

NUMÉRIQUE RESPONSABLE EN ENTREPRISE : OÙ EN EST LA SUISSE ?



Un rapport du comité scientifique du Swiss Institute for Sustainable IT (ISIT-CH).

Ce rapport de l'ISIT-CH est le premier d'une série de rapports sur la situation du numérique en Suisse. Ce premier rapport se concentre sur le numérique en entreprise.

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

● Edito

Les avantages de la numérisation ne sont plus à démontrer, elle facilite notre vie quotidienne, rend les entreprises plus agiles, augmente leur rayon de vente, optimise les récoltes agricoles, améliore la précision des diagnostics médicaux et donne accès à l'information à un plus grand nombre de personnes. Or, presque toutes les habitudes reposent sur la numérisation, ce qui lui confère un pouvoir sans précédent. Il est essentiel que la numérisation soit conçue, fabriquée, utilisée et gérée correctement. En 2020, la numérisation représente 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre et 5 à 10% de la consommation mondiale d'électricité. Dans les années à venir, on s'attend à ce que la part de l'électricité consommée par la numérisation continue à croître et de manière exponentielle. Au vu de toutes ces informations, il est pertinent de se demander si le numérique est soutenable environnementalement, socialement et économiquement dans les années à venir ? Comment une démarche numérique responsable garantit une transformation numérique supportable pour la planète et bénéfique pour toutes et tous ? Au travers de ce rapport, Swiss Institute for Sustainable IT (ISIT-CH) présente la situation du numérique responsable en Suisse et plus particulièrement dans le tissu industriel helvétique.

SOM-MAIRE

1. CONTEXTE 5

Le numérique, c'est quoi ?
Le numérique, partout et tout le temps
Un numérique pas si immatériel
Un numérique naturellement contraint
Et le numérique de demain ?
Objectif de ce rapport

2. LE NUMÉRIQUE DANS LE TISSU INDUSTRIEL SUISSE 13

Le numérique en Suisse
La maturité numérique des entreprises helvétiques
Les avantages du numérique en entreprise
Une numérisation souvent à l'encontre de l'environnement
Une obésité numérique
Une obésité avec un fort impact environnemental

3. CENTRES DE DONNÉES 21

Généralités
L'attractivité de la Suisse
État des lieux en Suisse
Quel impact environnemental des centres de données ?
Consommation énergétique
PUE - Power Usage Effectiveness
Gaz à effet de serre
Consommation de ressources abiotiques
Consommation d'eau

4. L'AVIS DU SWISS INSTITUTE FOR SUSTAINABLE IT 31

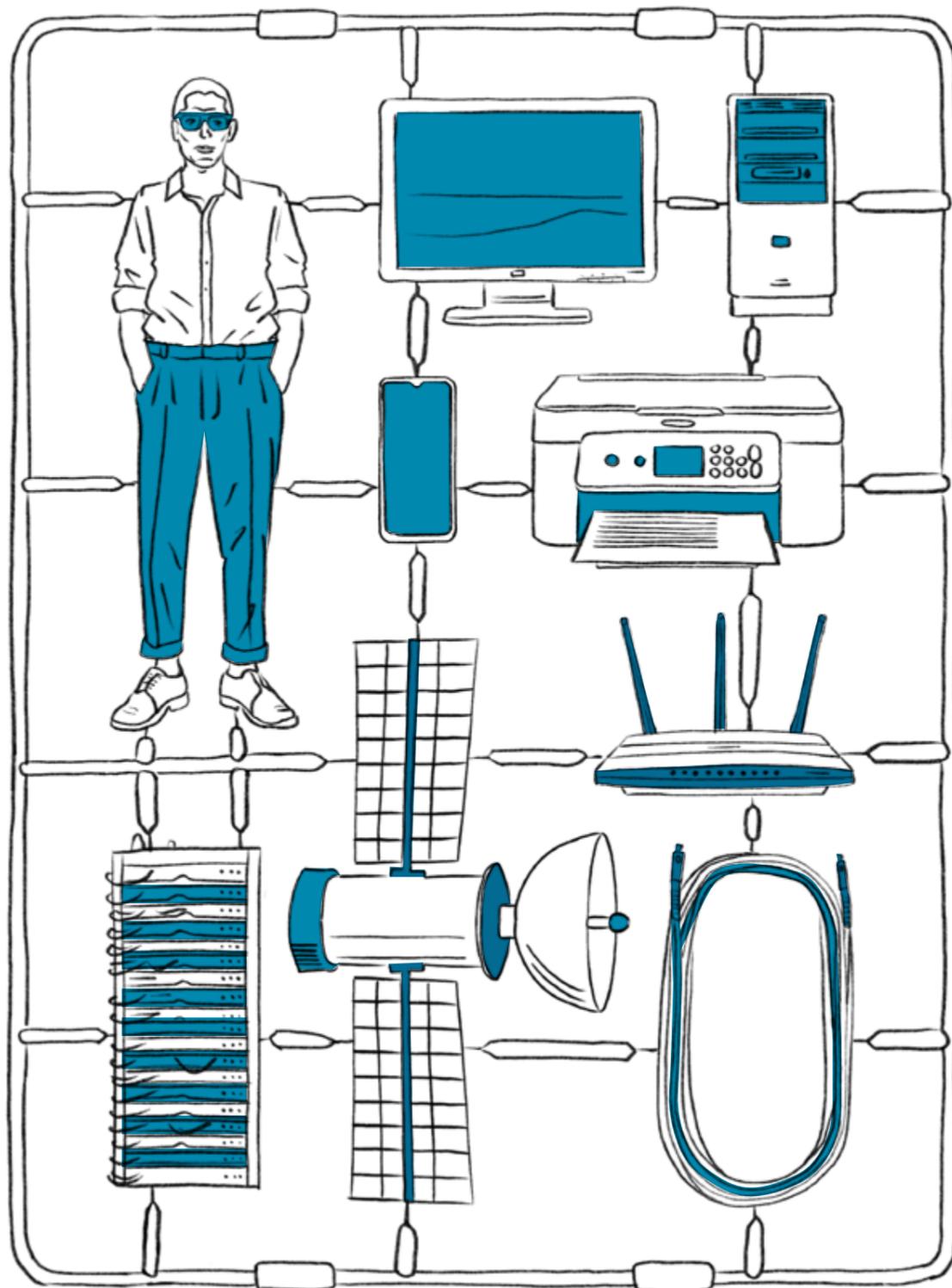
5. CONCLUSION 35

Swiss Institute for Sustainable IT
Qui sommes-nous ?
Nos valeurs
Nos principaux objectifs
Notre charte numérique responsable
Le Label Numérique Responsable

REMERCIEMENTS 39

BIBLIOGRAPHIE 40

Contexte



● Le kit du numérique.

Alors que de plus en plus d'entreprises et d'administrations publiques suisses sautent dans le wagon de la numérisation responsable, les impacts environnementaux du numérique restent encore méconnus. A ce jour, en Suisse, des grandes structures publiques ont déjà adopté les principes du numérique responsable : Hôpitaux Universitaires de Genève, l'État de Genève et les villes de Lausanne et Bienne, entre autres. C'est aussi le cas pour les entreprises.

En tout, plus de 14 organisations, publiques et privées, ont déjà rejoint Swiss Institute for Sustainable IT. Intégrer les critères environnementaux et sociaux dans sa démarche numérique réduit non seulement son empreinte mais optimise aussi son parc informatique tout en réduisant ses coûts.

