



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'INFORMATIQUE POUR L'INDUSTRIE ET
L'ENTREPRISE

EEDD
RÔLE DU NUMÉRIQUE POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
RAPPORT

Enjeux Environnementaux et Développement Durable

Élèves :

Colin COËRCHON
Léos COUTROT
Adam EL GERSSIFI
Hugo GENEST
Evan GIRARD
Marius MALOT
Ulysse RADISSON
Baptiste TRILLO

Enseignants :

Anne-Laure LIGOZAT
Guillaume PAKULA
Baptiste RABOURDIN

27 janvier 2023

Table des matières

1	Introduction	2
2	Scénario RTE	3
2.1	Présentation générale	3
2.2	Implication du numérique dans ce scénario	5
3	Futur de l'écosystème numérique	7
3.1	Aspect sociétal	7
3.2	Aspect industriel	9
4	Le rôle de l'ingénieur ENSIIE	11
4.1	L'évolution du métier d'ingénieur	11
4.2	L'apport de l'ingénieur du numérique	13
5	Conclusion	16
6	Annexe	16

1 Introduction

Partie de **Hugo GENEST**

La situation écologique est aujourd’hui critique, et il est devenu nécessaire d’agir pour réduire les émissions de gaz à effets de serre et limiter les catastrophes environnementales à venir. Pour répondre à ce problème, différents scénarios ont été envisagés, et notamment les scénarios RTE 2050. Un scénario est une stratégie présentant plusieurs options contrastées relatives à l’économie, la technique et la société afin d’atteindre la neutralité carbone d’ici 2050.

Chacun ayant son rôle à jouer dans cette transition écologique, les ingénieurs de l’ENSIIE n’échappent pas à la règle. Nous devons en effet, nous aussi, nous mobiliser pour participer à la lutte contre le changement climatique. Il est donc légitime de se demander quel est le rôle de l’ingénieur ENSIIE dans les scénarios de transition frugale RTE 2050.

Nous allons réfléchir à cette problématique sous trois points de vue distincts : ce que permet d’apporter l’école aux ingénieurs de demain (notamment à l’ENSIIE), le rôle de l’ingénieur en entreprise, et son rôle en société. Afin de répondre à cette problématique, nous allons procéder en 3 étapes. Nous allons commencer par expliquer les scénarios RTE et leur impact sur le monde du numérique. Ensuite, nous décrirons le futur paysage du numérique tant sous l’aspect sociétal qu’industriel. Enfin, nous nous concentrerons sur la relation de l’ingénieur avec la transition écologique, c’est à dire l’évolution du métier, et ce qu’il peut apporter à l’effort commun dans la lutte contre le changement climatique.

2 Scénario RTE

2.1 Présentation générale

Partie de **Marius MALOT**

Les stratégies proposées par RTE pour répondre aux problématiques environnementales décrivent l'évolution du système électrique français jusqu'en 2050 pour atteindre la neutralité carbone. Différents scénarios sont envisagés pour décrire, d'une part, la trajectoire de consommation énergétique et, d'autre part, le mix de production de l'énergie.

Pour atteindre la neutralité carbone, il faut viser la substitution massive de l'électricité aux énergies fossiles. Mais ce processus doit aussi s'accompagner d'une consommation plus faible en énergie de manière générale. La SNBC (stratégie nationale des bas carbones) prévoit une baisse optimiste de 40% de la consommation énergétique d'ici 2050. Cette baisse constitue la principale hypothèse du **scénario de référence** sur la trajectoire de consommation proposé par RTE et prévoit qu'en 2050 la consommation électrique de la France soit de 645 TWh. Néanmoins, cela suppose des avancées technologiques qui induisent une réduction de la consommation de l'électroménager, l'éclairage et de l'informatique. De plus, le scénario prévoit des politiques publiques volontaristes dans la rénovation des bâtiments.

Ce premier scénario se base sur l'efficacité énergétique mais ne suppose pas que les habitudes de consommation individuelles soient revues à la baisse. Toutefois, la sobriété énergétique permettrait de réduire significativement la consommation énergétique totale et ce sur quoi se base le **scénario de sobriété**. Le scénario identifie 4 leviers de sobriété principaux : l'habitat, le travail, les déplacements et les activités industrielles [figure 1]. Avec de telles mesures, la consommation électrique de la France passe de 645 TWh à 555 TWh. Néanmoins, cette attitude de sobriété n'est pas dans le scénario de référence car comme le rappelle le rapport RTE, "[certains] rejettent le principe même au nom des libertés individuelles et du maintien d'une forme subjective de «confort»" [15] (*page 20*).

