



Scénario de transition énergétique 2050.

**Secteur du bâtiment
Informatique, communication et
médias de divertissement**

Rapport technique

Mars 2021



Scénario de transition énergétique 2050.

Secteur du bâtiment

**Informatique, communication et médias de
divertissement**

Rapport technique

David Moreau
Flavio Principi
Emmanuel Ravalet

Réalisé sous mandat de négaWatt
Mobil'homme, Av. de Sévelin 28, 1004 Lausanne

Photo de couverture : David Moreau

Impressum

Moreau D., Principi F., Ravalet E., (2021). Scénario de transition énergétique 2050, Secteur du bâtiment – informatique, communication et médias de divertissement, rapport technique. Mobil’homme Sàrl, Lausanne (Suisse)

Profil du mandataire

Mobil’homme est un bureau de sciences sociales actif dans l’urbain et la mobilité, basé à Lausanne (Suisse). Il a été fondé en 2015 comme *spin off* du Laboratoire de sociologie urbaine (LaSUR) de l’École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Le bureau Mobil’homme a la particularité de regrouper dans son équipe pluridisciplinaire des chercheurs relevant d’une grande diversité disciplinaire : sociologue, anthropologue, urbaniste, géographe, économiste, historien, ingénieur. Cette richesse de compétences lui permet d’articuler des dispositifs méthodologiques variés et hautement innovants, tout en croisant des compétences qualitatives et quantitatives, sur des projets d’envergure. Ses membres continuent par ailleurs d’exercer une activité scientifique de pointe. Ce positionnement unique, mettant des chercheurs en activité au service de la recherche appliquée et de l’expertise de haut niveau, fait du bureau Mobil’homme le point de passage clé entre le monde académique et les besoins des collectivités et des prestataires privés.

www.mobilhomme.ch / info@mobilhomme.ch

MOBIL’HOMME Sàrl.
Études, recherches, expertises
Avenue de Sévelin 28
CH-1004 Lausanne

Sommaire

1	INTRODUCTION.....	9
2	METHODOLOGIE.....	10
2.1	Télévision	10
2.2	Ordinateurs et périphériques.....	10
2.3	Smartphones et téléphones.....	11
2.4	Autres consommations des ménages.....	11
2.5	Secteur tertiaire.....	11
3	FONCTIONNEMENT DU FICHIER EXCEL	12
3.1	Onglet input output principaux	12
3.2	Autres onglets.....	12
4	REVUE DE LITTERATURE.....	14
4.1	Télévisions.....	14
4.2	Ordinateurs et périphériques.....	15
4.3	Smartphones et téléphones.....	16
4.4	Décodeurs (Set-top box) et routeur.....	17
4.5	Informatique et médias de communication, secteur tertiaire.....	17
5	HYPOTHESES.....	21
5.1	Télévision	21
5.2	Ordinateurs et périphériques.....	21
5.3	Smartphones et téléphones.....	22
5.4	Décodeurs (Set-top box) et routeur.....	23
5.5	Informatique tertiaire	23
5.6	Echange et stockage de données	24
6	RESULTATS	25
7	DISCUSSION	27
8	CONCLUSION	29
9	REFERENCES	30

1 Introduction

L'informatique et les médias de divertissement ont une place particulière parmi les consommations d'électricité spécifique. Avec 6.2 PJ, il s'agissait de la deuxième sous-catégorie demandant le plus d'énergie en 2015 pour les ménages, derrière la réfrigération/congélation, auquel il faut rajouter les 4.5 PJ attribués au secteur tertiaire (OFEN 2020). De plus, l'impact potentiel sur les modes de vie semble important, ces technologies étant de plus en plus présentes et parfois même indispensables dans les ménages et au travail. La modélisation de l'évolution d'ici 2050 est extrêmement délicate pour ce secteur au vu de l'évolution rapide et imprévisible des usages et des technologies. Les pratiques et normes sociales changent très rapidement dans ce domaine et sont questionnées en permanence. Il n'y a par exemple pas de transmission intergénérationnelle des usages, comme cela peut être le cas pour d'autres activités telles que la préparation des repas ou le nettoyage (Sahakian et Bertho, 2018). Ce rapport se base donc sur des technologies existantes et sur les quelques évolutions d'efficacité prévues pour le moment, ainsi que sur certaines tendances dans les usages qui semblent se dessiner, tout en sachant qu'il s'agit là d'un chemin probable parmi tant d'autres. Les évolutions de technologie informatiques sont en effet très incertaines, même à court terme. Il serait donc peu prudent d'affirmer que ce scénario estime parfaitement les besoins en 2050. La comparaison avec un scénario tendanciel permet néanmoins d'illustrer la différence que les usages et l'efficacité pourraient apporter dans le futur.

Ce rapport se concentre donc sur l'évolution potentielle de plusieurs postes de consommations importants actuellement. Dans les ménages, l'utilisation de la télévision, des téléphones et de l'informatique (ordinateurs, tablettes, laptop), ainsi que les consommations dédiées (box TV et internet) sont estimées en y intégrant, dans le scénario négaWatt, des hypothèses de sobriété d'usage. Dans le secteur tertiaire, outre la consommation liée au matériel de bureau (ordinateurs, imprimantes, etc.), la consommation des centres de stockage et flux de données est particulièrement importante à analyser pour le futur, car cette demande en énergie cachée derrière nos comportements numériques présente un fort risque d'augmentation dans les prochaines années.

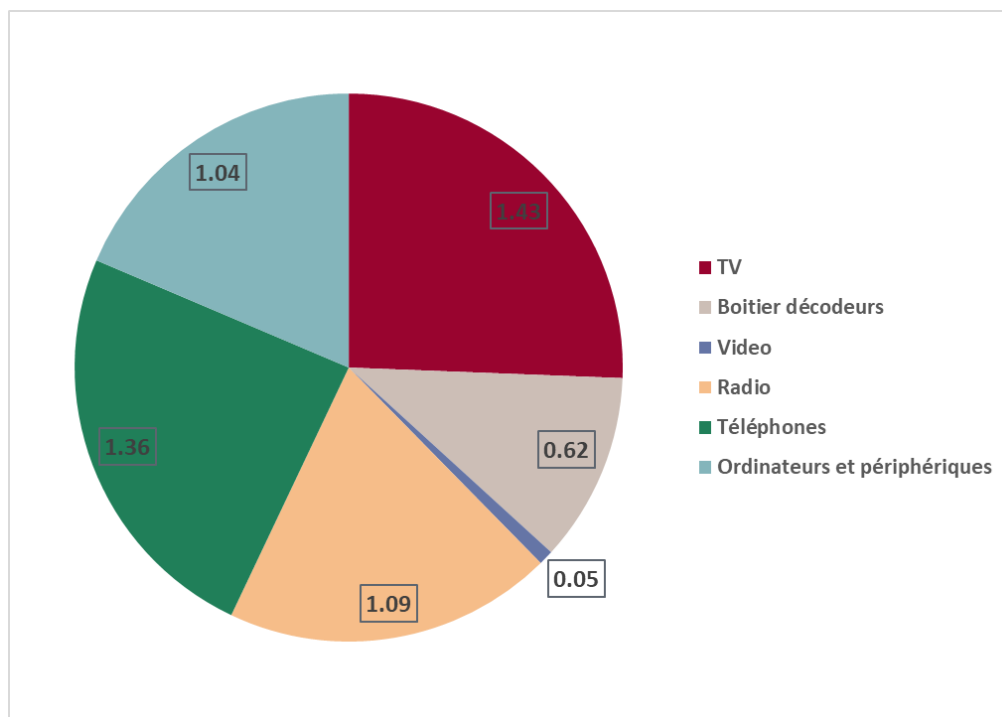


Figure 1: Consommation d'électricité finale pour l'informatique, la communication et les médias de divertissement des ménages en 2019, en PJ (OFEN 2020)

2 Méthodologie

2.1 Télévision

La consommation des téléviseurs est divisée en deux parties. Tout d'abord, la consommation d'utilisation par appareil est calculée en fonction de la taille des écrans, de leur efficacité estimée en puissance par unité de taille d'écran et de la durée d'utilisation :

$$Conso_{utilisation} = T_{utilisation} \cdot P_{utilisation} \cdot Taille$$

$T_{utilisation}$: durée d'utilisation [heures/jour].

$P_{utilisation}$: puissance par unité de surface [W/dm²].

$Taille$: taille des écrans [dm²].

Ensuite, la consommation de veille est calculée en fonction de la puissance consommée en mode veille et de la durée moyenne de veille quotidienne :

$$Conso_{veille} = P_{veille} \cdot T_{veille}$$

T_{veille} : durée de veille [heures/jour].

P_{veille} : puissance de veille [W].

La consommation totale en Suisse est estimée en additionnant ces deux besoins et en le multipliant par le nombre de télévisions dans le pays, obtenu par la multiplication d'un taux de possession et du nombre de ménages.

2.2 Ordinateurs et périphériques

Les ordinateurs sont divisés en trois catégories : les ordinateurs fixes, les laptops (ordinateurs portables) et les tablettes. Les variables à déterminer sont le nombre d'ordinateurs par ménage et la part de chaque type d'ordinateurs pour obtenir leur nombre total :

$$N_{ordi,i} = N_{ordiparménage} \cdot taux_i \cdot N_{ménages}$$

$N_{ordi,i}$: nombre d'ordinateur de type i (fixe, laptop ou tablette).

$N_{ordiparménage}$: nombre d'ordinateur par ménage, quel que soit son type.

$taux_i$: taux d'ordinateur de type i (fixe, laptop ou tablette) parmi tous les ordinateurs.

Puis, pour chaque type d'ordinateur, on obtient sa consommation en multipliant le nombre d'appareil par la consommation d'un appareil en 2015 et par des facteurs d'amélioration de l'efficacité, de variation de la taille et de luminosité des écrans, ainsi que par la durée d'utilisation quotidienne, ce qui donne :

$$Conso_{ordi,i} = N_{ordi,i} \cdot F_{eff,i} \cdot F_{durée,i} \cdot F_{taille,i} \cdot F_{lum,i} \cdot Conso_{2015,i} \cdot \dots$$

Tous ces facteurs sont calibrés à 1 en 2015 et la consommation est donnée en [kWh/appareil.an]. Pour chaque ordinateur fixe, un seul écran indépendant est considéré.

En plus des ordinateurs, la consommation des imprimantes entre dans cette catégorie. Leur consommation pour les ménages est estimée par la multiplication entre le taux de possession d'imprimantes dans les ménages et leur consommation annuelle.