Dans le détail

Le numérique, c'est quoi ?

Le numérique, partout et tout le temps

Un numérique pas si immatériel

Un numérique naturellement contraint

Et le numérique de demain ?

Objectif de ce rapport



“ C’EST L’ÉTAPE DE FABRICATION QUI CONSOMME LE PLUS DE RES-SOURCES NATURELLES, REPRÉ-SENTANT EN MOYENNE 70% DE L’EMPREINTE TOTALE DU CYCLE DE VIE DU DISPOSITIF. ”

1.1 LE NUMÉRIQUE C’EST QUOI ?

Le numérique devient omniprésent dans nos vies personnelles et professionnelles. Mais qu’est-ce qu’est réellement le numérique ?

Le numérique est composé de trois piliers principaux :



Terminaux

Ordinateurs, smartphones, imprimantes, écrans, tablettes, objets connectés, etc. Il existe aujourd’hui plus de 34 milliards d’équipements électroniques (Institut du Numérique Responsable, 2021).



Réseaux

Câbles de fibre optique, antennes, satellites, routeurs, etc. On compte plus de 1,2 millions de câbles de fibre optique, soit 32 fois le tour de la Terre (ARTE, 2018).



Centres de données

Il y a plus de 100 millions de serveurs dans le monde qui véhiculent, conservent et traitent nos données (Institut du Numérique Responsable France, 2021).

1.2 LE NUMÉRIQUE, PARTOUT ET TOUT LE TEMPS

Le numérique est omniprésent. Ses avantages ne sont plus à démontrer. Il facilite notre quotidien, rend les entreprises plus agiles, augmente leur rayon de vente, optimise les récoltes agricoles, améliore la précision des diagnostics médicaux et donne accès à l’information à un plus grand nombre de personnes.

Au quotidien, le numérique se retrouve dans le télétravail, les paiements en carte bancaire, les sites web et les séries en ligne. **Une conséquence de la numérisation est l’augmentation de notre temps devant des écrans.**

Pourtant, très peu sont celles et ceux à connaître les enjeux environnementaux qui existent derrière la numérisation de notre quotidien. Peu sont aussi ceux et celles à connaître la réalité matérielle derrière la soi-disant « immatérialité » des services numériques.

Le numérique connaît un essor très important depuis les années 2000. Presque toutes nos habitudes se basent sur le numérique. Cela lui confère une puissance jamais vue. Il est donc essentiel que le numérique soit conçu, fabriqué, utilisé et géré correctement.

1.3 UN NUMÉRIQUE PAS SI IMMATÉRIEL

En 2020, le numérique représentait entre 2 à 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre ainsi que 5 à 10% de la consommation électrique mondiale (Institut du Numérique Responsable France, 2021), (IEA, 2017). Dans les années à venir, il est prévu que la part de la consommation électrique du numérique continue à croître. En Suisse et en 2021, la consommation électrique des centres de données était de 2,1 TWh, soit 3,6% de la consommation domestique. Dans les années à venir elle pourrait s'élever à 4 TWh, soit un doublement de la consommation (OFEN, 2021). Le même scénario est prévu en Europe : en 2028, les centres de données en Irlande pourraient consommer jusqu'à 29% de l'électricité du pays (Guillaume Pitron, L'enfer numérique, voyage au bout d'un like., 2021).

Nous avons l'habitude d'associer l'empreinte environnementale d'un dispositif électronique à la quantité d'électricité qu'il consomme. Or, pour la plupart des équipements électroniques grand public, c'est l'étape de fabrication qui consomme le plus de ressources naturelles, représentant en moyenne 70% de l'empreinte totale du cycle de vie du dispositif. Et malgré cet impact très important, le rythme de fabrication de ces dispositifs ne cesse d'augmenter. A chaque seconde, 40 smartphones sont vendus dans le monde (Institut du Numérique Responsable France, 2021).

Le nombre de données numériques générées par nos actions quotidiennes continue également d'augmenter. Naviguer sur le web, visionner une vidéo en ligne ou publier sur les réseaux sociaux génèrent des données. A tel point que tous les 18 mois, la quantité de données mondiales générées est doublée. Toutes ces données numériques sont conservées dans des centres de données qu'il faut fabriquer et alimenter, consommant ainsi des ressources, de l'électricité et émettant des gaz à effet de serre. Les avancées technologiques dans l'efficacité énergétique des serveurs et l'optimisation du stockage de données ne sont pas suffisantes pour répondre à la génération de données à venir (Stéphane Lemaire, 2022).

Enfin, la fin de vie n'est pas non plus maîtrisée. En 2019, l'humanité avait produit 53 millions de tonnes de déchets électroniques. Or, moins de 20% de ces déchets sont correctement collectés pour être recyclés. Les techniques de recyclage restent largement partielles (Institut du Numérique Responsable France, 2021).

1.4 UN NUMÉRIQUE NATURELLEMENT CONTRAINT

L'illusion de l'immatérialité du numérique, et du Cloud en particulier, nous empêche de comprendre l'élément le plus important de tous : **le numérique et la numérisation reposent sur l'extraction de ressources naturelles pour la fabrication de nos équipements numériques.** Et celles-ci sont en quantité finie. **Certaines de ces ressources sont considérées comme critiques.** Actuellement, 14 éléments chimiques utilisés dans les technologies numériques sont considérés critiques. Si cette criticité d'approvisionnement n'est pas considérée, alors les stratégies des organisations et des gouvernements sont en danger (Gloria Flik, 2021).

L'extraction de ces ressources critiques ne fait que s'accélérer. Au rythme actuel, des premières pénuries de ressources naturelles sont à craindre pour les décennies à venir (Science et Vie, 2022).

1.5 ET LE NUMÉRIQUE DE DEMAIN ?

Depuis des années, la croissance du secteur numérique entraîne la numérisation de nos habitudes personnelles et professionnelles. À la suite des différentes crises sanitaires, la numérisation a touché l'ensemble de notre quotidien :



Travail : le télétravail est devenu une réalité pour un grand nombre de salariés.



Économie : les monnaies numériques et les cryptomonnaies, inconnues il y a encore quelques années, se font progressivement une place parmi les monnaies classiques actuelles.



Technologie : le développement de la blockchain, de l'Intelligence Artificielle (IA), des calculateurs quantiques et du Big Data ouvre les portes à des technologies toujours plus performantes. La cohabitation entre l'être humain et l'algorithme est déjà une réalité. D'autant plus que les projets liés aux Smart Cities (villes intelligentes) et au Métavers ne sont qu'à leurs prémices. Si l'on croit les grands du numérique, il sera possible sous peu de faire du shopping dans des villes et magasins virtuels.

Le numérique devra répondre rapidement à l'ensemble de ces enjeux pour devenir durable, éthique et rentable.

Parmi ces enjeux, il y a **le risque de pénuries de ressources naturelles qui est une réalité**, à court, moyen et long terme.

1.6 OBJECTIF DE CE RAPPORT

Au vu de toutes ces informations, il est pertinent de se demander : cet hubris numérique, est-il soutenable environnementalement, socialement et économiquement dans les années à venir ? Comment une démarche numérique responsable garantit une transformation numérique soutenable pour la planète et bénéfique pour toutes et tous ?

