %	37,52 %	0,00 %	22,45 %	0,00 %	0,01 %	20,76 %	14,03 %	1,24 %	2,17 %	9,86 %	0,51 %	18,85 %	6,62 %
Estonie	0,11 %	5,96 %	0,00 %	0,73 %	0,00 %	0,00 %	0,20 %	41,81 %	0,00 %	0,00 %	41,81 %	0,00 %	18,21 %	33,17 %
Irlande	11,56 %	18,83 %	0,00 %	42,98 %	0,00 %	31,44 %	8,86 %	2,58 %	0,45 %	1,31 %	0,83 %	0,00 %	24,04 %	0,00 %
Grèce	0,07 %	10,36 %	0,00 %	29,55 %	0,00 %	0,06 %	28,15 %	23,53 %	6,58 %	1,96 %	14,04 %	0,00 %	35,25 %	1,23 %
Espagne	0,32 %	24,08 %	0,00 %	17,13 %	0,00 %	0,00 %	11,17 %	15,84 %	1,85 %	1,24 %	12,68 %	0,00 %	42,62 %	0,00 %
France	0,05 %	27,78 %	0,00 %	11,13 %	0,00 %	0,41 %	8,77 %	21,97 %	0,46 %	6,09 %	15,42 %	0,00 %	35,87 %	3,20 %
Croatie	0,08 %	21,34 %	0,00 %	4,57 %	0,00 %	0,00 %	2,61 %	46,03 %	0,50 %	0,64 %	44,58 %	0,00 %	22,96 %	5,01 %
Italie	0,00 %	51,97 %	0,00 %	6,10 %	0,00 %	0,01 %	2,51 %	20,52 %	0,59 %	0,31 %	19,43 %	0,00 %	18,57 %	2,84 %
Chypre	0,00 %	0,00 %	0,00 %	30,20 %	0,00 %	3,67 %	16,81 %	27,22 %	17,24 %	3,80 %	4,22 %	0,00 %	42,58 %	0,00 %
Lettonie	0,12 %	9,85 %	0,00 %	4,69 %	0,00 %	0,00 %	2,92 %	40,61 %	0,00 %	0,00 %	40,60 %	0,00 %	13,54 %	31,19 %
Lituanie	2,43 %	12,16 %	0,00 %	3,81 %	0,00 %	0,00 %	1,54 %	34,03 %	0,00 %	1,94 %	32,10 %	0,00 %	18,25 %	29,31 %
Luxembourg	0,05 %	52,10 %	0,00 %	27,35 %	0,00 %	0,11 %	27,15 %	4,20 %	0,52 %	0,47 %	3,21 %	0,00 %	16,30 %	0,00 %
Hongrie	1,20 %	64,36 %	0,00 %	1,69 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,58 %	0,31 %	0,22 %	26,92 %	0,00 %	22,18 %	10,00 %
Malte	0,00 %	0,00 %	0,00 %	14,67 %	0,00 %	0,00 %	0,15 %	13,33 %	4,88 %	7,12 %	1,34 %	0,00 %	72,00 %	0,00 %
Pays-Bas	0,00 %	67,90 %	0,00 %	0,39 %	0,00 %	0,06 %	0,08 %	5,95 %	0,24 %	1,56 %	4,08 %	0,00 %	22,76 %	3,00 %
Autriche	0,30 %	21,26 %	0,00 %	14,04 %	0,00 %	0,00 %	13,61 %	29,53 %	1,68 %	2,58 %	25,09 %	0,00 %	23,12 %	11,75 %
Pologne	28,40 %	18,81 %	0,00 %	3,35 %	0,00 %	0,00 %	0,37 %	15,60 %	0,41 %	1,62 %	13,58 %	0,00 %	14,05 %	19,79 %
Portugal	0,00 %	9,74 %	0,00 %	14,92 %	0,00 %	0,00 %	1,76 %	36,33 %	2,01 %	8,47 %	25,41 %	0,00 %	38,98 %	0,03 %
Roumanie	0,56 %	34,03 %	0,00 %	3,53 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	38,31 %	0,00 %	0,00 %	38,31 %	0,00 %	14,66 %	8,91 %
Slovénie	0,00 %	9,84 %	0,00 %	12,38 %	0,00 %	0,00 %	9,95 %	41,64 %	0,96 %	4,41 %	36,27 %	0,00 %	29,14 %	6,99 %
Slovaquie	1,96 %	41,66 %	0,00 %	0,24 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	22,81 %	0,26 %	1,35 %	21,17 %	0,00 %	18,40 %	14,92 %
Finlande	0,07 %	0,45 %	0,00 %	5,18 %	0,00 %	0,00 %	4,17 %	30,87 %	0,05 %	9,44 %	21,38 %	0,00 %	35,83 %	27,60 %
Suède	0,00 %	0,26 %	0,00 %	3,07 %	0,00 %	0,00 %	1,47 %	12,35 %	0,14 %	0,00 %	11,96 %	0,25 %	50,88 %	33,43 %