2.3 Smartphones et téléphones

La consommation des smartphones est calculée de manière similaire à celle des ordinateurs, en considérant le nombre de smartphones dans la population, la consommation en 2015, un facteur d'amélioration de l'efficacité des appareils et un facteur d'augmentation de la durée d'utilisation par appareil, ce qui donne :

$$Conso_{smartphones} = N_{smartphones} \cdot F_{eff} \cdot F_{durée} \cdot Conso_{2015}$$

Où facteurs d'efficacité et de durée sont calibrés à 1 en 2015 et la consommation est donnée en [kWh/appareil.an].

En ce qui concerne la consommation des téléphones fixes, elle dépend du nombre d'appareils et d'un facteur de consommation annuel, de manière analogue aux imprimantes.

2.4 Autres consommations des ménages

La consommation des décodeurs et routeurs est calculée en multipliant le nombre de boîtier de chaque type dans les ménages et la consommation annuelle par type de boîtier.

En ce qui concerne les radios, leur consommation est supposée suivre les projections des scénarios de l'OFEN, selon les hypothèses NPE ou tendancielle pour respectivement les scénarios négaWatt et tendanciels, en ajustant selon le nombre de ménages.

Enfin, la consommation de la catégorie « vidéo » est en fort déclin depuis quelques années et ne représente même pas 0.05 PJ en 2020. Elle est négligée dans cette modélisation.

2.5 Secteur tertiaire

La consommation de l'informatique dans les commerces et activités tertiaires est calculée de la même manière que pour les ménages (section 2.2), en considérant des facteurs de durée, de taille d'écrans, de luminosité et d'amélioration de l'efficacité à partir de la consommation annuelle par appareil de l'année de base de 2015. Le nombre d'ordinateurs total est calculé en fonction du taux d'appareils par équivalent plein temps dans le secteur. Ils sont là aussi séparés entre les laptops, les fixes et les appareils légers de type tablette.

La consommation des imprimantes est également considérée, par un nombre total dans le secteur et une consommation unitaire annuelle.

Cependant, dans le secteur tertiaire, la consommation d'énergie pour le flux de données (infrastructure de réseau) et leur stockage (data centers) est également importante. L'énergie consommée en 2015 est déduite des statistiques énergétiques, en soustrayant la consommation des ordinateurs et imprimantes au total du secteur tertiaire. Elle est ensuite allouée entre les centres de données et les infrastructures de réseau en fonction de la consommation typique de ces deux sous-secteurs. L'évolution future dépend donc de cette consommation de base et de deux facteurs illustrant respectivement l'amélioration de l'efficacité et l'augmentation de l'usage.

3 Fonctionnement du fichier Excel

3.1 Onglet input output principaux

Comme pour les autres modèles, l'onglet input-output permet de faire varier les principaux indicateurs avec une visualisation des résultats. Il est constitué de sept zones représentées par la Figure 2.

1. **Input** : les valeurs qui s'y trouvent sont directement utilisées dans la modélisation.
2. **Suggestion d'input négaWatt** : une proposition d'un jeu de données, correspondant au scénario négaWatt, qui peut être entrée dans le modèle par un copier-coller dans la zone 1.
3. **Suggestion d'input tendanciel** : une proposition d'un jeu de données, correspondant au scénario tendanciel, qui peut être entrée dans le modèle par un copier-coller dans la zone 1.
4. **Output** : les valeurs qui s'y trouvent sont les résultats de la modélisation selon les données présentes dans la zone 1.
5. **Output négaWatt** : les résultats de la modélisation selon les données présentes dans la zone 2.
6. **Output tendanciel** : les résultats de la modélisation selon les données présentes dans la zone 3.
7. **Données informatives** : les données présentes sont proposées à titre informatif. Il peut s'agir de statistiques nationales ou de résultats d'autres modélisations. Cette zone n'est pas systématiquement présente dans les fichiers Excel.

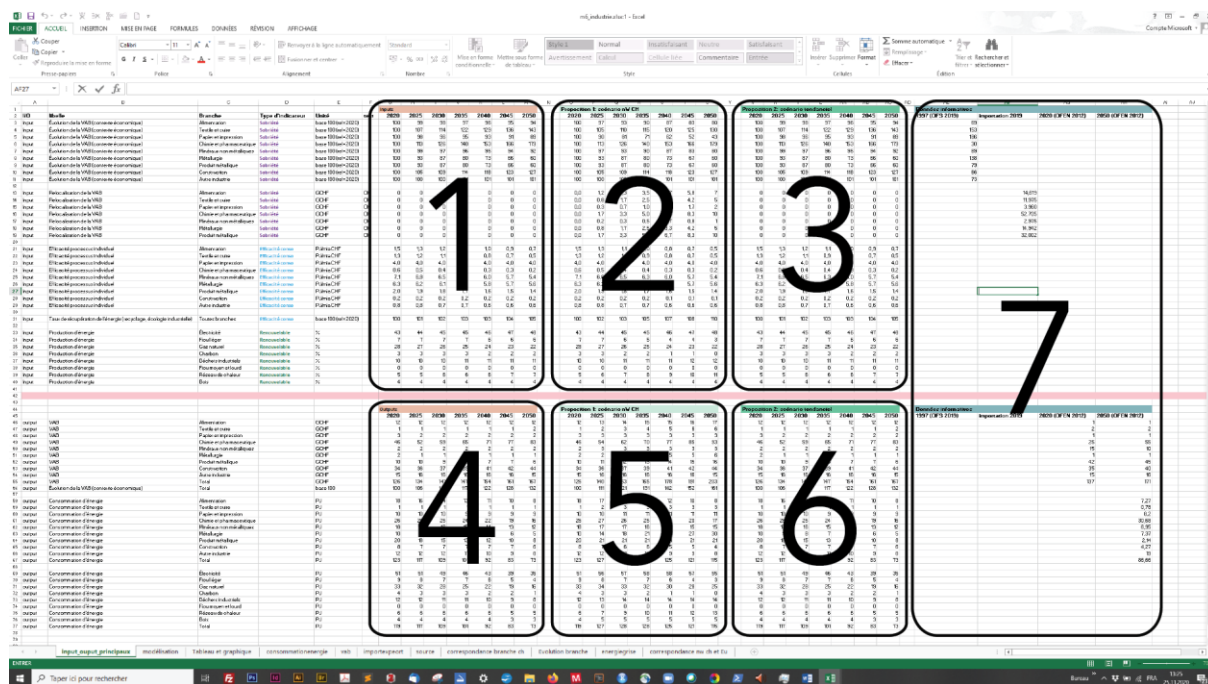


Figure 2 : Onglet Input_output principaux constitué de 7 zones permettant de faire varier les principaux indicateurs de la modélisation négaWatt (provenant du modèle « industrie »)

3.2 Autres onglets

En plus de l'onglet principal commun à tous les micro-modèles, le fichier Excel de l'informatique comprend les onglets suivants :

- **Input_secondaires** : construit de la même manière que l'onglet « inputs_outputs_principaux », mais présente des indicateurs secondaires du scénario négaWatt pour permettre plus de clarté dans le premier onglet.
- **Impact_nW** : cet onglet met en avant l'impact de chacun des piliers de l'approche négaWatt (sobriété, efficacité et énergies renouvelables). Il regroupe également des données utiles pour les différentes figures utilisées dans ce rapport.
- **Ménages, Tertiaire, Réseaux et centres de données** : les calculs pour ces différents thèmes sont faits dans ces onglets. Les valeurs d'entrée sont celle de la zone 1 sur la Figure 2 et les résultats sont ensuite affichés dans la zone 4 de la Figure 2.
- **Données** : certaines données utiles à la modélisation et tirées des différentes sources sont présentes dans cet onglet, pour que les onglets de calculs soient moins chargés.
- **Sources** : les sources utiles à la modélisation et à la définition des hypothèses utilisées dans ce fichier Excel sont présentées dans cet onglet.

4 Revue de littérature

4.1 Télévisions

Un premier élément clé pour la consommation des téléviseurs est la durée d'utilisation. En comparaison internationale, la durée d'utilisation de la télévision en Suisse semble basse. Selon les données de l'OFS (2017), 43% de la population suisse passait moins d'une heure par jour devant la télévision en 2014-15, une part bien supérieure à celles des autres pays étudiés. A l'inverse, seul 7.2% de la population regarde la télévision pendant plus de trois heures, alors que cette part dépasse les 20% dans plusieurs autres pays. D'autres données de l'OFS permettent de se rendre compte que le nombre de minutes devant la télévision en Suisse est en diminution depuis 2009-2010, passant de 148 minutes en 2009 à 119 minutes en 2019. Une baisse est constatée dans presque toutes les catégories de la population. La consommation est spécialement haute chez les 60 ans et plus qui dépassent les 200 minutes, alors que les jeunes en dessous de 30 ans regardent la télévision moins de 45 minutes par jour (sauf en Suisse italienne, où la durée pour cette catégorie d'âge est proche d'une heure) (OFS, 2020a).

En plus de cette tendance à la baisse, l'arrivée de plateformes VOD (vidéo à la demande) et de streaming change la manière de regarder des films et séries. Dans le futur, la télévision traditionnelle et les plateformes de vidéos sur demande devraient coexister, ces dernières devenant peu à peu usuelles dans toutes les catégories de la population, tandis que la télévision linéaire garderait de l'importance, notamment dans la diffusion d'événements en direct (Deloitte, 2018). En Suisse, le temps de télévision serait de 2h35 en additionnant la télévision linéaire et la vidéo sur demande (Kemp, 2020), ce qui suggérerait une utilisation moyenne d'une trentaine de minute pour les services de streaming au vu des chiffres de l'OFS (2020a). Il faut encore ajouter à cela un temps d'utilisation de consoles de jeux, qui serait en moyenne de 30 minutes quotidiennes (négaWatt, 2018 ; Kemp, 2020). Il est à noter que la durée d'utilisation discutée jusqu'ici est considérée par personne et non par appareil. Plusieurs personnes dans un même ménage peuvent regarder la télévision en même temps. Dans le rapport de l'OFEN (2019), une durée de 3.5 heures par appareil est considérée. Les étiquettes énergies se basent plutôt sur 4 heures journalières.

Finalement, l'utilisation des téléviseurs pourrait être rendue obsolète par d'autres supports. Il est en effet maintenant possible de regarder la télévision linéaire ou les services de VOD sur un ordinateur, une tablette ou son smartphone. La télévision occupe cependant encore un point central dans le foyer en étant un vecteur de détente rythmant les soirées en famille. Le premier support reste le téléviseur, même chez les « millénials ». Plus de la moitié la regarde cependant également depuis un ordinateur ou un smartphone, ce qui montre un usage multi-appareil de cette génération. Les services de VOD se font également majoritairement (73% du temps) sur les téléviseurs (SNPTV, 2020).