Au travers ce rapport, l'ISIT-CH, présente une vue consolidée de la situation du numérique responsable en Suisse et plus particulièrement dans le tissu industriel helvétique. Plus précisément, ce rapport :

- ◇ synthétise les impacts environnementaux du numérique en Suisse.
- ◇ compare cette situation à celle de l'Europe ou à l'échelle mondiale en fonction des données disponibles.
- ◇ encourage à l'implémentation des bonnes pratiques numériques.
- ◇ transmet les recommandations de l'ISIT-CH en termes de numérique responsable.



“LA TECHNOLOGIE NE SERA PAS PLUS ÉCOLOGIQUE QUE NOUS LE SERONS.”

GUILLAUME PITRON



Le numérique dans le tissu industriel suisse

Depuis de nombreuses années, la transformation numérique se développe au sein des entreprises helvétiques. La crise sanitaire en 2020 a accéléré le déploiement des nouvelles technologies dans les entreprises. Ce chapitre décrit la réalité numérique du tissu industriel suisse, allant des entreprises jusqu'aux centres de données.

Dans le détail

Le numérique en Suisse

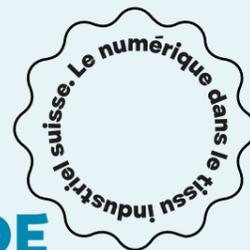
La maturité numérique des entreprises helvétiques

Les avantages du numérique en entreprise

Une numérisation souvent à l'encontre de l'environnement

Une obésité numérique

Une obésité avec un fort impact environnemental



**“ LE PRINCIPAL PROBLÈME RÉSIDE
DANS L’OBÉSITÉ INFORMATIQUE,
DONT LES PREMIERS SYMPTÔMES
SONT LE SURÉQUIPEMENT INFOR-
MATIQUE DES COLLABORATEURS
ET LA NON-OPTIMISATION DU
PARC INFORMATIQUE ”**

2.1 LE NUMÉRIQUE EN SUISSE

La numérisation de nos sociétés est en constante augmentation et les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) sont omniprésentes. Cette numérisation a encore été renforcée avec la situation sanitaire. Ce changement brusque de conditions de travail a été vécu de manière très différente par les citoyens et par les entreprises, selon leur degré de maturité numérique.

Ainsi, dans un contexte de course à la numérisation, quels sont les impacts de ces technologies, au niveau environnemental, sociétal et économique ? Quelle est la situation en Suisse ? Que pouvons nous faire pour amplifier les avantages du numérique et en réduire les impacts négatifs ?

Ce rapport se concentre sur la situation du numérique en Suisse. D'autres rapports décrivent déjà l'état du numérique responsable au niveau global.

2.2 LA MATURITÉ NUMÉRIQUE DES ENTREPRISES HELVÉTIQUES

Selon l'Office Fédéral de la statistique (OFS, 2020), les entreprises suisses se situent dans le podium européen de l'utilisation des TIC au travail. Pourtant, malgré ce résultat très encourageant, le manque de formation sur les nouveaux usages du numérique reste important. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce sentiment :



Dans la plupart des cas, la numérisation des procédés est venue se juxtaposer aux procédés déjà existants, au lieu de les remplacer et de les améliorer. Cela amène une complexité supplémentaire autant pour le salarié que pour l'organisation elle-même.



De nombreux nouveaux logiciels et procédés ont été déployés rapidement au sein des organisations, sans assurer une formation adéquate des collaborateurs.

Bilan : 42% des utilisateurs d'Internet au travail nécessitent une formation pour employer les nouveaux logiciels ou équipements informatiques. Cette formation est essentielle à la fois pour assurer l'optimisation des procédés en interne mais aussi pour éviter la fracture sociale entre collaborateurs. C'est le secteur tertiaire suisse – finance, assurances, communication – qui nécessite le plus de formation à la suite de sa numérisation. Les secteurs qui en ont le moins besoin sont l'agriculture et la construction (OFS, 2020).

D'autre part, d'après l'ETHZ/KOF (ETHZ KOF, 2017) (ETHZ, 2020) :

- 40% des grandes entreprises utilise le cloud (20% pour les petites),
- 40% des entreprises ont signalé des problèmes de sécurité liés à l'IT,
- jusqu'à 80% des entreprises utilisent les réseaux sociaux,
- plus de 50% des employés utilisent un ordinateur (> 60% grandes entreprises, 50% PME),
- entre 45 et 60% des employés utilisent internet selon la taille de l'entreprise.

2.3 LES AVANTAGES DU NUMÉRIQUE EN ENTREPRISE

Parmi les avantages de la numérisation en entreprise, nous pouvons citer :



Optimiser les processus de fabrications dans les secteurs exportateurs tels que l'horlogerie, la pharmaceutique, le luxe et la mécanique ;



Positionner rapidement le marché financier suisse sur les nouvelles tendances et s'adapter aux réglementations à venir ;



Rester leaders mondiaux dans l'Innovation ;



Développer de nouveaux marchés 100% numériques (ex : Non-Fungible Token, NFT).

Les entreprises suisses ont compris l'enjeu de la numérisation. Pour rester leader dans les secteurs de l'horlogerie, la pharmaceutique et la banque, le tissu industriel helvétique se doit d'investir dans la numérisation.

2.4 UNE NUMÉRISATION SOUVENT À L'ENCONTRE DE L'ENVIRONNEMENT

Outre les défis liés à la transition numérique, une grande partie des entreprises suisses affichent des objectifs environnementaux ambitieux. Tout autant que la confédération helvétique, le tissu industriel suisse souhaite réduire son empreinte environnementale. **Or, l'important coût envi-**

ronnemental lié à la fabrication des équipements électroniques ainsi que la grande fréquence de renouvellement de ceux-ci ralentissent l'atteinte des objectifs environnementaux.

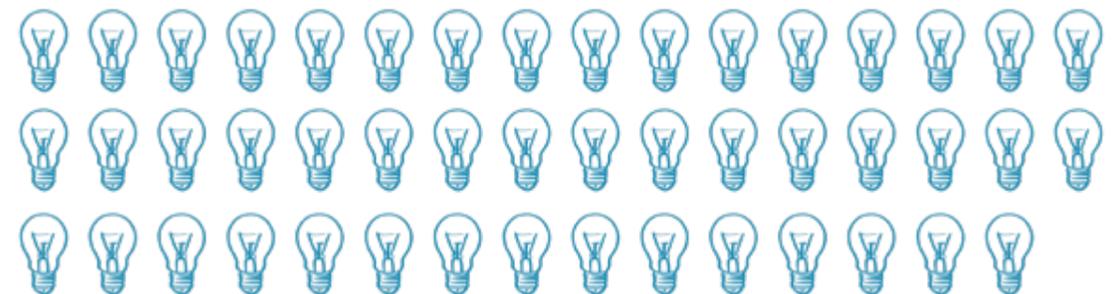
Les futurs contextes climatiques et sociaux placeront la durabilité au coeur des entreprises et des marchés. Ne pas intégrer les critères environnementaux, aussi dans l'IT, sera une difficulté supplémentaire à surmonter pour l'entreprise. Malgré une amélioration significative, le degré de maturité en numérique responsable du tissu industriel suisse est encore faible vis-à-vis de son voisin français.

2.4.1 Une obésité numérique

La numérisation des entreprises entraîne une augmentation du nombre d'équipements électroniques par collaborateur, ainsi qu'une utilisation plus importante du Cloud. En Europe, les pays nordiques sont les plus actifs dans l'utilisation d'Internet au travail. La Suisse se situe en 5ème position. L'utilisation première d'Internet reste l'échange de données et d'emails, suivi de création et de l'édition de documents électroniques. Concernant l'utilisation d'équipements électroniques au travail – ordinateur, tablette et smartphone –, les Pays-Bas sont en 1ère position, le Danemark deuxième et la Suisse troisième (Office fédéral de la Statistique, OFS, 2020).