Tableau A6. Intensité carbone de la consommation finale d'énergie des ménages en 2020 (kgCO2eq./kWh)

Pays	MOYEN (kgCO2eq./kWh)	MIN (kgCO2eq./kWh)	MAX (kgCO2eq./kWh)
1-Europe	0,37	0,27	0,47
Belgique	0,38	0,35	0,42
Bulgarie	0,44	0,27	0,62
République tchèque	0,35	0,19	0,51
Danemark	0,28	0,10	0,46
Allemagne	0,40	0,32	0,47
Estonie	0,36	0,12	0,60
Irlande	0,47	0,45	0,48
Grèce	0,61	0,50	0,71
Espagne	0,34	0,28	0,41
France	0,28	0,18	0,37
Croatie	0,37	0,18	0,57
Italie	0,32	0,23	0,41
Chypre	0,64	0,52	0,76
Lettonie	0,34	0,11	0,57
Lituanie	0,33	0,13	0,54
Luxembourg	0,38	0,36	0,40
Hongrie	0,27	0,24	0,30
Malte	0,46	0,39	0,53
Pays-Bas	0,30	0,27	0,34
Autriche	0,36	0,22	0,51
Pologne	0,40	0,29	0,52
Portugal	0,38	0,22	0,53
Roumanie	0,35	0,18	0,52
Slovénie	0,39	0,21	0,58
Slovaquie	0,31	0,18	0,44
Finlande	0,29	0,10	0,48
Suède	0,17	0,04	0,29

Tableau A7. Valeurs pour l'apprentissage numérique synchrone pour le scénario européen moyen

Nom	Valeur	Source
Général		
Les participants	21,6 (moyenne)	Enquête - 263 participants valides
La durée	1 heure	Unité fonctionnelle
TIER 1		
Localisation	L'Europe	Scénario européen
Smartphone / Unités	10,1	Enquête - 123 (46,8%)
Smartphone / Temps d'utilisation par processus	3,63 heures	Enquête
Smartphone / Temps d'utilisation par jour	2,41 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Smartphone / durée de vie	2,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Puissance moyenne	4,43 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Ordinateur portable / Unités	20,5	Enquête - 249 (94,7%)
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par processus	4,58 heures	Enquête
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par jour	3,56 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Ordinateur portable / durée de vie	4 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur portable / Puissance moyenne	23,83 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Bureau / Unités	5	Enquête - 62 (23,6%)
Bureau / Temps d'utilisation par processus	4,96 heures	Enquête
Ordinateur de bureau / Temps d'utilisation par jour	3,54 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Bureau / durée de vie	5,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur de bureau / Puissance moyenne	80,79 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Deuxième écran / Unités	10,7	Enquête - 130 (49,4%)
Deuxième écran / Temps d'utilisation par processus	4,37 heures	Enquête
Deuxième écran / Temps d'utilisation par jour	3,8 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)

Deuxième écran / durée de vie	6 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Deuxième écran / Puissance moyenne	50,47 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Tablette / Unités	3,7	Enquête - 45 (17,1%)
Tablette / Temps d'utilisation par processus	2,89 heures	Enquête
Comprimé / Temps d'utilisation par jour	2 heures	hypothèse
Tablette / durée de vie	3 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Tablette / Puissance moyenne	16,99 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)