En ce qui concerne les taux de possession, les statistiques énergétiques de l'OFEN (2020) permettent de constater une légère baisse sur les dernières années pour atteindre 1.15 postes par ménage en 2018. Le scénario négaWatt France prévoit un retour à 1 appareil par ménage pour 2050 (négaWatt, 2018).

La consommation des téléviseurs est fortement dépendante de la taille des écrans et la tendance est à l'augmentation (Toulouse et al., 2018). Une comparaison des ventes entre 2010 et 2018 permet de constater cette hausse (Swico, 2019). Le constat est repris dans le scénario négaWatt France, qui augmente la diagonale des écrans de 25% d'ici 2050 dans son scénario tendanciel (négaWatt, 2018 et communication personnelle avec les auteurs) et la Commission Européenne, qui prévoit de passer d'une surface moyenne de 43 dm² en 2015 à 123 dm² en 2050 (European Commission, 2019). En Suisse, les nouveaux appareils vendus en 2018 avaient une surface de 64 dm², ce qui correspond environ à 118 cm ou 46.1" de diagonale (OFEN, 2019).

Pour un standard de 4 heures d'utilisation par jour, la consommation d'un écran de 65 pouces A++ se situe entre 100 et 120 kWh/an, alors qu'un écran d'une catégorie de consommation inférieure (A+) mais plus petit (49-50 pouces) consomme entre 85 et 93 kWh/an. Le type de résolution joue aussi un rôle, les écrans full HD consommant un peu moins que les 4K ultra HD pour la même taille et la même classe énergétique. Parmi les meilleurs écrans, les Full HD de 43 pouces de classe A++ ne consomment par exemple que 50 kWh/an. Au contraire, des écrans de catégorie B d'une diagonale de 55 pouces peuvent monter jusqu'à 200 kWh/an, et les très grands écrans peuvent facilement dépasser les 300 kWh/an (compareco, 2020). La Commission Européenne (2019) estime à 3 W/dm² la puissance nécessaire pour les téléviseurs de 2015 et considère une amélioration de l'efficacité permettant d'atteindre entre 0.5 et 0.4 W/dm² d'ici 2050.

De plus, la consommation des téléviseurs peut être influencée par une luminosité plus adaptée (potentiel de -10% selon Toulouse et al., 2018) et l'utilisation du mode veille.

Dans les ménages, la consommation des téléviseurs représentait 1.7 PJ en 2015 et est en baisse sur les dernières années (1.5 PJ en 2018). La consommation par appareil, obtenue en divisant les besoins totaux par le nombre d'appareils, se montait à 112.5 kWh/appareil en 2015 (98.2 kWh en 2018) (OFEN 2020). La taille est évidemment un facteur déterminant : les nouveaux appareils de moins de 35'' consomment en moyenne 68 kWh/an, contre 145 kWh/an pour les appareils ayant une diagonale plus importante.

4.2 Ordinateurs et périphériques

Les ordinateurs sont séparés en trois catégories : les ordinateurs fixes, les laptops et les tablettes. Pour Toulouse et al. (2018), une utilisation plus importante d'appareils plus petits (laptops, tablette) ou celle du « cloud computing » permettrait de réduire la consommation d'énergie liée à l'utilisation des ordinateurs¹. En effet, selon l'OFEN (2019), la consommation moyenne des appareils existants en 2018 serait de 70 kWh pour les fixes, 20 kWh pour les laptops et 5 kWh pour les tablettes, même s'il est précisé que la méthode d'estimation pourrait sous-évaluer quelque peu ces valeurs. La Commission Européenne (2019) obtient les mêmes ordres de grandeur et prévoit des améliorations pour 2050 : 38 kWh pour les fixes, 10 kWh pour les laptops et 3 kWh pour les tablettes. La labélisation énergétique est cependant difficile au vu de l'évolution technologique rapide et de la multitude de réglages possibles avec au final des consommations énergétiques très différentes (Commission Européenne, 2018). The Shift Project (2018) considère une consommation moyenne de 60 kWh/appareil pour les ordinateurs fixes, laptops et écrans combinés, constant sur la période 2015-2025. Les tablettes consomment près de 20 kWh/an dans ces estimations.

Selon les statistiques énergétiques de l'OFEN (2020), le nombre d'appareils (fixes, laptops et tablettes) est de 8.66 millions en Suisse, soit un taux de possession de 2.32 par ménage. Cependant, la forte hausse du début du siècle s'est ralentie depuis 2015-16, quand le nombre d'appareil a atteint la barre approximative de 1 par personne. Les statistiques d'équipement des ménages de l'OFS (2020b) permettent de constater que les ordinateurs fixes sont approximativement 3.3 fois moins nombreux que les ordinateurs portables dans les ménages. Quant aux tablettes, le marché est en déclin depuis 2014. Leur stock s'élèverait à 3.88 millions en 2018, résidentiel et tertiaire confondus (OFEN 2019). Pour l'évolution des stocks futurs, la Commission Européenne (2019) considère une nette augmentation du stock de tablettes (et « Slate computers ») par rapport aux laptops et ordinateurs fixes. Le scénario négaWatt France (2018) considère une baisse de 75% de la puissance moyenne des ordinateurs grâce à la poursuite de la tendance à la disparition des fixes au profit des tablettes et laptops, y compris dans

¹ La consommation d'énergie liée au « cloud computing » n'est pas prise en compte directement ici, car nous prenons ici uniquement en compte l'énergie des appareils consommée directement dans le ménage. Il serait cependant erroné de suggérer une utilisation plus importante de cette technologie 'cloud', qui consomme en fait de l'énergie ailleurs et dont le bilan global n'est, dès lors, pas forcément positif.

leur scénario tendanciel, illustrant l'importance du choix de l'appareil comme première mesure de sobriété.

Un autre aspect de sobriété pourrait venir de la durée d'utilisation, mais semble très difficile à influencer au vu de la tendance à la digitalisation de la société et l'effet addictif et intrusif de ces technologies (Toulouse et al. 2018 ; Bertho et al. 2018). Le scénario négaWatt France considère une durée de deux heures par jour actuellement. Le télétravail et les loisirs numériques font doubler ce temps à l'horizon 2050 dans un scénario tendanciel, alors que la hausse est un peu plus modérée dans le scénario « zéro émissions nettes » (+75%). Comme pour les télévisions, des gains énergétiques pourraient provenir d'une meilleure utilisation du mode veille, ou encore du fait d'éteindre l'appareils lorsque l'utilisateur n'est pas directement présent devant (Toulouse et al., 2018).

Parmi les périphériques utilisés avec les ordinateurs, les écrans pour ordinateurs fixes consomment également une part non-négligeable d'énergie, soit environ 23 kWh/an (OFEN 2019). Comme pour les téléviseurs, leur taille est en augmentation. Selon la Commission Européenne (2019), elle pourrait passer de 15 dm² en 2015 à 29 dm² en 2050.

Enfin, la catégorie de l'OFEN « computer/périphérie » comprend également les imprimantes. Elles consomment en moyenne 19 kWh/an en 2018 (OFEN 2019). 66.9% des ménages en possédait une en 2016, et 4.2% deux (OFS, 2020b).

4.3 Smartphones et téléphones

En Suisse, en 2016, 96.7% des ménages possédaient au moins un téléphone portable (OFS, 2020b). Parmi les utilisateurs d'internet entre 16 et 64 ans, 95% possèdent un smartphone, et 7.33 millions de personnes utilisent leur téléphone pour se connecter à internet (Kemp, 2020). Le nombre d'utilisateur est du même ordre de grandeur selon les statistiques rapportées par Statista (2020), qui prévoit une augmentation jusqu'à 8.25 millions de possesseurs de smartphones en 2024 grâce à une augmentation forte chez les personnes de plus de 55 ans.

Les utilisateurs de smartphones de 16 à 64 ans passent en moyenne 2h12 sur internet depuis leur téléphone. 49% de ces utilisateurs utilisent également leur smartphone pour des jeux. Les réseaux sociaux et services de messagerie sont une part importante de cette utilisation, utilisés par 91% et 93% des utilisateurs. D'autres services, tels que le visionnage de la télévision ou de vidéos, le shopping ou encore l'écoute de musique, sont largement répandus dans les usages des smartphones (Kemp, 2020). Selon un article de Vox, les américains passent en moyenne 3h30 par jour sur leur téléphone, une durée qui augmente rapidement d'année en année. Les activités de socialisation ou d'information (lecture de journaux, regarder la télévision) se font de plus en plus en ligne, ce qui accroît logiquement l'usage des smartphones. L'usage est aussi très fractionné : les utilisateurs regardent leur téléphone plus d'une cinquantaine de fois dans la journée, la plupart du temps pendant moins de deux minutes (Molla, 2020). L'augmentation de la durée d'utilisation peut également s'expliquer par un usage multiple des technologies. 75% des Français regarderaient par exemple leur smartphone, alors qu'ils regardent également la télévision (Micheau, 2017).

En termes de consommation d'énergie, la brochure de SuisseEnergie sur l'énergie des ménages estime à 5kWh/an et par appareil les besoins en énergie pour les recharges quotidiennes (SuisseEnergie, 2018). Selon l'intensité de l'utilisation, la consommation électrique directe des smartphones peut aller de 2.58 à 7.74 kWh/an (Ercan et al., 2016). Les données de The Shift Project partent d'une consommation de 6 kWh/an en 2015, qui passe à 8 kWh/an en 2025. En effet, le nombre de fonctionnalités augmente, ce qui induit un effet rebond : le nombre de recharges est similaire, mais la puissance des batteries augmente (The Shift Project).

La consommation des téléphones fixes peut également être estimée par le rapport de la Commission Européenne (2019), qui se base sur une durée de 2h/jour en mode « on » et 22h/jour en mode veille

et des puissances de 4W et 3W, respectivement. Cette estimation donne un besoin électrique de 27 kWh par an et par appareil.

De manière globale, en Suisse, la catégorie « téléphone » a consommé 1.25 PJ en 2015, une consommation en légère augmentation ces dernières années et qui atteint 1.34 PJ en 2018. Cette catégorie comprend les téléphones fixes, mais également les routeurs (voir section suivante).