L'augmentation du parc informatique des entreprises a amené des avantages mais aussi des problèmes supplémentaires. **Le principal problème réside dans l'obésité informatique, dont les premiers symptômes sont le suréquipement informatique des collaborateurs et la non-optimisation du parc informatique.** L'étude WeNR, menée par l'Institut du Numérique Responsable en Europe, n'a pas eu suffisamment de réponses en Suisse pour en extraire des conclusions fiables. Néanmoins, il est possible d'extraire des données de cette étude européenne pour avoir un probable état de situation en Suisse. Au vu de la similitude de culture entre la Suisse, la France et la Belgique, les résultats obtenus à l'échelle européenne sont extrapolables aux entreprises suisses. Ci-dessous quelques éléments de l'étude WeNR 2021 :

- le numérique pèse environ 265 kg de CO_{2e} par salarié,
- la consommation électrique d'un collaborateur représente l'équivalent de 47 ampoules de 25W sur une journée de bureau (5'311 kWh d'énergie finale/utilisateur/an).



D'autre part :

- **25% des logiciels et applications achetés ne sont jamais utilisés.** Pour le reste, 70% sont sous utilisés. En tout, 10 à 50% des logiciels pourraient être enlevés sans nuire au fonctionnement de l'entreprise. Cela représente un gâchis de 16 milliards de francs par an en Europe (Institut du Numérique Responsable, 2021).
- **20% des virtualisations machines sont inactives ou pas sollicitées** et 15% des serveurs dans les centres de données ne sont pas utilisés (Institut du Numérique Responsable France, 2021).
- En entreprise, un smartphone est remplacé en moyenne tous les 24 mois. Un ordinateur, tous les 4 ans, bien qu'il soit encore en très bon état (Institut du Numérique Responsable France, 2021).
- Le double écran est devenu une « norme » parmi les collaborateurs, alors que peu d'entre eux en ont réellement besoin.
- Les organisations s'équipent souvent avec du matériel informatique bien plus puissant que nécessaire.

Tous ces chiffres corroborent que le système d'information est devenu un réel centre de coûts dans les entreprises et les administrations publiques. Ceci a un impact économique et environnemental qui s'explique par la transversalité du numérique dans les organisations. Il est présent à tous les niveaux de la hiérarchie et dans tous les départements.

2.4.2 Une obésité avec un fort impact environnemental

Les entreprises, soucieuses de réduire leur empreinte environnementale, optimisent régulièrement les procédés de fabrication de leurs produits, l'élaboration de leurs services ou la mobilité de leurs collaborateurs. Néanmoins, le système d'information est encore trop rarement pris en compte dans les calculs environnementaux. Au mieux, la consommation électrique des dispositifs est prise en compte. Mais cela s'arrête là. Or, la fabrication et l'utilisation des ordinateurs, des smartphones et autres dispositifs a un vrai coût environnemental.

- Il faut environ 200 kg de matières premières pour fabriquer un smartphone de 200g (Institut du Numérique Responsable France, 2021). Soit 1'000 fois son poids final.
- La fabrication d'un ordinateur de bureau de 2,4 kg nécessite 800 kg de matières premières et rejette 195 kg de CO_{2e} (ADEME, 2022).
- Une puce électronique de 2 grammes nécessite 32 kg de matières premières, soit 1'600 fois son poids (Williams, Ayres, & Heller, 2002)
- Il faut concasser une tonne de roche pour obtenir entre 1 et 5 grammes d'or (Guillaume Pitron, La guerre des métaux rares, 2018).

Au travail, l'empreinte environnementale quotidienne numérique d'un salarié est de (GreenIT.fr, 2021) :



Nous venons d'observer l'impact environnemental de l'ensemble de nos équipements numériques quotidiens. Or, le numérique, en plus de ces équipements, est composé de centres de données qui transitent et conservent nos données. Ainsi, il est judicieux de se demander : quel est leur impact environnemental ?





● **Bienvenue à Data City !**

3

Centres de données

Dans le détail

Généralités

L'attractivité de la Suisse

État des lieux en Suisse

Quel impact environnemental des centres de données ?

Consommation énergétique

PUE - Power Usage Effectiveness

Gaz à effet de serre

Consommation de ressources abiotiques

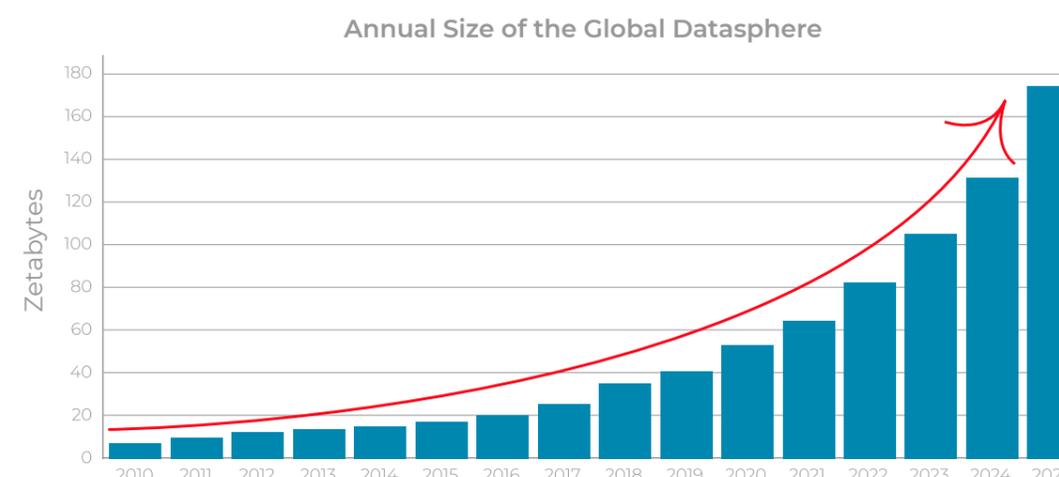
Consommation d'eau

GÉNÉRALITÉS

Un centre de données est un bâtiment constitué d'une multitude d'équipements électriques et électroniques servant à calculer, conserver et faire transiter nos données numériques : serveurs, baies de stockage, câbles réseaux, routeurs, climatiseurs, etc. Étant donné la confidentialité et l'importance des données conservées, les centres de données disposent d'une sécurité physique accrue, avec des gardes, des barrières et des contrôles biométriques.

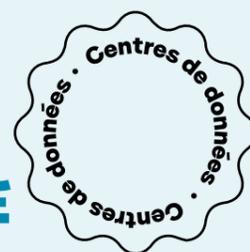
Actuellement, on compte plus de 100 millions de serveurs dans le monde et plus d'1,2 million de km de câbles de fibre optique (ARTE, 2018), soit plus de 32 fois le tour de la Terre.

Avec la numérisation actuelle, le nombre de données numériques générées et à conserver ne fait que croître. La Figure ci-dessous indique l'évolution du nombre de données numériques selon les années à venir (IDC DataAge, 2018).



Plus le nombre de données est grand, plus l'infrastructure nécessaire pour véhiculer et conserver les données sera importante. En effet, la génération de données augmente plus rapidement que l'efficacité des solutions de stockage.