TIER 2

Proxy de réseau	par ligne	
Temps de connexion par processus	1 heure	
Utilisation de l'internet par jour et par personne	3,3 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Nombre d'utilisateurs de l'internet par ligne	2,3	Taille moyenne des ménages en Europe (27) d'après Eurostat (2020)
Réseau mobile	30 %	Hypothèse
Fixer le réseau	70 %	Hypothèse

TIER 3

Localisation	L'Europe	
Vidéoconférence / Heures	1 heure	Par définition du scénario
Vidéoconférence / NbParticipants	21.6	Enquête

Transport

Localisation	L'Europe	
Méthode	Moyenne	
Voitures / Unités	0,6	Enquête - 5,7 % ont besoin de voyager, 47 % d'entre eux utilisent leur véhicule personnel.
Distance moyenne (km)	40 km	Enquête

Consommation d'énergie domestique

Localisation	L'Europe	
Nombre de participants à distance	20,37	Enquête - 94,3% ne voyagent pas

Tableau A8. Répartition par source de l'apprentissage numérique synchrone pour le scénario européen moyen

Tier 1	2,74E+00 kgCO2eq.
Tier 2	4,66E-01 kgCO2eq.
Tier 3	1,61E-02 kgCO2eq.
Transport	3,11E+00 kgCO2eq.
Logement	6,75E+00 kgCO2eq.
Logement (min)	2,45E+00 kgCO2eq.
Logement (max)	1,29E+01 kgCO2eq.

Tableau A9. Valeurs pour le scénario de l'enseignement universitaire en ligne au Portugal

Nom	Valeur	Source
Général		
Les participants	60	60 participants
Durée de l'accord	1 heure	Unité fonctionnelle
TIER 1		
Localisation	Portugal	Scénario européen
Smartphone / Unités	20	Cas d'utilisation
Smartphone / Temps d'utilisation par processus	1	Cas d'utilisation
Smartphone / Temps d'utilisation par jour	2,41 heures	Cas d'utilisation
Smartphone / durée de vie	2,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Puissance moyenne	4,43 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Ordinateur portable / Unités	20	Cas d'utilisation
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par processus	1	Cas d'utilisation
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par jour	3,56 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Ordinateur portable / durée de vie	4 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur portable / Puissance moyenne	23,83 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Bureau / Unités	20	Cas d'utilisation
Bureau / Temps d'utilisation par processus	1	Cas d'utilisation
Ordinateur de bureau / Temps d'utilisation par jour	3,54 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Bureau / durée de vie	5,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur de bureau / Puissance moyenne	80,79 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)

TIER 2		
Temps de connexion par processus	1 heure	
Utilisation de l'internet par jour et par personne	3,3 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Nombre d'utilisateurs de l'internet par ligne	2,3	Taille moyenne des ménages en Europe (27) d'après Eurostat (2020)
Réseau mobile	30 %	Hypothèse
Fixer le réseau	70 %	Hypothèse
TIER 3		
Localisation	ÉTATS-UNIS	
Stockage / Go/an	1 Go/an	Cas d'utilisation
Vidéoconférence / Heures	1 heure	Cas d'utilisation
Vidéoconférence / NbParticipants	60	60 participants
Consommation d'énergie domestique		
Localisation	Portugal	Hypothèse
Nombre de participants à distance	60	60 participants

Tableau A10. Distribution par source pour le cas d'utilisation 1

Tier 1	2,73E+00 kgCO2eq.
Tier 2	1,30E+00 kgCO2eq.
Tier 3	1,95E-01 kgCO2eq.
Transport	0,00E+00 kgCO2eq.
Logement	1,12E+01 kgCO2eq.
Logement (min)	3,30E+00 kgCO2eq.
Logement (max)	2,38E+01 kgCO2eq.