4.4 Décodeurs (Set-top box) et routeur

Selon l'OFEN (2019), les décodeurs comprennent les boîtiers pour le satellite et le câble, et les boîtiers pour la réception terrestre (numérique). La vente de ces appareils a fortement augmenté avec la TV numérique. Des télévisions de nouvelle génération ont un décodeur intégré, mais il est parfois encore nécessaire d'avoir un boîtier pour profiter de l'offre des fournisseurs (Swisscom TV, Sunrise TV, etc.). Selon des réglementations énergétiques, les décodeurs doivent maintenant avoir une fonction de « auto-power-down », permettant d'éviter les consommations inutiles. Une utilisation de 4.5 heures en mode on et 15 heures en mode veille est estimée. La consommation des nouveaux appareils de 2018 était de 45 kWh/an, contre 57 kWh/an l'année précédente. Le stock de ces appareils a demandé 202 millions de kWh en 2017 selon cette même source, soit 0.72 PJ, une consommation un peu supérieure à celle donnée par les statistiques énergétiques de l'OFEN (2020) qui estiment à 0.65 PJ/an la consommation en 2015-17.

Le stock de décodeurs et de téléviseurs est d'environ 3,1 millions d'appareils selon l'OFEN (2019), ce chiffre comprenant certainement les téléviseurs avec décodeur intégré. L'OFS (2020b) estime à 58.3% le nombre de ménages avec au moins un décodeur en 2016, ce qui donnerait 2.2 millions d'appareils.

La Commission Européenne (2019) a également estimé les consommations des Set-top box, en différenciant selon les appareils simples et complexes. Le stock ECO correspond approximativement à la consommation unitaire rapportée par l'OFEN, avec 18.5 kWh/an pour les décodeurs simples et 77 kWh/an pour les décodeurs complexes, pour un stock composé approximativement de 70% de décodeurs complexes. Selon cette même source, les décodeurs simples vont disparaître dès 2025, la consommation se rapportant dès lors à celle des décodeurs complexes, soit 68 kWh/an jusqu'en 2050.

Selon l'OFEN (2019), les routeurs ont consommé 1.14 PJ en 2018, soit une consommation moyenne de 88.1 kWh/appareil. 3.61 millions d'appareils sont présents en Suisse, ce qui représente 97% du nombre de ménages. La Commission Européenne, dans son rapport de 2019, se base sur une durée d'utilisation journalière de 7 heures en mode « on » et 17 heures en mode « idle » dès 2020, pour une consommation moyenne allant de 73 kWh/appareil en 2015 à 17.5 kWh/appareil en 2050.

Dans le scénario négaWatt, les deux types d'appareils sont comptabilisés ensemble. Leur taux de possession est de 160% en 2015 et reste constant dans le scénario tendanciel, alors qu'il n'est plus dans le scénario négaWatt que d'un appareil par ménage en 2050 grâce à un boîtier unique intégré. La consommation est estimée à 120 kWh/an en 2015 et augmente jusqu'à 145 kWh/an dans le scénario négaWatt et 153 kWh/an dans le scénario tendanciel (négaWatt, 2018 et échanges avec les auteurs).

4.5 Informatique et médias de communication, secteur tertiaire

Le secteur tertiaire consommait 4.5 PJ d'électricité pour l'informatique et les médias de divertissement en 2015, un chiffre en très légère augmentation sur les dernières années (4.59 PJ en 2018, selon OFEN, 2020). Contrairement au secteur des ménages, aucun autre détail n'est donné quant à la composition de cette catégorie. Il est simplement indiqué que la consommation de l'informatique de bureau, les centres de calcul et les infrastructures sont incluses dans cette consommation, alors que la consommation d'énergie pour le refroidissement (externe) des serveurs dans les centres de données s'ajoute à la catégorie « climatisation, ventilation et gestion des bâtiments ». Les perspectives énergétiques de l'OFEN (2012) considèrent une augmentation de cette consommation pour atteindre

6.1 PJ en 2050 dans leur scénario tendanciel, alors que le scénario « nouvelle politique énergétique » permet une légère baisse jusqu'à 3.4 PJ en 2050.

Le dashboard négaWatt Europe, qui sert de base de modélisation commune pour tous les scénarios négaWatt développés en ce moment dans différents pays, demande deux facteurs pour l'informatique tertiaire : la durée d'utilisation des ordinateurs (fixes, laptops et écrans) et leur efficacité énergétique, en base 100 pour l'année de référence (2015), ainsi que la consommation annuelle globale (en TWh). Le même type d'indicateurs est demandé pour les serveurs (d'entreprise ou data center), ainsi qu'un indicateur global de consommation énergétique du réseau de télécommunication. Ce rapport va donc s'employer à remplir ces indicateurs spécifiques.

Selon une étude menée auprès de 13'000 entreprises suisses en 2018 (ayant au moins 30 employés et 10 PC's), le nombre d'ordinateur par employé est de 0.92, tous secteurs confondus. En se restreignant aux entreprises du secteur tertiaire, la moyenne est un peu plus élevée, mais avec une certaine variation (0.79 pour les purs services, 0.92 dans le commerce, 1.08 dans l'administration, service public, santé et enseignement, 1.16 dans l'informatique, 1.30 dans la finance). Les différentes parts de marchés sont de 37.8% pour les laptops, 37% pour les ordinateurs fixes, 17.1% pour les tablettes et 8.1% pour les thin client (machines virtuelles) (Maurer, 2019). En 2015-17, 63% des employés du secteur tertiaire utilisaient un ordinateur pour leur travail et 22% des entreprises tertiaires utilisaient un système de cloud computing. Cette dernière statistique est proche de celles de plusieurs autres pays européens, mais assez loin de la part de cloud computing des entreprises des pays nordiques, qui se situe au-dessus des 50% (OFS, 2020c).

Le scénario négaWatt France (2018) considère une légère augmentation du nombre d'ordinateurs par mètre carré entre 2015 et 2050 (+7.9%) dans le scénario tendanciel, et une baisse dans la version négaWatt (-23.4%). Dans les deux cas, la part d'ordinateurs fixes diminue fortement : partant de 55% en 2015, à 23% dans le scénario tendanciel et même 13% dans le scénario négaWatt pour l'année 2050. Comme pour les ménages, les ordinateurs fixes sont peu à peu remplacés par des laptops et des appareils plus petits, tels que les tablettes.

Selon l'OFEN (2019), les nouveaux ordinateurs consomment annuellement presque la même quantité d'énergie pour un usage commercial que pour un usage privé dans les ménages (64 kWh contre 67kWh pour les ordinateurs fixes, 18 kWh contre 20 kWh pour les laptops, 22 kWh contre 23 kWh pour les écrans).

En ce qui concerne les centres de données, leur évolution de consommation énergétique dépend des améliorations d'efficacité (PUE soit Power Usage Effectiveness, taux d'utilisation des serveurs, etc.) mais aussi d'une augmentation potentiellement forte des usages. Ces aspects, tous deux incertains, rendent ces besoins futurs difficiles à estimer. Les études sur le sujet ne sont cependant pas très optimistes quant à la capacité des progrès technologiques à contrebalancer la croissance des volumes (The Shift Project, 2018).

En Suisse, la consommation des centres de données représenterait entre 7 et 8% de l'électricité finale globale, et pourrait augmenter considérablement (jusqu'à 50% en 2035) dans les prochaines années si rien n'est entrepris (Seydtaghia, 2020). En 2015, selon un rapport du Conseil Fédéral, les centres de calcul externes aux entreprises représenteraient 1'104 GWh (soit 3.97 PJ). Environ un tiers de cette consommation pourrait être évitée par des mesures d'efficacité, selon ce même rapport (Conseil Fédéral, 2015). L'un des principaux indicateurs de cette efficacité est le PUE défini comme le rapport entre la consommation électrique totale du centre de calcul et la consommation propre des composants IT (serveurs, cluster, unités de stockage, composants de communication) (Conseil Fédéral, 2015). Les centres de données de Google, qui sont très efficaces de ce point de vue, ont un PUE de 1.1 en 2020 (Google, 2020). Grâce à des astuces énergétiques (free cooling, température acceptée plus haute, altitude des emplacements, etc), le PUE actuel des serveurs en Suisse romande varie entre 1.1 et 1.4 (Hiard, 2019 ; Infomaniak, 2020).

En ce qui concerne le trafic de données, le volume transféré a doublé en Suisse tous les 12 à 18 mois depuis l'introduction des smartphones en 2007. La croissance ne devrait pas faiblir durant les prochaines années, notamment avec la diffusion de la 5G et ses applications concrètes telles que l'internet des objets (« Internet of Things »). L'augmentation attendue d'ici 2024 est de 500% en Europe occidentale (DETEC, 2019). En revanche, les communications téléphoniques semblent sur le déclin. En effet, on constate une réduction assez forte de la durée totale des communications entre 2018 et 2019 (-18.4%), alors qu'elle s'était stabilisée à partir de 2016 (OFCOM, 2020).

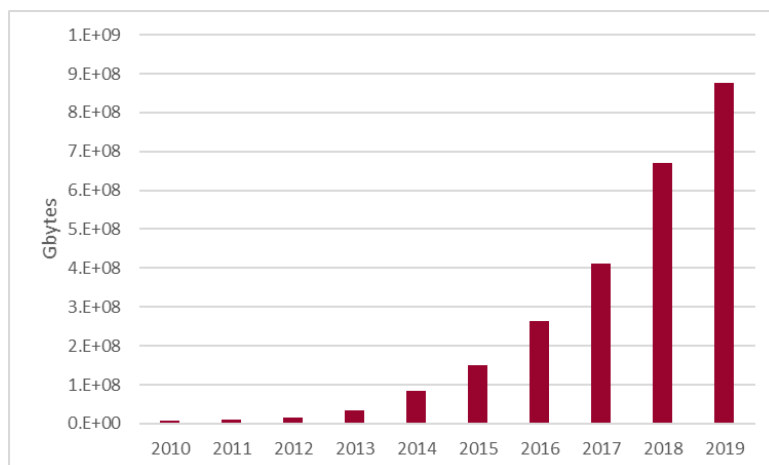


Figure 3 : Accès à internet large bande sur réseaux mobiles, Volume total des données transférées (en Gbytes) (OFCOM, 2020).

The Shift Project (2018) estime par exemple les données transmises pour l'envoi d'un mail (1 Mo) et regarder une vidéo de 10 minutes (170 Mo en 1080p). L'impact des data center (7.20E-11 kWh/byte), et des infrastructures de réseau (entre 0.152 et 0.884 kWh/Gbyte selon la technologie utilisée) y est également estimé. L'évolution future de ces intensités énergétiques est exposée notamment dans un article de Andrae et Edler (2015). On constate une certaine incertitude dans les ordres de grandeur, déjà dans un futur proche (Tableau 1).