En 2020 et 2021, à la suite de la pandémie, 32% des entreprises suisses ont adapté leur infrastructure IT pour répondre aux nouveaux usages du travail à distance et du travail hybride. Dans le même temps, la part de délocalisation dans le cloud a augmenté de 11 à 21% (Chabanne, 2021). Les centres de données sont ainsi une part de plus en plus importante de l'infrastructure IT des entreprises. Et malgré l'impression d'immatérialité des services numériques et la communication des grands acteurs du numérique sur une technologie « dans le nuage », tous ces services reposent sur des infrastructures très concrètes, matérielles et polluantes.



“ DANS L'ACTUALITÉ, ON COMPTE PLUS DE 100 MILLIONS DE SERVEURS DANS LE MONDE ET PLUS D'1,2 MILLION DE KM DE CÂBLES DE FIBRE OPTIQUE, SOIT PLUS DE 32 FOIS LE TOUR DE LA TERRE. ”

Il est important de comprendre les différents types de centre de données. Il en existe plusieurs sortes :



Les centres de données dits « d'entreprises » (EDC) qui appartiennent à une entreprise privée ou à un service public pour ses besoins propres. Ils sont typiquement gérés en interne par le département IT.



Les centres de données dits de « colocation » (CDC) où les équipements, l'espace et la bande passante sont gérés par une entreprise de service tierce et sont disponibles sous forme de services à la location pour les clients.



Les centres de données dits « hyperscale » (HDC) qui sont des infrastructures spécialement conçues par les entreprises productrices de beaucoup de données, à l'instar des GAMAM (Google, Amazon, Meta, Apple, Microsoft) ou des BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi).



Les centres de données dits « edge » qui sont des centres de petites tailles en périphérie des réseaux de communication pour réduire la latence pour les calculs critiques ne demandant pas des ressources trop importantes. Ils sont la plupart du temps gérés par des opérateurs spécialisés (par exemple IoT) ou des opérateurs de télécommunications.

L'ATTRACTIVITÉ DE LA SUISSE

La Suisse est un acteur important au niveau des centres de données puisqu'elle se situe dans le top 10 au niveau européen en termes de puissance globale. Zurich est la 6ème région derrière, Londres, Francfort, Amsterdam, Paris et Dublin du plus important au moins important (SCARPA & SCHOCH, 2021).

Selon Deloitte, entre 200 et 400 millions de francs suisses sont investis chaque année pour développer de nouveaux centres de données en Suisse (Deloitte, n.d.). Le pays est considéré comme particulièrement attractif car :

- Il est situé au centre de l'Europe et jouit d'une forte stabilité politique.
- Il héberge déjà un grand nombre de sociétés internationales.
- Il s'appuie sur un réseau de télécommunications extrêmement fiable, avec beaucoup d'interconnexions des opérateurs mondiaux.

- Il fournit des infrastructures d'électricité de très bonne qualité et fiabilité.
- Il bénéficie d'un climat continental favorable, un des éléments essentiels permettant de mieux refroidir les machines.
- Il fait preuve d'une bonne capacité d'innovation notamment à travers les écoles polytechniques.

ÉTAT DES LIEUX EN SUISSE

Selon CBRE (entreprise active dans le conseil immobilier) (SCARPA & SCHOCH, 2021), la Suisse comptait fin 2020, 93 centres de données de type « colocation » (CDC), essentiellement situés à Zurich et dans l'Arc lémanique. **Ce nombre est en augmentation constante depuis les années 2000, avec une croissance annuelle moyenne de 8%.** A cette époque, la Suisse comptait une vingtaine de centres de données. Cela témoigne d'une pratique d'externalisation croissante des données. Au total, ces CDC totalisent une surface d'environ 154'000 m² (soit environ 24 terrains de football) et ont une puissance installée disponible aux alentours de 130 MW. Or, la consommation moyenne d'un ménage en Suisse est de 5 MWh par an. Ainsi, la puissance de ces CDC consomme l'équivalent de 227'000 ménages (SuisseEnergie, 2021).

Les cantons de Zurich, Berne, Genève, Argovie et Vaud concentrent la plus grande partie des CDC. Dans la même logique, la majorité des CDCs ont plus de 100 serveurs et beaucoup dépassent les 2'000 serveurs.

Les centres de données en Suisse s'appuient sur différents types d'acteurs :



les géants des technologies de l'information qui ont récemment investi dans des nouveaux centres de données : Google et Oracle à Zurich, Microsoft à Zurich et à Genève et Amazon depuis 2022.



les acteurs globaux de la gestion des centres de données qui sont également établis en Suisse : Equinix (2 à Genève et 3 à Zurich), Swisscom (Genève, Zurich, Bale, Bern, Lausanne et Lugano) ou encore Interxion (Zurich).



les opérateurs locaux indépendants : Safehost (Genève, Gland, Avenches et Zurich), Infomaniak (Genève), Green Datacenter (Zurich) ou Brainserve (Lausanne).

Le centre de données de l'entreprise Safe Host construit en 2017 et situé à Gland (VD) est actuellement le plus grand centre de données en Suisse. Il a une surface de 14'400 m² et une puissance électrique redondante de 40 MVA. Ou l'équivalent de la consommation moyenne de 70'000 ménages en suisse. La société Green Data Center a également annoncé pour fin 2022 la construction d'un nouveau centre de données à Zurich/Dielsdorf « Metro campus » avec 20'000 m² de surface disponible.

QUEL IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES CENTRES DE DONNÉES ?

L'impact environnemental d'une activité peut se mesurer à travers un grand nombre d'indicateurs. Dans le domaine du numérique, il est fréquent de se concentrer sur 4 principaux domaines d'impact : la consommation énergétique, le dérèglement climatique, l'épuisement des ressources abiotiques et la tension sur l'eau douce.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Du fait que les centres de données fonctionnent 24h/24 et 7 jours sur 7, la majeure partie de l'impact sur le dérèglement climatique (70-80%) des centres de données est liée à leur consommation électrique dans le cas d'un mix électrique standard (Whitehead, Andrews, & Sha, 2015). L'impact de la fabrication, du transport et du recyclage étant amorti sur de nombreuses heures d'utilisations. Cet impact peut donc varier significativement en fonction de la source d'électricité utilisée.

Au niveau mondial, l'IEA (Agence Internationale de l'Énergie) estime que la consommation électrique des centres de données représente environ 1% de la consommation mondiale (IEA, 2021). L'Office Fédéral de l'Énergie, OFEN, a mandaté l'entreprise TEP Energy GmbH et la Haute école de Lucerne pour étudier la consommation énergétique des centres de calcul et salles des serveurs (Jakob, Müller, & Altenburger, 2021). En 2019, ils ont consommé environ 2.1 TWh, soit 3,6% de la consommation totale d'électricité en Suisse. Ce chiffre correspond à un quart de la production annuelle de la centrale nucléaire de Gösgen (2^{ème} plus grand réacteur des quatre réacteurs nucléaires actifs en Suisse).

En outre, l'étude indique qu'un travail d'efficacité énergétique permettrait d'éviter 0.96 TWh, soit 46% de la consommation actuelle des centres de calcul.

A titre d'exemple, la société Infomaniak, qui gère des centres de données à Genève, annonce avoir consommé 4.04 GWh d'électricité en 2020. Cela en fait l'un des 500 plus grands consommateurs d'énergie du Canton de Genève. Cette électricité est annoncée comme 100% issue de sources renouvelables. Le centre de données du CERN à Meyrin peut quant à lui s'appuyer sur une puissance électrique maximale de 3.5 mégawatts, soit potentiellement jusqu'à 30 GWh par an.