095

Tableau A11. Valeurs pour l'apprentissage numérique asynchrone pour le scénario européen moyen

Nom	Valeur	Source
Général		
Durée de l'accord	1 heure	Unité fonctionnelle

TIER 1		
Localisation	L'Europe	Scénario européen
Smartphone / Unités	0,38	Enquête - 73 (38%)
Smartphone / Temps d'utilisation par processus	3,86 heures	Enquête
Smartphone / Temps d'utilisation par jour	2,41 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Smartphone / durée de vie	2,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Puissance moyenne	4,43 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Ordinateur portable / Unités	0,95	Enquête - 179 (94,7%)
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par processus	5,01 heures	Enquête
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par jour	3,56 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Ordinateur portable / durée de vie	4 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur portable / Puissance moyenne	23,83 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Bureau / Unités	0,22	Enquête - 41 (21,7%)
Temps de bureau / temps d'utilisation par processus	5,07 heures	Enquête
Bureau / Temps d'utilisation par jour	3,54 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Bureau / durée de vie	5,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur de bureau / Puissance moyenne	80,79 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Deuxième écran / Unités	0,5	Enquête - 94 (49,7%)
Deuxième écran / Temps d'utilisation par processus	5,68 heures	Enquête
Deuxième écran / Temps d'utilisation par jour	3,8 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Deuxième écran / durée de vie	6 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Deuxième écran / Puissance moyenne	50,47 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Tablette / Unités	0,15	Enquête - 29 (15,3%)
Tablette / Temps d'utilisation par processus	2,95 heures	Enquête
Comprimé / Temps d'utilisation par jour	2 heures	hypothèse
Tablette / durée de vie	3 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Tablette / Puissance moyenne	16,99 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)

TIER 2		
Proxy de réseau	par ligne	
Temps de connexion par processus	1 heure	
Utilisation de l'internet par jour et par personne	3,3 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Nombre d'utilisateurs de l'internet par ligne	2,3	Taille moyenne des ménages en Europe (27) d'après Eurostat (2020)
Réseau mobile	30 %	Hypothèse
Fixer le réseau	70 %	Hypothèse
TIER 3		
Localisation	L'Europe	
Streaming / NbParticipants	0.427	Enquête - 42,7% ont un contenu vidéo
Streaming / Heures	1	
Transport		
Localisation	L'Europe	
Méthode	Moyenne	
Voitures / Unités	0,02	Enquête - 5,3 % ont besoin de voyager, 30 % d'entre eux utilisent la voiture personnelle
Distance moyenne (km)	81,2 km	Enquête
Consommation d'énergie domestique		
Localisation	L'Europe	
Nombre de participants à distance	0,947	Enquête - 94,7% ne voyagent pas

Tableau A12. Répartition par source de l'apprentissage numérique asynchrone pour le scénario européen moyen

Tier 1	1,18E-01 kgCO2eq.
Tier 2	2,16E-02 kgCO2eq.
Tier 3	1,05E-04 kgCO2eq.
Transport	2,11E-01 kgCO2eq.
Logement	3,14E-01 kgCO2eq.
Logement (min)	1,14E-01 kgCO2eq.
Logement (max)	5,99E-01 kgCO2eq.

Tableau A13. Valeurs de la plate-forme d'apprentissage Moodle pour le marché belge

Nom	Valeur	Source
Général		
Les participants	300	300 participants
La durée	1 heure	Unité fonctionnelle
TIER 1		
Localisation	Belgique	Scénario européen
Ordinateur portable / Unités	150	Cas d'utilisation
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par processus	1	Cas d'utilisation
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par jour	3,56 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Ordinateur portable / durée de vie	4 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur portable / Puissance moyenne	23,83 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Bureau / Unités	150	Hypothèse
Bureau / Temps d'utilisation par processus	1	Hypothèse
Ordinateur de bureau / Temps d'utilisation par jour	3,54 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Bureau / durée de vie	5,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur de bureau / Puissance moyenne	80,79 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
TIER 2		
Données échangées (GB)	150 GO	0,5 GB par personne (hypothèse)
Réseau mobile	30 %	Cas d'utilisation
Fixer le réseau	70 %	Cas d'utilisation
TIER 3		
Localisation	Belgique	Cas d'utilisation
Streaming / NbParticipants	300	Cas d'utilisation
Streaming / Heures	1	Cas d'utilisation
Transport		
Localisation	Belgique	Cas d'utilisation
Méthode	Moyenne	
Voitures / Unités	75	Cas d'utilisation
Distance moyenne (km)	25	Cas d'utilisation
Consommation d'énergie domestique		
Localisation	Belgique	Cas d'utilisation
Nombre de participants à distance	150	Cas d'utilisation