Intensité électrique des réseaux et centres de données	2010	2020	2030
FAN wired	0.5	0.11-0.28	0.061-0.17
FAN Wi-Fi	0.36	0.07-0.17	0.014-0.1
WAN	6-15	0.047-1.04	0.002-0.048
Data centers	0.13-0.14	0.027-0.085	0.014-0.051

Tableau 1 : Consommation par GB de données transférées et stockées dans des centres de données (Andrae et Edler, 2015)

En Suisse, selon les propos du CEO d'Infomaniak, il faut compter 96 Wh/an pour stocker 1 Go de données actives (pouvant être sollicitées en permanence) et 16 Wh pour un Go de données passives (telles que des archives photo consultées quelques fois dans l'année). Il y a cinq ans, il fallait compter environ 1,220 Wh pour un Go actif et 80Wh pour un Go passif, ce qui montre l'amélioration récente de ces technologies (Studer, 2018).

De manière générale, la sobriété numérique a clairement sa place pour éviter une explosion de la consommation d'électricité pendant les prochaines années. Beaucoup de gens ne font pas attention à limiter leurs emails, réduire la taille des pièces jointes ou éviter les téléchargements et synchronisation inutiles. De plus, la disponibilité 24/7 des serveurs et leur faible taux d'utilisation actuel laissent un immense potentiel d'économies d'énergie (près de 40%, selon Toulouse et al. 2018). L'utilisation de services de partages de documents plutôt que l'envoi par mail est par exemple suggéré par The Shift Project (2018) comme une mesure active pour réduire le nombre de fichiers stockés et envoyés, et ainsi le nombre de serveurs nécessaires. Cependant, le sentiment d'immatérialité, d'immédiateté, de

facilité, ainsi qu'un manque de sensibilisation aux impacts énergétiques et environnementaux sont des barrières fortes à l'adoption de la sobriété dans le numérique. (Toulouse et *al.*, 2018).

5 Hypothèses

Pour tous les indicateurs, deux scénarios sont proposés, l'un négaWatt et l'autre tendanciel, afin de pouvoir mettre en avant l'impact des trois piliers de la démarche négaWatt. Les hypothèses sont posées à partir de la revue de littérature qui précède.

5.1 Télévision

La consommation de 2015 est fixée grâce aux données de l'OFEN (2020) et au dashboard négaWatt Europe à 109 kWh/appareil/an. En ce qui concerne le taux de possession, la valeur de 2015 est tirée des statistiques de l'OFEN (2020), soit 1.18 appareils par ménage. Celle de 2020 est estimée à 1.15 appareils grâce à la tendance constatée dans cette même source. Puis, le taux d'appareil continue cette baisse pour se stabiliser à 1 appareil par ménage en 2050 (négaWatt, 2018). Le scénario tendanciel garde la valeur de 2020 constante durant toute la période.

Dans le scénario tendanciel, la durée d'utilisation par appareil des téléviseurs reste constante à 3.5 heures minutes par jour sur toute la période (OFEN 2019), la baisse de la demande pour la télévision linéaire étant compensée par les services de VOD et les jeux vidéo. Dans le scénario négaWatt, l'usage se déplace en partie vers d'autres plateformes et est légèrement plus modéré, ce qui permet de réduire de 25% la durée d'utilisation d'ici 2050.

La taille moyenne des écrans est reprise des prévisions de la Commission Européenne (2019) dans le scénario tendanciel, à savoir 43 dm² en 2015, 51 dm² en 2020 et 123 dm² en 2050. Dans le scénario négaWatt, l'augmentation est stoppée au niveau des ventes actuelles, à savoir 60 dm² (OFEN, 2019), atteints dès 2025-2030. L'efficacité des téléviseurs, en W/dm², est ajustée pour correspondre à la consommation réelle de 2015 et estimée de 2020 (OFEN 2020). Ensuite, l'évolution suit les prévisions de la Commission Européenne (2019) : le scénario de stocks BAU pour tendanciel et ECO pour négaWatt. Dans le scénario négaWatt, une réduction supplémentaire de 10% est atteinte en 2050 grâce à l'adaptation de la luminosité (Toulouse et al., 2018).

Enfin, la durée du mode veille est reprise des projections de la Commission Européenne (2019). La consommation actuelle est estimée pour correspondre approximativement à 5% du total (energyscope, 2020). Toujours suivant la Commission Européenne, la consommation en veille pourrait augmenter avec les télévisions connectées, ce qui est le cas dans le scénario tendanciel de ce rapport.

Hypothèses télévision (ménages)	2015	2050 nW	2050 tendanciel
Nombre d'appareils par ménage	1.18	1	1.15
Durée d'utilisation [heures/jour]	3.5	2.63	3.5
Efficacité TV [W/dm ²]	1.9	0.4	0.5
Taille des écrans [dm ²]	43	60	123
Puissance stand-by [W]	1.5	1.5	2.4
Durée stand-by [heures/jour]	10	8	10
Facteur de luminosité (2015=1)	1	0.9	1

Tableau 2 : Hypothèses des scénarios négaWatt et tendanciel pour les télévisions des ménages.

5.2 Ordinateurs et périphériques

La consommation annuelle des ordinateurs fixes, des laptops, des tablettes, des écrans et des imprimantes est reprise des estimations du stock de l'OFEN (2019) et majorée pour avoir une estimation de l'état à l'année 2015, l'amélioration d'efficacité étant forte dans cette période (Commission Européenne, 2019). La consommation d'énergie totale des ordinateurs et périphériques de l'année 2015 était de 1.4 PJ, avec un nombre de 2.21 appareils présents par ménage (OFEN 2020). Les besoins des imprimantes sont soustraits à ce total, en considérant leur nombre dans les ménages

selon l'OFS (2020b). Grâce à cette même source, il est estimé que le nombre de laptops dans les ménages est 3.3 fois plus important que le nombre de fixes. Il est également fait l'hypothèse que le nombre d'écrans correspond au nombre d'ordinateurs fixes. En combinant ces différentes informations, il est possible d'obtenir le taux initial de possession des différents types d'appareils en 2015.

Les hypothèses de durée d'utilisation sont reprises du scénario négaWatt France (2018), à savoir un passage de 2h/jour à 3.8h dans l'option tendancielle et 3.5h dans l'option sobriété. Le fait d'éteindre l'ordinateur lorsqu'il n'est pas nécessaire, est une mesure de réduction de la durée pouvant se mettre en place sans altérer la tendance à l'augmentation des usages de l'informatique. Quant aux améliorations de l'efficacité énergétique, elles suivent, en pourcentage, les prévisions de la Commission Européenne (2019) dans le scénario tendanciel. La réduction est de 70-75% selon les PC/laptops/tablettes en 2025, puis est constante jusqu'en 2050. Dans le scénario négaWatt, l'amélioration de l'efficacité continue après 2025 et permet de gagner 10% supplémentaires en 2050.

Finalement, en ce qui concerne les imprimantes, une amélioration forte de leur efficacité est supposée dans le scénario négaWatt, puisqu'elles ne consomment plus que 4 kWh/appareil.an en 2050, suivant là aussi les meilleurs scénarios de la Commission Européenne. Leur taux de possession est aussi diminué dans ce scénario, il passe de 0.71 imprimante/ménage en 2015 à 0.5 en 2050.

Hypothèses de consommation annuelle	2015
Consommation ordi fixes [kWh]	93.33
Consommation laptops [kWh]	22.67
Consommation tablettes [kWh]	6.67
Consommation écrans [kWh]	25.56
Consommation imprimante [kWh]	19

Tableau 3 : Consommation annuelle des différents types d'ordinateurs et des imprimantes pour l'année 2015 [kWh/appareil.an].

Hypothèses d'évolution (ordinateurs, ménages)	2015	2050 nW	2050 tendanciel
Nombre d'appareils par ménage	2.21	2.35	2.35
dont ordinateurs fixes	20%	5%	10%
dont tablettes	13%	48%	20%
Taille des écrans [dm ²]	43	60	123
Durée d'utilisation [heures/jour]	2	3.5	3.8
Facteur de consommation ordinateur fixe (2015=1)	1.00	0.19	0.29
Facteur de consommation laptop (2015=1)	1.00	0.15	0.25
Facteur de consommation tablette (2015=1)	1.00	0.17	0.27
Facteur de consommation écrans (2015=1)	1.00	0.16	0.21
Facteur taille écran PC (2015=1)	1.00	1.49	2.15
Facteur de luminosité (2015=1)	1	0.9	1

Tableau 4 : Hypothèses des scénarios négaWatt et tendanciel : l'évolution des ordinateurs (fixes, laptops et tablettes) des ménages

5.3 Smartphones et téléphones

La consommation d'électricité pour les smartphones est basée sur le taux de possession, la consommation estimée en 2015 et des facteurs d'utilisation (durée) et d'amélioration de l'efficacité. La consommation des téléphones fixes se base simplement sur le nombre d'appareils et leur consommation spécifique.

Le nombre de smartphones de 2015 est estimé à 1.8 par ménage, soit environ 0.81 par personne (OFS, 2020b). En 2020, 89% de la population possède et utilise un smartphone. En 2025, ce taux est de 93%

(Statista, 2020), chiffre qui est ensuite gardé constant jusqu'en 2050 (une part des enfants et personnes âgées ne possède aucun smartphone), dans les deux scénarios considérés. Leur consommation d'énergie électrique annuelle est fixée à 5 kWh par an en 2015. L'amélioration de l'efficacité est supposée être similaire, en pourcentage, à celle utilisée pour les tablettes (section 5.2).

En ce qui concerne la durée d'utilisation par smartphone, elle est estimée à 1.5h par jour en 2015, 2h par jour en 2020. L'augmentation continue sur ce même rythme pour atteindre 5 h quotidienne en 2050 dans le scénario tendanciel, notamment à cause d'usage double de technologies (regarder son smartphone et la télévision en même temps), alors qu'elle se ralentit un peu pour atteindre seulement 3.75 h par jour dans le scénario négaWatt.

Pour les téléphones fixes, le taux de possession actuel est estimé à 95% et gardé constant dans le scénario tendanciel, alors qu'il baisse pour atteindre 80% dans le scénario négaWatt. L'évolution de la consommation des téléphones fixes domestiques est basée sur des hypothèses de la Commission Européenne (2019).

Hypothèses d'évolution (téléphones, ménages)	2015	2050 nW	2050 tendanciel
Durée d'utilisation smartphone [heures/jour]	1.50	3.75	5.00
Taux de possession smartphone (par personne)	0.81	0.93	0.93
Facteur de consommation smartphone (2015=1)	1.00	0.17	0.27
Taux de possession téléphone fixe (par ménage)	0.95	0.80	0.95
Consommation téléphone fixe [kWh/an]	27.03	8.77	8.77

Tableau 5 : Hypothèses des scénarios négaWatt et tendanciel: l'évolution des smartphones et téléphones fixes des ménages.