La part des centres de données dans la consommation électrique du pays devrait augmenter ces prochaines années, à mesure que se développent de nouveaux centres de données de type Collocation et Hyperscale. La consommation d'électricité pourrait en effet passer à 2.7 ou 3.5, voire 4 TWh à moyen terme selon l'étude citée plus haut. Cette hausse attendue s'explique par la numérisation croissante via les données massives (big data), l'internet des objets, l'industrie 4.0 et l'informatique en nuage (cloud computing).

Un sondage publié en février 2021 par Energie Schweiz prévoit un total de nouvelles constructions ou d'agrandissements des centres de données en Suisse pour une consommation estimée à environ 0.7 TWh (soit 33% supplémentaires), principalement localisés dans les cantons de Zurich, Vaud et Argovie (Fasan, 2021).

PUE - POWER USAGE EFFECTIVENESS

Le rapport entre l'énergie utile (énergie des serveurs) et l'énergie du bâtiment est appelé PUE (Power Usage Effectiveness ou indicateur d'efficacité énergétique). Plus cet indicateur est proche de 1 et plus le centre de données est efficace avec peu de perte d'énergie.

En 2021, le PUE moyen au niveau mondial rapporté par le Uptime Institute était de 1.57 (Daniel Bizo, 2021). **En Suisse, on estime que le PUE moyen serait globalement un peu meilleur avec une majorité des centres entre 1.2 et 1.5 (Jakob, Müller, & Altenburger, 2021) et le pays héberge quelques centres de données qui sont à la pointe de l'efficacité.** Par exemple, la société High DC à La-Chaux-de-Fonds revendique un PUE inférieur à 1.1 (Chavanne, 2020) grâce à une méthode de refroidissement profitant de la température de l'air extérieur pour refroidir l'intérieur du centre de données. Le site est situé à plus de 1'000 mètres d'altitude ce qui contribue à consommer moins d'électricité pour le refroidissement. Plusieurs autres centres de données en Suisse chez Safehost, Greendatacenter, Rechenzentrum-Ostschweiz ou Infomaniak annoncent également un PUE inférieur à 1.2 (Fischer, 2022).

GAZ À EFFET DE SERRE

La cause principale du dérèglement climatique se trouve derrière les émissions de gaz à effet de serre engendrées par les activités humaines.

L'électricité produite en Suisse est assez peu carbonée avec en 2020, 65.9% provenant de centrales hydroélectriques et 19,9% provenant de centrales nucléaires (Pronovo, 2021). Le facteur d'émission annoncé par l'OFEV pour l'électricité consommée (incluant donc des importations) est de 128 g éq.-CO₂/kWh (Office fédéral de l'environnement OFEV, n.d.). Les 2.1 TWh mentionnés ci-dessus se convertissent donc approximativement en 268'000 tonnes équivalent CO₂ (CO_{2e}) pour – uniquement – la phase d'utilisation de ces centres de données, sans compter la fabrication et la fin de vie du matériel.

Les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise gérant des centres de données peuvent rapidement devenir importantes. A titre d'illustration, l'entreprise Equinix, Un des leaders mondiaux des centres de données et le 5^{ème} plus grands opérateurs en Suisse (SCARPA & SCHOCH, 2021) rapporte pour 2020 un total d'environ 4 millions de tonnes de CO_{2e} au niveau mondial : 55'100 tCO_{2e} en scope 1 (émissions directes), 2'280'200 tCO_{2e} en scope 2 (émissions indirectes liées à l'énergie) et 1'633'000 tCO_{2e} en scope 3 (autres émissions indirectes) (Equinix, 2020). On peut mettre ce niveau d'émissions en perspective en les comparant aux 46 millions de tonnes d'émissions territoriales de la Suisse en 2019 ou les 5.8 millions de tonnes que représentent l'ensemble du secteur de l'agriculture en Suisse (OFEV, 2022).

A ce jour, très peu d'entreprises indépendantes gérant des centres de données en Suisse mesurent et publient leurs émissions de gaz à effet de serre. La société Infomaniak, à Genève, est un exemple de bonnes pratiques. Elle publie un rapport annuel et elle s'est engagée à réduire considérablement ses émissions ainsi qu'à compenser les émissions résiduelles à hauteur de 200%.

En 2020, Infomaniak annonce avoir émis 998 tonnes CO_{2e} (Infomaniak, 2021). Dans la mesure où 100% de l'électricité consommée est d'origine renouvelable, la source principale de ces émissions de gaz à effet de serre est le matériel (78%). Viennent ensuite les déplacements domicile/travail des collaborateurs (9%) et la consommation d'électricité (6%). Dans la catégorie matérielle électronique, le principal impact provient des serveurs (58%), suivi par le stockage en réseau (NAS) (7%), les disques locaux (6%) et les commutateurs réseau (3%).

L'entreprise Dell a réalisé en 2018 une analyse de cycle de vie pour son modèle de serveur « PowerEdge R740 ». Pour un assemblage du serveur en Europe, l'étude indique des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 4'288 kg CO_{2e}. De même pour une durée d'utilisation de 4 années, avec le mix électrique moyen de l'Europe, l'étude indique des émissions à hauteur de 4'525 kg de CO_{2e} (Thinkstep AG, 2019).

Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'électricité produite en Suisse (128 g éq.-CO₂/kWh) est globalement mieux décarbonée que la moyenne européenne (288g éq.-CO₂/kWh en 2018, 230g en 2020). L'utilisation de ce même serveur Dell « PowerEdge R740 » en Suisse aboutirait donc à environ 2 tonnes de CO_{2e} émises pour la phase d'utilisation (toujours sur 4 années).

CONSOMMATION DE RESSOURCES ABIOTIQUES

Les ressources dites « abiotiques » sont les ressources « non vivantes », qui se trouvent naturellement dans l'environnement et ne sont pas créées ou produites par l'Homme ou l'activité humaine. Le charbon, le sable ou le cuivre sont des exemples de ressources abiotiques.

Dans le contexte des solutions numériques, les principales sources de consommation de ressources abiotiques se trouvent dans la consommation de combustibles fossiles (pétrole, charbon, etc.), la fabrication du centre de données lui-même (un bâtiment typiquement construit à partir de béton, d'acier et d'isolants divers) et la fabrication du matériel électronique (principalement des métaux et des plastiques). Une très grande majorité de ces matières n'est pas directement

disponible en Suisse.

Une étude récente de l'ADEME en France nous montre que (Lees Persso, Vateau, & Domon, 2022) :



La consommation énergétique des serveurs (44%), des lots techniques (35%) et la fabrication des serveurs (13%) sont les plus importantes sources de consommation de ressources abiotiques fossiles.



La fabrication (et dans une moindre mesure la distribution et la fin de vie) des serveurs (55%), du stockage des données (19%) et du bâtiment (18%) sont les plus importantes sources de consommation de ressources abiotiques naturelles, hors fossiles.

Peu (ou pas) de données similaires existent au niveau de la Suisse mais il y a peu de raisons de penser que les ordres de grandeur seraient différents. En effet, la fabrication des équipements se fait majoritairement en Asie et les normes de construction des bâtiments abritant les centres de données ou le mix électrique sont globalement assez proches entre la France et la Suisse.