Tableau A14. Répartition par source pour le cas d'utilisation 2

Tier 1	2,01E+01 kgCO2eq.
Tier 2	7,54E+00 kgCO2eq.
Tier 3	1,63E-01 kgCO2eq.
Transport	2,58E+02 kgCO2eq.
Logement	6,76E+01 kgCO2eq.
Logement (min)	3,07E+01 kgCO2eq.
Logement (max)	1,11E+02 kgCO2eq.

Tableau A15. Valeurs de l'apprentissage en face à face pour le scénario européen moyen

Nom	Valeur	Source
Général		
Les participants	26,7 (moyenne)	253 participants
Durée de l'accord	1 heure	Unité fonctionnelle
TIER 1		
Localisation	L'Europe	Scénario européen
Smartphone / Unités	13,8	Enquête - 131 (51,8%)
Smartphone / Temps d'utilisation par processus	3,51 heures	Enquête
Smartphone / Temps d'utilisation par jour	2,41 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Smartphone / durée de vie	2,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Puissance moyenne	4,43 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Ordinateur portable / Unités	25,3	Enquête - 240 (94,9%)
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par processus	4,56 heures	Enquête
Ordinateur portable / Temps d'utilisation par jour	3,56 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Ordinateur portable / durée de vie	4 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur portable / Puissance moyenne	23,83 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)

Bureau / Unités	5,6	Enquête - 53 (21%)
Bureau / Temps d'utilisation par processus	4,12 heures	Enquête
Ordinateur de bureau / Temps d'utilisation par jour	3,54 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Bureau / durée de vie	5,5 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Ordinateur de bureau / Puissance moyenne	80,79 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Deuxième écran / Unités	8,7	Enquête - 82 (32,4%)
Deuxième écran / Temps d'utilisation par processus	4,74 heures	Enquête
Deuxième écran / Temps d'utilisation par jour	3,8 heures	Rapport sur le dispositif mondial Webindex (2020)
Deuxième écran / durée de vie	6 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Deuxième écran / Puissance moyenne	50,47 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Tablette / Unités	3,9	37 (14,6%)
Tablette / Temps d'utilisation par processus	4.03 heures	Enquête
Comprimé / Temps d'utilisation par jour	2 heures	hypothèse
Tablette / durée de vie	3 ans	VHK et Viegand Maagøe, (2020)
Tablette / Puissance moyenne	16,99 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Transport		
Localisation	L'Europe	
Méthode	Moyenne	
Voitures / Nombre de passagers	12	Enquête - 114 (45%)
Distance moyenne (km)	57,8 km	Enquête

Tableau A16. Répartition par source pour l'apprentissage en face à face pour le scénario européen moyen

Tier 1	3,30E+00 kgCO2eq.
Transport	9,00E+01 kgCO2eq.

Tableau A17. Valeurs pour la classe de français en face à face professionnel

Nom	Valeur	Source
Général		
Les participants	10	10 participants
Durée de l'accord	1 heure	Unité fonctionnelle
TIER 1		
Localisation	France	Cas d'utilisation
Tablette / Unités	10	Cas d'utilisation
Tablette / Temps d'utilisation par processus	1	Cas d'utilisation
Comprimé / Temps d'utilisation par jour	1 heure	Cas d'utilisation
Tablette / durée de vie	1,5 ans	Cas d'utilisation
Tablette / Puissance moyenne	16,99 W	Tableau 9 de VHK et Viegand Maagøe (2020)
Transport		
Localisation	France	Cas d'utilisation
Méthode	Moyenne	
Voitures / Unités	5	Cas d'utilisation
Voitures / Nombre de passagers	1	Cas d'utilisation
Distance moyenne (km)	20	Cas d'utilisation

0101

Tableau A18. Répartition par source pour le cas d'utilisation 3

Tier 1	1,84E+00 kgCO2eq.
Transport	1,33E+01 kgCO2eq.



GREEN IT FOR VET PROVIDERS