5.4 Décodeurs (Set-top box) et routeur

La consommation des décodeurs et routeurs n'est pas différenciée selon des hypothèses tendancielle et négaWatt. Leur consommation globale est basée sur les améliorations d'efficacité prévues par la Commission Européenne, ainsi que sur les taux de possession, supposés constants sur la période.

60% des ménages utilisent un décodeur et 97% un routeur en 2015, et ces nombres restent constants sur la période. La consommation des décodeurs est estimée à 60 kWh/an en 2015. Elle reste constante jusqu'en 2020, puis augmente pour atteindre 68 kWh/an en 2030 à cause de la disparition des décodeurs simples (selon hypothèses du scénario ECO de la Commission Européenne, 2019). Pour les routeurs, leur consommation actuelle est estimée à 73 kWh/an et suit également les prévisions de la Commission Européenne (2019) pour atteindre 17.5 kWh/an en 2050.

5.5 Informatique tertiaire

Les facteurs de consommation des écrans et appareils, à durée et taille similaire, sont les mêmes que ceux considérés dans les ménages. La consommation annuelle en 2015 est également estimée proche de celle des ménages (OFEN, 2019, voir section 2.2). Il est supposé que le nombre d'appareil est égal au nombre d'équivalent temps plein dans le secteur tertiaire sur toute la période. 75% des employés utilisent un ordinateur fixe ou portable en 2015-20, les autres 25% utilisent une tablette. Comme dans le scénario négaWatt France, la part des ordinateurs (fixes ou portables) augmente de 8% dans le scénario tendanciel et diminue de 25% dans le scénario négaWatt d'ici à 2050 grâce à la percée des tablettes et autres appareils légers. La durée d'utilisation par appareil n'est pas modifiée par rapport à aujourd'hui. Elle est intégrée comme un facteur par rapport à l'année 2015 (2015 = 1).

Le nombre d'imprimantes est estimé en fonction du nombre d'ordinateurs (5.5 ordinateurs par imprimante, voir Maurer, 2019) et est gardé constant dans les deux évolutions. En revanche, la consommation actuelle (255 kWh/appareil.an) augmente légèrement dans le scénario tendanciel

(285 kWh/appareil.an en 2050) alors que l'efficacité des appareils permet une forte diminution dans le scénario négaWatt (94 kWh/appareil.an).

Hypothèses d'évolution (ordinateurs, tertiaire)	2015	2050 nW	2050 tendanciel
Part d'employés utilisant un ordi (fixe ou portable)	0.75	0.56	0.81
dont fixes	0.5	0.1	0.25
Facteur de durée (2015 = 1)	1.00	1.00	1.00
Facteur de consommation ordinateur fixe (2015=1)	1.00	0.19	0.29
Facteur de consommation laptop (2015=1)	1.00	0.15	0.25
Facteur de consommation tablette (2015=1)	1.00	0.17	0.27
Facteur de consommation écran (2015=1)	1.00	0.16	0.21
Facteur taille écran PC (2015=1)	1.00	1.49	2.15
Facteur de luminosité (2015=1)	1	0.9	1

Tableau 6 : Hypothèses des scénarios négaWatt et tendanciel l'évolution des ordinateurs (fixes, laptops et tablettes), secteur tertiaire.

5.6 Echange et stockage de données

Les besoins de l'informatique tertiaire, calculés selon les hypothèses présentées à la section 5.5, sont soustraits au total de l'informatique et communication donné par l'OFEN dans ses statistiques énergétiques pour le secteur des services. Ce qui reste est alloué entre les centres de données et les réseaux.

La séparation est basée sur les hypothèses de stockage et de transfert de données des scénarios de The Shift Project (2018). Les volumes de données transférées et stockées, ainsi que l'efficacité énergétique des technologies de 2015 sont utilisés pour estimer les besoins en énergie pour ces deux services. Il est ensuite supposé que le ratio entre les deux est similaire en Suisse pour obtenir les consommations de l'année 2015.

Pour les évolutions futures, ce même rapport du Shift Project donne des prévisions d'efficacité jusqu'en 2025. Il est supposé que les systèmes suisses évoluent de la même manière jusqu'à cette année. Une réduction est encore supposée jusqu'en 2030, avant que l'efficacité n'atteigne ses limites pour le scénario tendanciel. Dans le cas du scénario négaWatt, l'évolution continue pour diminuer d'un facteur 10 supplémentaire d'ici 2050, grâce à des technologies particulièrement efficaces apparaissant durant ces années.

En ce qui concerne le flux de données, les tendances de l'OFCE (2020) pour les données mobiles sont poursuivies dans le scénario tendanciel avec une régression jusqu'en 2050. Cette évolution sert de base à la modélisation, qui considère une répartition entre données mobiles, WIFI et wired network similaire à celle de The Shift Project. Le rapport entre données stockées et données transférées est aussi inspiré de ce rapport. Le scénario négaWatt modère les hypothèses d'augmentation des flux et stockage de données de la même manière que le scénario « sobriety » de The Shift Project, en gardant le rapport de modération sur l'ensemble de la période 2020-2050.

Hypothèses d'évolution (flux et stockage de données)	2015	2050 nW	2050 tendanciel
Facteur d'efficacité flux de données (2015 = 1)	1	0.027	0.133
Facteur d'efficacité des centres de données (2015=1)	1	0.012	0.118
Facteur de volume de données transférées (2015=1)	1	17.4	50.6
Facteur de volume de données stockées (2015=1)	1	41.6	93.8

Tableau 7 : Evolution des facteurs de volume et d'efficacité du transfert et stockage de données.

6 Résultats

En ce qui concerne la consommation des ménages, le scénario tendanciel, malgré l'augmentation de l'utilisation des appareils informatiques et du nombre d'habitants en Suisse, réduit légèrement la consommation totale grâce aux améliorations d'efficacité considérées dans les prochaines années. Elle passe en effet de 5.93 PJ en 2015 à 5.28 PJ en 2030, avant de se stabiliser et d'atteindre 5.12 PJ en 2050. Cette tendance est principalement dictée par les hypothèses d'évolution rapide de l'efficacité des smartphones et ordinateurs durant les prochaines années. Introduire la sobriété permet de continuer de réduire la consommation totale d'énergie, malgré une stagnation de l'efficacité dès 2025-30. La consommation totale atteint 3.62 PJ en 2050, soit une réduction de 29% par rapport au scénario tendanciel. Enfin, le scénario négaWatt, qui considère des améliorations plus importantes de l'efficacité en plus d'intégrer la sobriété énergétique, permet de gagner près de 15% sur la consommation totale en 2050 (3.09 PJ). Par rapport à la situation de 2015, le scénario négaWatt permet de diminuer de moitié (-48%) les besoins directs totaux en électricité des ménages pour l'informatique, la communication et les médias de divertissement.

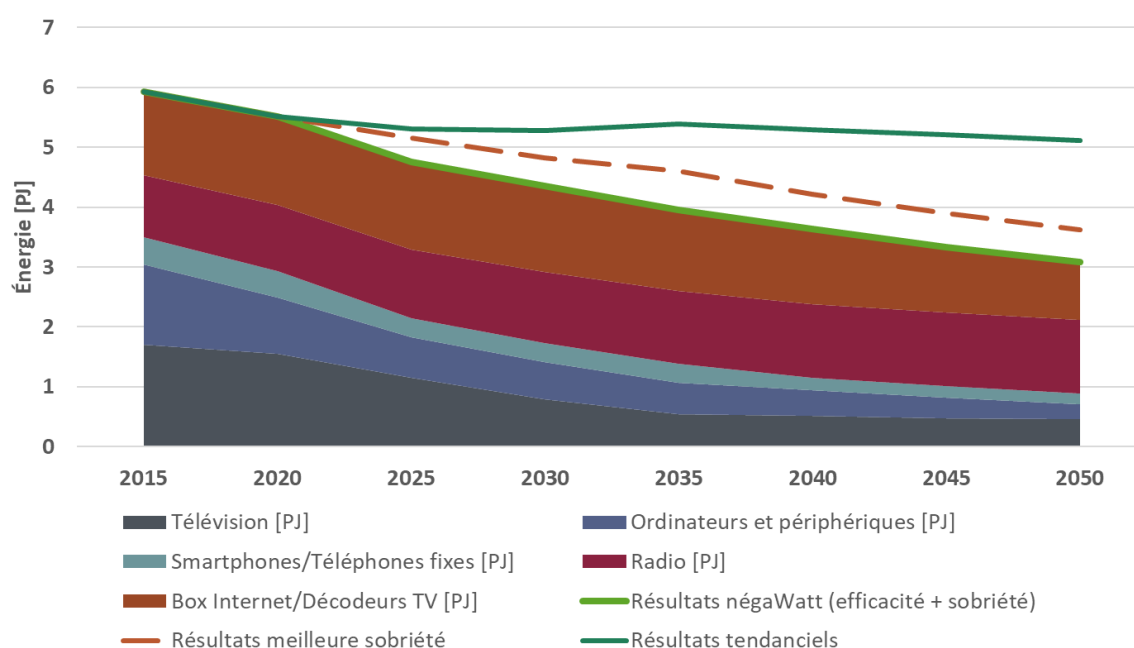


Figure 4 : Evolution de la consommation d'électricité finale pour l'informatique, la communication et les médias de divertissement des ménages.

L'impact de la sobriété est particulièrement fort pour la télévision. En effet, les différentes mesures (limitation de la taille des écrans, de la durée d'utilisation et de la luminosité) permettent de réduire les besoins de près de deux tiers par rapport au scénario tendanciel en 2050. La réduction est de 46% pour les ordinateurs et d'un quart pour les smartphones.

De manière générale, il est à noter que les consommations absolues pour chaque type d'appareil restent faibles. Seuls les postes « télévisions » et « radios » dépassent encore les 1 PJ en 2050 dans le scénario tendanciel. Dans le scénario négaWatt et en 2050, les ordinateurs et périphériques ne représentent que 0.24 PJ, les télévisions 0.46 PJ et les smartphones/téléphones 0.19 PJ. Les principales consommations sont celles ayant des hypothèses moins poussées, à savoir les radios (1.29 PJ) et les routeurs et boîtiers (0.97 PJ).