CONSOMMATION D'EAU

On appelle communément « eau bleue » la consommation directe des eaux de surface ou des eaux souterraines pour les activités humaines (au contraire de l'eau verte qui est la consommation naturelle d'eau de pluie par le sol ou les plantes). **La fabrication des équipements numériques et leur alimentation en électricité utilisent de l'eau bleue qui n'est donc pas disponible pour d'autres usages.**

Une étude récente de GreenIT indique qu'en 2019, les services numériques dans le monde étaient responsables de l'utilisation de 7.8 millions de m³ d'eau douce (Bordage, 2019). La majorité provient de la fabrication des terminaux utilisateurs mais les serveurs sont néanmoins responsables de 8% de cette consommation totale (2% pour leur fabrication et 6% pour leur utilisation), c'est à-dire environ 0.5 million de m³ d'eau douce, soit un peu plus de 200 piscines olympiques !

La production électrique Suisse étant principalement hydraulique et nucléaire, l'eau joue bien évidemment un rôle important dans le numérique en Suisse. Il n'existe néanmoins, à notre connaissance, pas de données similaires spécifiques à la Suisse.



● **Se déprogrammer pour se reprogrammer**

4

L'avis du Swiss Institute for Sustainable IT

Les chapitres précédents ont mis en lumière les enjeux environnementaux de la transition numérique du tissu industriel suisse. Il est évident que la marge de progression est importante.

Ainsi, par où débiter sa stratégie numérique responsable ? Quels sont les premiers pas pour réduire l'empreinte environnementale de son parc informatique ?

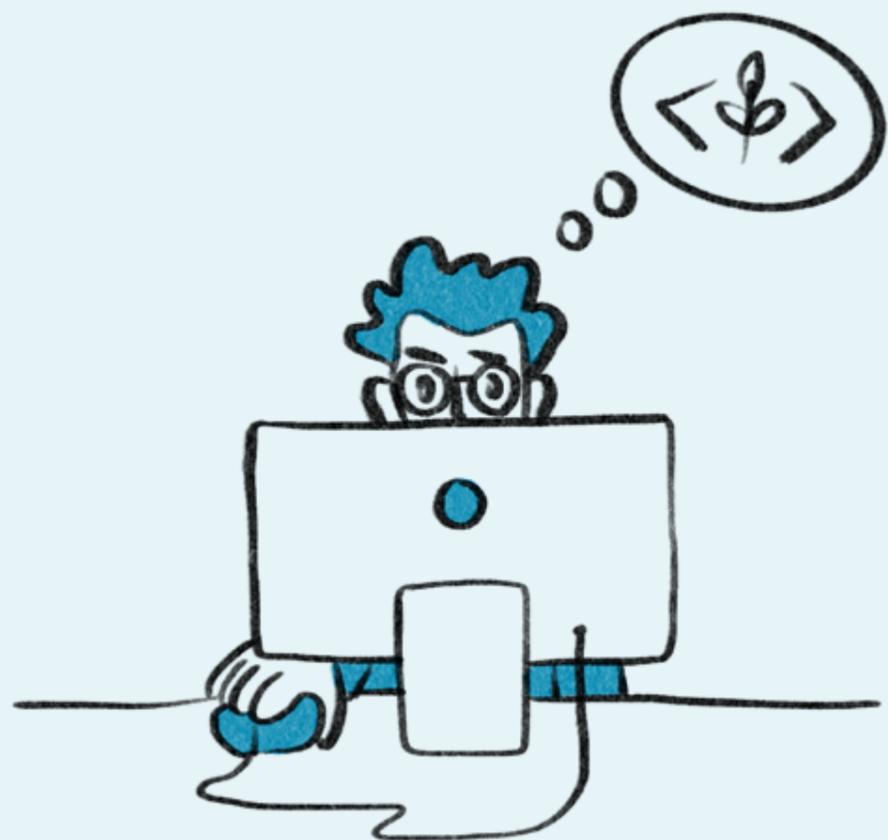
Dans ce chapitre, nous proposons un ensemble de bonnes pratiques numériques pour initier votre démarche numérique responsable. Sur son site web, l'Institut propose une boîte à outils pour réduire son empreinte numérique.

Dans le détail

Gouvernance

Équipements

Données



“ INTÉGRER UNE STRATÉGIE NUMÉRIQUE RESPONSABLE ET DE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE À TOUS LES NIVEAUX DE L'ORGANISATION. ”



GOVERNANCE

- Intégrer le numérique dans sa stratégie de développement durable et/ou de Responsabilité Sociétale de l'Entreprise ;
- Mesurer et publier l'empreinte environnementale de son parc informatique ;
- Intégrer une stratégie numérique responsable et de sobriété numérique à tous les niveaux de l'organisation ;
- Signer la charte Numérique Responsable de l'Institute for Sustainable IT ;
- Sensibiliser les collaborateurs à l'empreinte du numérique et aux bonnes pratiques ;
- Former une équipe de travail au numérique responsable ;
- Obtenir la labélisation Numérique Responsable.

ÉQUIPEMENTS

- Prolonger la durée de vie des équipements électroniques.
- Privilégier l'achat d'équipements fiables, facilement réparables et évolutifs.
- Privilégier l'achat d'équipements reconditionnés ou avec des labels environnementaux.
- Gérer la fin de vie des équipements (rachats par les employés, dons à des associations pour reconditionnement, etc.)

DONNÉES

- Héberger ses données dans des centres de données alimentés avec des énergies renouvelables et un PUE performant.
- Privilégier les centres de données ayant signé le Code of Conduct européen.
- Monitorer régulièrement le nombre de données générées, avoir une politique de données claires, en particulier la durée de rétention maximum. Appliquer une stratégie de sobriété en limitant la sauvegarde et le transfert des données aux données utiles.
- Limiter l'utilisation d'outils Analytics en ne les utilisant pas par défaut mais en ayant une vision claire de leur utilité et impact. Vérifier la conformité de ces outils avec la LPD et le RGPD.
- Éco-concevoir ses services numériques.



Conclusion

Le numérique est tout sauf immatériel et représente de 2 à 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre qui devraient doubler d'ici 2025. Si le numérique n'est pas utilisé avec sobriété, nous manquerons de certains matériaux indispensables à la fabrication des équipements, mettant ainsi en péril notre propre numérisation. En termes de maturité numérique, la Suisse se situe dans le haut du classement européen, cependant l'approche numérique responsable est encore loin d'être présente dans la plupart des entreprises suisses. La fréquence de renouvellement des équipements est l'une des principales raisons d'une empreinte écologique aussi élevée, tandis que les centres de données qui croissent de 8% par an ne font qu'aggraver ces problèmes.



“SI DANS LES ANNÉES À VENIR LE NUMÉRIQUE N’EST PAS UTILISÉ SOBREMENT, NOUS MANQUERONS DE CERTAINS MATÉRIAUX CRITIQUES À LA FABRICATION DES ÉQUIPEMENTS, METTANT EN PÉRIL NOTRE PROPRE NUMÉRISATION.”



LE NUMÉRIQUE SE DÉFINIT COMME L’ÉCO-SYSTÈME COMPRENANT NOS ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES INDIVIDUELS (TERMINAUX), L’ENSEMBLE DU RÉSEAU TRANSPORTANT LES DONNÉES NUMÉRIQUES AINSI QUE LES CENTRES DE DONNÉES TRAITANT ET CONSERVANT CES DONNÉES.