En ce qui concerne la consommation de l'informatique et des médias de communication attribuée au secteur tertiaire, la bureautique (ordinateurs et imprimantes) ne représentent presque rien comparé à la consommation des flux et du stockage de données. En effet, en 2015, les ordinateurs et périphériques tertiaires consommaient, selon la modélisation négaWatt, 0.78 PJ, contre 3.74 PJ pour

les réseaux et centres de données. Dans le scénario tendanciel, les appareils de bureautique consommeront 0.71 PJ en 2050, alors qu'ils atteignent 0.14 PJ dans le scénario négaWatt. En revanche, comme le montre la Figure 5, les consommations liées aux données risquent d'augmenter fortement lors des prochaines années. Dans le cas du scénario tendanciel, elle atteint 33.2 PJ en 2050. On constate que les améliorations d'efficacité mises en place rapidement permettent de contrer l'augmentation du volume de données jusqu'en 2025-30, avant que celles-ci ne fassent augmenter fortement la consommation énergétique du secteur. Le scénario de sobriété considère une consommation plus modérée, mais qui augmente quand-même les besoins en électricité jusqu'à 13.5 PJ. Il faut une amélioration de l'efficacité 10 fois supérieure à celle du scénario tendanciel pour voir la consommation totale baisser en 2050 et arriver à un peu moins de 2 PJ dans le scénario négaWatt.

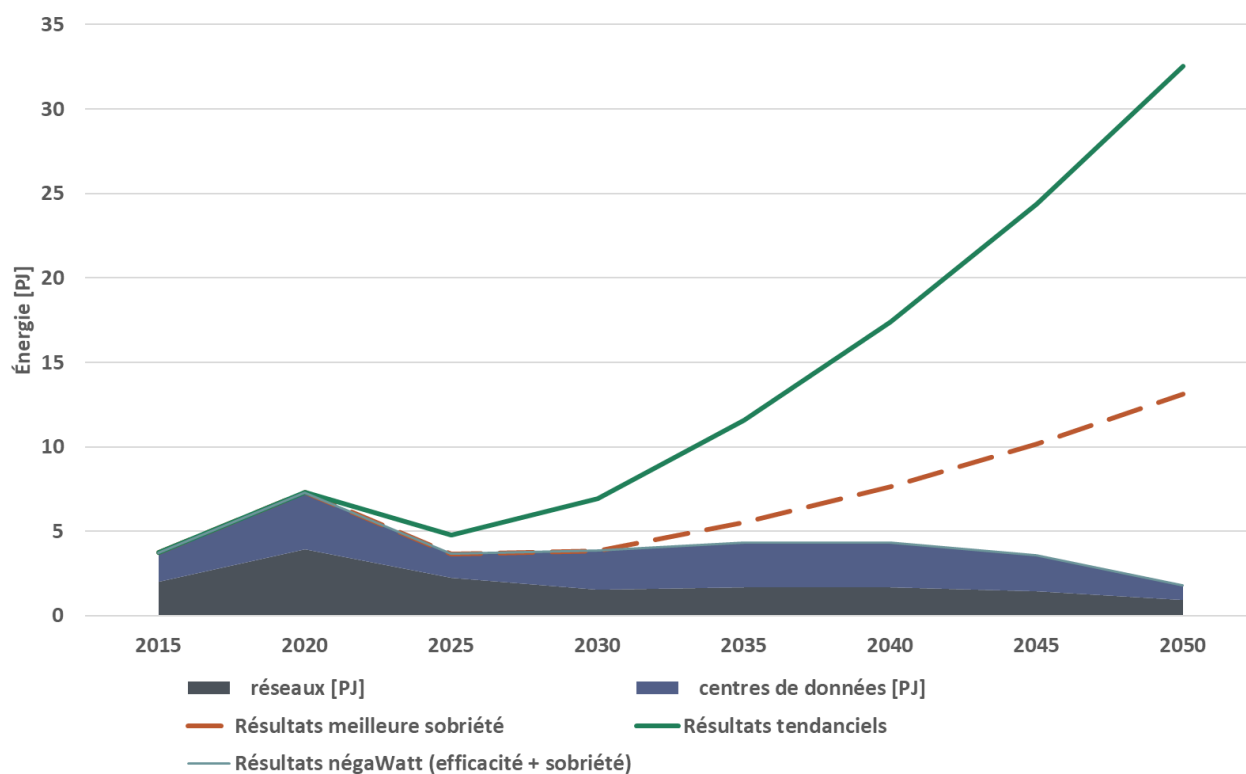


Figure 5: Evolution de la consommation d'énergie finale pour les centres de données et les infrastructures de réseau.

7 Discussion

Les taux de possession, les consommations et les mesures actives de sobriété (telles que les durées d'utilisation) discutées dans ce rapport sont basées sur des estimations très incertaines. Il s'agit là de l'illustration d'un futur possible, relativement optimiste, sans grand choc technologique, et non d'un scénario de prospective précis. Les ordres de grandeur obtenus sont cependant intéressants à comparer avec les autres postes de consommation d'électricité pour avoir une idée de leur importance relative dans la demande future en énergie et de pouvoir prévoir les capacités renouvelables nécessaires à ces besoins.

Dans le secteur des ménages, la télévision est le premier poste en termes de besoins dans la catégorie de l'informatique, communication et médias de divertissement. L'électricité demandée est très influencée par les différentes mesures de sobriété. On constate que les améliorations d'efficacité, même importantes (-79% entre 2015 et 2020 dans le scénario négaWatt), ne permettent de réduire la consommation totale que marginalement, si elle n'est pas accompagnée au moins d'une limitation de la taille des écrans, selon les prévisions de la Commission Européenne (2019). Cette problématique illustre bien le problème actuel de la plupart des labels, basés sur des consommations d'énergie spécifique non globale. Un appareil de grande taille très efficace en puissance par unité de surface d'écran sera très bien classé, alors que les besoins énergétiques de l'appareil en tant que tel peuvent être supérieurs à ceux d'un appareil plus petit.

En ce qui concerne les ordinateurs et périphériques, l'évolution de l'efficacité est également inspirée des hypothèses de la Commission Européenne pour le scénario tendanciel, qui considère une stabilisation de la consommation par appareil dès 2025. Dans le scénario négaWatt Suisse, l'amélioration se poursuit et permet encore une réduction de moitié sur la période 2025-2050. Cependant, cette hypothèse repose sur l'appréciation personnelle que la technologie pourra continuer à s'améliorer fortement après 2025, et non sur des sources chiffrées. Les évolutions techniques du secteur de l'informatique sont de toute manière presque impossible à prédire, l'arrivée d'une technologie de rupture pouvant chambouler tant les consommations que les pratiques en quelques années. Il est cependant à noter que, même si cette amélioration de l'efficacité supplémentaire dans le scénario négaWatt permet de réduire de moitié la consommation, la différence absolue par rapport à un scénario avec de la sobriété et une efficacité s'arrêtant en 2025 n'est que de 0.24 PJ, ce qui n'est pas grand-chose comparé aux besoins en électricité d'autres secteurs d'activités (chauffage et mobilité notamment).

De manière similaire, les évolutions en termes de durée d'utilisation et d'amélioration de l'efficacité des smartphones sont en partie fixées sur des appréciations personnelles inspirées des tendances qui semblent se dessiner (utilisation de plus en plus forte de la part des personnes âgées, multiplication des usages, durée déjà très importante et en constante augmentation aux USA, etc.). Ce n'est néanmoins pas un problème critique quant à la consommation d'électricité directe pour les ménages au vu de la faible quantité d'énergie nécessaire (entre 0.2 et 0.4 PJ). Cependant, toutes ces technologies (smartphones et ordinateurs) demandent une consommation d'énergie et de matériaux importantes en dehors de l'électricité directe nécessaire à la charge des appareils durant la phase d'utilisation. L'utilisation des terminaux ne compte que pour 20% de la consommation énergétique du numérique, soit presque autant que les data centers (19%) et les réseaux (16%). La production des appareils couvre les 55% restants (17% ordinateurs, 11% TV's, 11% smartphones et 6% autres) (The Shift Project, 2018). L'usage de plus en plus important du cloud rend la réalité énergétique moins concrète pour les utilisateurs, ce qui pourrait poser des problèmes quant au succès de campagnes de réduction des usages basées sur la consommation énergétique. L'information et la sensibilisation des utilisateurs à cette problématique de consommation de ressources et d'énergie qui ne s'arrêtent pas aux frontières du lieu d'utilisation, sont dès lors cruciales.

Il est à noter que les deux postes de consommation ayant les plus grands besoins énergétiques sont les radios et les décodeurs/routeurs, alors que leurs modélisations sont les plus simples. Il pourrait dès

lors être intéressant de se pencher plus en détail sur ces appareils et leurs potentielles évolutions lors d'une prochaine modélisation, même si leur consommation faible vis-à-vis d'autres besoins en électricité permet une précision moins importante.

Dans le secteur tertiaire, la consommation énergétique des outils informatiques au travail reste relativement faible par rapport à d'autres besoins en énergie. De plus, très peu de détails sont donnés quant à la nature de ces consommations dans les statistiques énergétiques de l'OFEN. Même dans le cas d'un doublement des usages par rapport au scénario tendanciel, la consommation électrique dépasserait à peine les 1 PJ. Pour les entreprises, le potentiel de réduction pourrait venir de l'énergie grise de fabrication. En effet, il arrive fréquemment qu'une entreprise change tout son matériel informatique d'un seul coup, sans évaluer l'état de chaque appareil, ce qui génère une consommation superflue de matériel en deçà de leur durée de vie potentielle. Le développement d'appareils utilisés par les employés tant pour leur vie privée que professionnelle au lieu d'ordinateurs fixes individuels au bureau pourrait permettre également de réduire le nombre d'appareils à fabriquer et donc l'impact environnemental qui y est lié (The Shift Project, 2018).

De plus, la question de l'impact des technologies sur le monde du travail peut être posée d'un point de vue des modes de vie. Le développement du télétravail, accéléré par la crise sanitaire de 2020, pourrait par exemple permettre des changements sociétaux majeurs dans la manière de travailler. Cependant, cette pratique peut générer des aspects potentiellement délicats pour les employés, notamment en ce qui concerne la séparation entre la vie professionnelle et la vie privée, et pourrait avoir des effets rebonds en termes de mobilité et d'aspirations résidentielles qui pourraient être questionnés et quantifiés plus en détails à l'avenir.

Finalement, la consommation d'énergie la plus importante est, de loin, celle des centres de données et infrastructures de réseaux. Il s'agit de plus des besoins les plus incertains selon les scénarios, passant d'un peu moins de 2 PJ dans le scénario négaWatt à plus de 33 PJ dans le scénario tendanciel, ces deux scénarios étant basés sur des hypothèses très différentes. Un premier pas pour améliorer la modélisation serait de lier directement les flux de données avec l'augmentation de l'usage des smartphones et ordinateur professionnels et privés, en partant par exemple de consommations typiques pour diverses activités (mails, vidéo, etc).