A travers ce rapport, nous avons expliqué en quoi le numérique est tout sauf immatériel. Il représente déjà entre 2 à 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Ces chiffres devraient doubler d’ici 2025. D’autre part, le numérique, comme tout élément matériel, est soumis à des contraintes naturelles.

Alors, il est urgent d’aligner la transition numérique avec la transition environnementale. Dès lors, on parle de numérique responsable.

En termes de maturité numérique, la Suisse se retrouve dans la partie haute du classement européen. Or, l’approche numérique responsable est encore loin d’être présente au sein de la plupart des entreprises helvétiques. Nous avons rencontré des difficultés à obtenir des chiffres précis sur les quantités et l’impact environnemental des terminaux en Suisse. Néanmoins, des données européennes sur ce sujet sont assimilables à la Suisse étant donné sa proximité culturelle. Le rapport du WeNR 2021 indique que l’empreinte numérique par collaborateur est de 265 kg de CO_{2e}. La fréquence de renouvellement des équipements est une des raisons principales de cette forte empreinte.

Puis, par sa bonne situation géographique, la Suisse compte de nombreux centres de données sur son territoire. Zurich est la 6^{ème} ville européenne concentrant le plus de centres de données. En Suisse, le nombre de centres de données croît de 8% par an. Un seul de ces centres peut consommer autant d’électricité que des milliers de ménages. En tout, les centres de données helvétiques génèrent 268’000 tonnes de CO_{2e} par an. Uniquement pour leur utilisation, sans considérer les étapes de fabrication et de fin de vie de leurs équipements.

Au vu de l’accélération de l’empreinte du numérique, *Swiss Institute for Sustainable IT* propose différentes approches pour réduire cet impact : intégrer le numérique responsable dans la stratégie RSE de l’organisation, faire un usage plus sobre du numérique, sensibiliser ses collaborateurs à cette thématique et prolonger la durée de vie des équipements. L’ISIT-CH met à disposition des outils pour atteindre un numérique responsable. L’ensemble des bonnes pratiques proposées est un premier pas facile et efficace pour démarrer une stratégie numérique responsable et réduire son empreinte numérique.

● **Présentation**

Le Swiss Institute for Sustainable IT (ISIT-CH), aussi appelé Institut du Numérique Responsable Suisse (INR-CH) est une association à but non lucratif créée en 2020 qui promeut des pratiques numériques responsables et développe une coopération interdisciplinaire pour l'anticipation et l'appropriation des enjeux et des valeurs d'un numérique responsable en Suisse. Les principaux objectifs de l'association sont de favoriser les échanges et le partage des connaissances ; promouvoir les bonnes pratiques numériques ; aider les acteurs sociaux, institutionnels, économiques et le grand public à comprendre et s'approprier les valeurs du numérique responsable ; identifier et communiquer sur les expériences, outils et actualités pour agir concrètement. L'INR-CH accompagne également les organisations dans le label numérique responsable, qui garantit les efforts réalisés par les entreprises dans la mise en œuvre de bonnes pratiques numériques.

Pour plus d'information, contactez l'ISIT-CH : info@institutnr.ch

REMERCIEMENTS

Le comité scientifique du *Swiss Institute for Sustainable IT* est composé de membres avec des compétences polyvalentes et surtout une ambition commune : réduire l'empreinte environnementale, sociale et économique du numérique. Actuellement, ses membres sont des bénévoles.

Les rédactrices et les rédacteurs de ce rapport sont :

- Ivan Mariblanca Flinch : fondateur et CEO de Canopé.
- Delphine Seitiée : secrétaire générale d'Alp ICT.
- Rafael Muñoz : informaticien et président de FairSocialNet.
- Emmanuelle Germond : intermédiaire entre clients et développeurs dans des projets informatiques.
- Stéphane Lecorney : chef de Projet Ra&D au Media Engineering Institute de la HEIG-VD.
- Julien Zory : fondateur et Président d'Orbisfy.

Le comité remercie aussi les relecteurs et relectrices pour leurs contributions.

Enfin, nous remercions Alp ICT pour sa contribution dans la concrétisation de ce rapport ainsi qu'Estelle Brabant fondatrice de Maison Monochrome pour la mise en page et les illustrations du rapport.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME. (2019). La face cachée du numérique.
- ADEME. (2022). Evaluation de l'impact environnemental du Numérique en France.
- ARTE (Réalisateur). (2018). Câbles sous-marins, la guerre invisible. [Film].
- Bordage, F. (2019). *The environmental footprint of the digital world*. GreenIT.
- Chabanne, X. (2021). *Un seul cloud n'est plus suffisant pour les entreprises suisses*. Bilan.
- Chavanne, Y. (2020, October). *Efficacité énergétique élevée pour le datacenter de High DC à La-Chaux-de-Fonds*. Récupéré sur <https://www.ictjournal.ch/news/2020-10-08/efficacite-energetique-elevee-pour-le-datacenter-de-high-dc-a-la-chaux-de-fonds>
- Daniel Bizo, R. A. (2021). Uptime Institute Global Data Center Survey.
- Deloitte. (s.d.). Data centres in Switzerland - dynamic market awaiting consolidation. Récupéré sur [deloitte.com: https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/financialadvisory/articles/data-centres-in-switzerland.html](https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/financialadvisory/articles/data-centres-in-switzerland.html)
- Equinix. (2020). Equinix Sustainability Report . Redwood City, CA.
- ETHZ. (2020). Analyse der Digitalisierung in der Schweizer Wirtschaft. Récupéré sur <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/432882>
- ETHZ KOF. (2017). KOF Innovationsumfrage. Récupéré sur <https://kof.ethz.ch/umfragen/strukturumfragen/kof-innovationsumfrage.html>
- Fasan, R. (2021). Rechenzentren in der Schweiz - Bau und Ausbaupläne. Ittigen: EnergieSchweiz.
- Fischer, K. (2022, Feb). So sieht der Schweizer Markt für Rechenzentren aus. Récupéré sur <https://www.netzwoche.ch/news/2022-02-18/so-sieht-der-schweizer-markt-fuerrechenzentren-aus>
- Gloria Flik. (2021). Material Criticality for Future Telecommunication Technologies: Scenario Development and Supply Chain Resilience Strategies.
- GreenIT.fr. (2021). Benchmark Green IT : restitution 2021 et lancement 2022.
- Guillaume Pitron. (2018). La guerre des métaux rares.
- Guillaume Pitron. (2021). L'enfer numérique, voyage au bout d'un like. Les liens qui libèrent.
- IDC DataAge. (2018). IDC DataAge 2025 whitepaper.
- IEA. (2017). Digitalisation and Energy. Récupéré sur <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- IEA. (2021). Data Centres and Data Transmission Networks. Récupéré sur [iea.org: https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks](https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks)
- Infomaniak. (2021, November). Greenhouse gas balance: Infomaniak publishes its 2020 report. Récupéré sur <https://news.infomaniak.com/en/2020-greenhouse-gasbalance/>
- Institut du Numérique Responsable. (2021). MOOC. Récupéré sur <https://institutnr.org/>
- Jakob, M., Müller, J., & Altenburger, A. (2021). Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial. Ittigen: EnergieSchweiz - OFEN.
- Lees Persso, E., Vateau, C., & Domon, F. (2022). Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. ADEME.
- OFEN. (2021). La consommation d'électricité des centres de calcul en Suisse continuera d'augmenter.
- OFEV. (2022). Inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse. Récupéré sur <https://www.bafu.admin.ch/https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/etat/donnees/inventairegaz-effet-serre.html>