Rappelons ici que l'objectif du scénario négaWatt n'est pas de prédire les consommations en 2050, mais de montrer ce qu'elles seraient selon certaines évolutions technologique et comportementales. Ce raisonnement s'applique particulièrement au secteur de l'informatique, un monde en pleine mutation, où une modélisation permet de montrer à quel point les consommations énergétiques peuvent différer selon les technologies développées et les modes de vie adoptés. Ainsi, si rien n'est entrepris, l'énergie allouée à ces postes de consommation pourrait devenir rapidement très importante ; la sobriété aurait en conséquence un rôle important à jouer. Son opérationnalisation dépendra sans doute, comme expliqué plus haut, de campagnes de sensibilisation et d'information sur cette forme d'énergie cachée derrière nos usages quotidiens des nouvelles technologies.

8 Conclusion

L'informatique et les nouvelles technologies de communication prennent une place de plus en plus importante dans la société, que ce soit dans le cadre privé ou professionnel. Les tendances actuelles semblent indiquer une augmentation forte des usages pour les prochaines années, et les arrivées de l'internet des objets ou de la 5G devraient renforcer cette évolution. Dès lors, il semble particulièrement important d'estimer la consommation énergétique allouée à ces nouvelles pratiques dans le futur et d'estimer le potentiel de réduction des usages par de la sobriété.

Le scénario négaWatt montre que ces usages domestiques et professionnels d'ordinateurs, smartphones ou télévisions ne consomment directement qu'une énergie assez limitée y compris sans sobriété et avec des améliorations modestes d'efficacité. En revanche, l'impact indirect des centres de données et des infrastructures de réseaux pourrait bien devenir problématique lors des prochaines années. En effet, dans le scénario tendanciel, ce sont plus de 33 PJ qui devraient être alloués à ces besoins : une consommation supplémentaire conséquente d'électricité pour la Suisse en transition énergétique et souhaitant sortir du nucléaire. Toutefois, il est possible, selon le scénario négaWatt, de garder ces besoins sous contrôle, mais au prix d'une modération des usages et d'une amélioration forte de l'efficacité énergétique qui est loin d'être acquise.

Ces résultats sont, plus que ceux des autres rapports, soumis à une grande incertitude quant à leur exactitude. Les évolutions tant rapides qu'imprévisibles de l'efficacité des technologies et des usages laissent planer le doute quant à la trajectoire qui sera suivie dans les trente prochaines années. De plus, l'arrivée d'une technologie de rupture pourrait tout renverser, pour le meilleur comme pour le pire, en termes de besoins en électricité. Cependant, la modélisation présentée dans ce rapport montre l'importance capitale de prendre en compte l'impact du numérique, ainsi que les mesures nécessaires pour le limiter autant que possible. En ce sens, la sobriété énergétique a toute sa place et devrait être diffusée dans la société rapidement, en sensibilisant la population sur les impacts environnementaux indirects des usages numériques, encore anodins pour beaucoup d'entre nous.

9 Références

- Andrae, A.S.G., Edler, T. (2015). *On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030, Challenges* 2015, 6, 117-157. DOI: <https://doi.org/10.3390/challe6010117>. Consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117#cite>
- Compareco (2020). *Regarder la télévision*, compareco.ch, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://compareco.ch/fr/tv/#page=0>
- Conseil Fédéral (2015). *Consommation électrique, efficacité énergétique et mesures d'encouragements dans le domaine des centres de calcul*, Rapport du Conseil Fédéral en réponse au postulat 13.3186 du 21 mars 2013 déposé par le conseiller national Maier Thomas, consulté en ligne le 22.07.2020. <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/40634.pdf>
- Deloitte (2018). *The future of the TV and video landscape by 2030*, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/fi/Documents/technology-media-telecommunications/201809%20Future%20of%20Video_DIGITAL.pdf
- DETEC (2019). *Rapport Téléphonie mobile et rayonnement*, par le groupe de travail Téléphonie mobile et rayonnement, sur mandat du DETEC, consulté en ligne le 22.07.2020 <https://www.swisscom.ch/content/dam/swisscom/fr/about/entreprise/portrait/reseau/telecommunication-mobile-antennes-environnement-sante/documents/rapport-telephonie-mobile-rayonnement.pdf>
- Ercan, M., Malmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., Nilsson, E (2016). *Life Cycle Assessment of a Smartphone*, 4th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2016), DOI: 10.2991/ict4s-16.2016.15., https://www.researchgate.net/publication/308986891_Life_Cycle_Assessment_of_a_Smartphone
- Energyscope (2020). *Combien d'électricité consomment les appareils mis en veille ?*, energyscope.ch, consulté en ligne le 22.07.2020. <http://www.energyscope.ch/100-questions/quel-avenir-pour-le-gaz-naturel-et-le-mazout/combien-d-electricite-consomment-les-appareils-mis-en-veille>
- European Commission (2019). *Ecodesign Impact Accounting – Status Report 2018*, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/eia_status_report_2017_-_v20171222.pdf
- European Commission (2018). *Preparatory study on the Review of Regulation 617/2013 (Lot 3) - Computers and Computer Servers - Task 7 report Policy measures and scenario analyses -Final version*, Prepared by Viegand Maagøe and VITO, <https://computerregulationreview.eu/sites/computerregulationreview.eu/files/Preparatory%20study%20on%20review%20computer%20regulation%20-%20Task%207%20VM%2019072018.pdf>
- Google (2020). *Centre de données – Efficacité*, Consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>
- Hiard, F. (2019). *Les centres de données de Suisse romande se posent en bons élèves écologiques*, Le Temps, publié le 01.05.2019, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.letemps.ch/economie/centres-donnees-suisse-romande-se-posent-bons-eleves-ecologiques>
- Infomaniak (2020). *Charte environnementale d'Infomaniak Network*, modifiée le 16.06.2020, consultée en ligne le 22.07.2020. <https://www.infomaniak.com/fr/hebergeur-ecologique/charte-ecologique.pdf>

- Kemp, S. (2020). *Digital 2020 : Switzerland*, datareportal.com, consulté en ligne le 22.07.2020.
<https://datareportal.com/reports/digital-2020-switzerland>
- Maurer, M. (2019). *IT-Markt report- Rapport sur le marché des TIC 2019*, Profondia, consulté en ligne le 22.07.2020.
https://www.profondia.com/fr/assets/File/IT%20Markt/IT%20Markt%20Report%202019_FR_190916.pdf
- Micheau, F. (2017). *Les Français et l'attention qu'ils accordent à la publicité télévisée*, opinionway pour Sync, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.opinion-way.com/fr/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=1732&Itemid=0>
- Molla, R. (2020). *Tech companies tried to help us spend less time on our phones. It didn't work*, in Vox, Recode, publié le 06.01.2020, accédé en ligne le 22.07.2020,
<https://www.vox.com/recode/2020/1/6/21048116/tech-companies-time-well-spent-mobile-phone-usage-data>
- négaWatt. (2017). *Scénario négaWatt 2017-2050-Hypothèses et résultats*.
https://negawatt.org/IMG/pdf/scenario-negawatt_2017-2050_hypotheses-et-resultats.pdf
- OFCOM (2020). *Services de transmission et internet large bande sur raccordements mobiles*, consulté en ligne le 20.12.2020. <https://www.bakom.admin.ch/bakom/fr/page-daccueil/telecommunication/faits-et-chiffres/observatoire-statistique/mobile/services-de-transmission-et-internet-large-bande-sur-raccordements-mobiles.html>
- OFEN. (2012). *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000-2050*. OFEN.
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politique/strategie-energetique-2050/documentation/perspectives-energetiques-2050.html>
- OFEN. (2020). *Statistique globale de l'énergie*.
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie/statistique-globale-de-l-energie.html>
- OFEN (2019). *Verkaufszahlenbasierte Energieeffizienz-analyse von Elektrogeräten 2019 - Jahreswerte 2018*, <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/59260.pdf>
- OFS (2020a). *Télévision : Utilisation selon la région linguistique, l'âge et le sexe*, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.13347078.html>
- OFS (2020b). *Équipement et dépenses TIC des ménages*, consulté en ligne le 22.07.2020.
<https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/ind-f-30103>
- OFS (2020c). *Utilisation des technologies et e-business*, consulté en ligne le 22.07.2020.
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs/utilisation-tic-entreprises.assetdetail.12307347.html>
- OFS (2017). *Télévision : Utilisation en comparaison internationale*, consulté en ligne le 22.07.2020.
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.2943739.html>
- Seydtaghia, A. (2020). *Une initiative lancée pour décarboner les centres de données*, Le Temps, publié le 24.01.2020, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.letemps.ch/economie/une-initiative-lancee-decarboner-centres-donnees>
- SNPTV (2020). *Les plus de la TV, édition 2020*, consulté en ligne le 22.07.2020.
<https://www.snptv.org/publications/guide-des-plus-de-la-tv/>

- Statista (2020). *Number of smartphone users in Switzerland from 2018 to 2024 (in millions)*, statista.com, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.statista.com/statistics/494640/smartphone-users-in-switzerland/>
- Studer, X. (2018). *Internet : stocker 1 Go de données consomme cinq fois moins qu'il y a cinq ans !*, Consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.xavierstuder.com/2018/05/internet-stocker-1-go-de-donnees-consomme-cinq-fois-moins-quil-y-a-cinq-ans/>
- SuisseEnergie. (2018). *L'efficacité énergétique dans le ménage*. S.A.F.E., Agence suisse pour l'efficacité énergétique, OFEN. <https://www.suisseenergie.ch/ws/publicationDetails.aspx?id=p7386&lang=fr-ch>
- Swico (2019). *Statistiques et données*, swico.ch, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://www.swico.ch/fr/connaissances/etudes-de-marche/statistiques-et-donnees/#electronique-grand-public>
- The Shift Project (2020). *Déployer la sobriété numérique*, rapport intermédiaire V1, janvier 2020, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-01.pdf>
- The Shift Project (2018). *-Lean ICT – Pour une sobriété numérique*, rapport du groupe de travail dirigé par Hugues Ferreboeuf pour le think tank The Shift Porject, octobre 2018, consulté en ligne le 22.07.2020. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>
- Toulouse, E., & Attali, S. (2018). *Energy sufficiency in products: Concept paper*. Eceee: Energy sufficiency. <https://www.energysufficiency.org/libraryresources/library/>