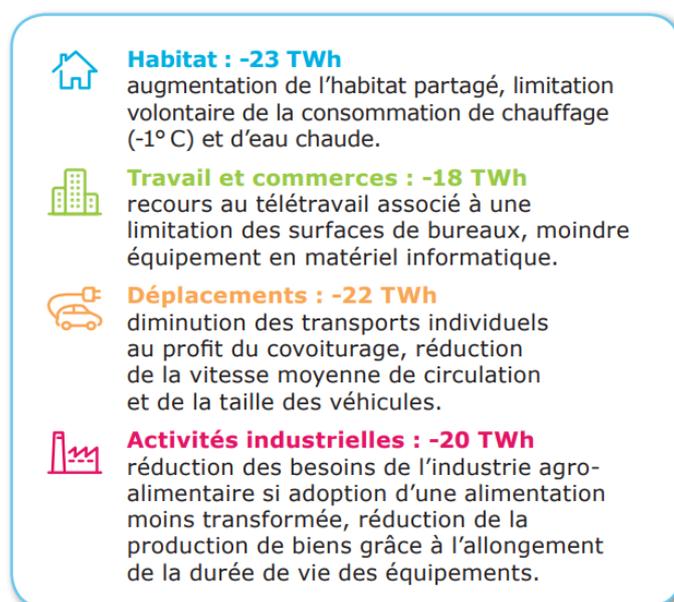


FIGURE 1 – Effets de la mobilisation des gisements de sobriété dans une dynamique d'efficacité énergétique [15]

Le dernier scénario principal sur la trajectoire de consommation proposé par RTE est le **scénario de réindustrialisation profonde**. Il envisage la perspective d'une France qui relance son industrie pour qu'elle atteigne les 12% à 13% du PIB en 2050. La relocalisation de l'industrie aboutit à une baisse significative des importations qui permet d'éviter 900 millions de tonnes de CO₂ entre aujourd'hui et 2050. En revanche, cette réindustrialisation est à associer à un fort besoin en électricité, ainsi le scénario prévoit une consommation de 750 TWh en 2050 (contre 645 TWh dans le scénario de référence).

Ces scénarios sur la trajectoire de consommation ont pour but de prévoir la consommation électrique de la France en 2050 en fonction des hypothèses sur la manière de consommer. Cependant, il faut aussi décider de la manière dont sera produite cette électricité. C'est ce qui est discuté par les scénarios sur le mix de production proposés par RTE.

La France dispose déjà d'une production d'électricité décarbonée de 500 TWh grâce à ses centrales nucléaires, ce qui lui permet de franchir une "marche" moins élevée pour atteindre la consommation de 645 TWh en 2050 par rapport à d'autres pays européens. Cependant, le défi est grand car l'âge moyen du parc nucléaire est de 36 ans et il est admis qu'ils ne pourront pas fonctionner plus de 60 ans. Il est donc important de définir une stratégie industrielle qui intègre la fermeture prévisible de ces centrales nucléaires. Le 100% renouvelable est une des principales solutions proposées pour atteindre la neutralité carbone, cependant il y a aussi du côté nucléaire des réflexions sur les réacteurs de quatrième génération qui pourraient être plus sûrs, plus compétitifs et plus respec-

tueux de l'environnement. Ainsi, le débat sur la production d'électricité décarbonée porte largement sur la répartition entre énergies renouvelables et nouveaux réacteurs nucléaires.

C'est pourquoi RTE propose deux familles de scénarios sur le mix de production : les scénarios dits **scénarios M** dont la finalité est un parc de production reposant uniquement sur des énergies renouvelables, et les scénarios dits **scénarios N** qui planent sur un mix entre énergies renouvelables et réacteurs nucléaires nouveaux.

2.2 Implication du numérique dans ce scénario

Partie de **Léos COUTROT**

Nous sommes dans une époque que nombreux appellent « l'ère du numérique ». En effet, notre quotidien est rythmé par des interactions numériques, que cela soit dans le cadre professionnel, avec les mails régulièrement échangés, ou dans le cadre personnel, à travers un film regardé en famille sur un ordinateur. Ainsi, on imagine assez facilement qu'un secteur aussi ancré dans notre société puisse avoir de nombreux liens avec divers problèmes contemporains mais aussi avec leurs solutions. En effet, même si le numérique peut avoir un aspect immatériel de prime abord, il est polluant.

L'expansion et la croissance du numérique sont au cœur des problématiques environnementales, et pour bien comprendre pourquoi le numérique est au centre de tous ces enjeux, nous allons rapidement remettre en contexte leurs rôles actuels dans cette transition écologique. Tout d'abord, leurs utilisations nécessitent une grande consommation et donc une forte production d'énergie (principalement électrique). Aujourd'hui, la production d'énergie électrique est pour la grande majorité d'origine nucléaire. Cette production a le très grand avantage d'être presque totalement décarbonée, mais il est important de prendre en compte les déchets nucléaires qui sont générés. Une petite partie de ces déchets, de 3 à 5% selon l'ANDRA (l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) [2], sont hautement radioactifs, et sont donc destinés à être stockés définitivement dans un centre adapté.

Au vu des différents aspects qui en découlent, l'utilisation du nucléaire reste donc un sujet encore très politisé. Son utilisation dans un avenir à plus ou moins long terme reste incertaine et très débattue. La possibilité de garder ou non son utilisation dans les horizons 2050 est largement développée dans le rapport RTE [15], et brièvement abordée dans la partie précédente.

Enfin, au-delà de la production électrique qui est déjà un point-clef, son utilisation est aussi polluante. Que ce soit le cycle de vie d'un ordinateur ou encore les data centers, le monde du numérique pollue beaucoup.

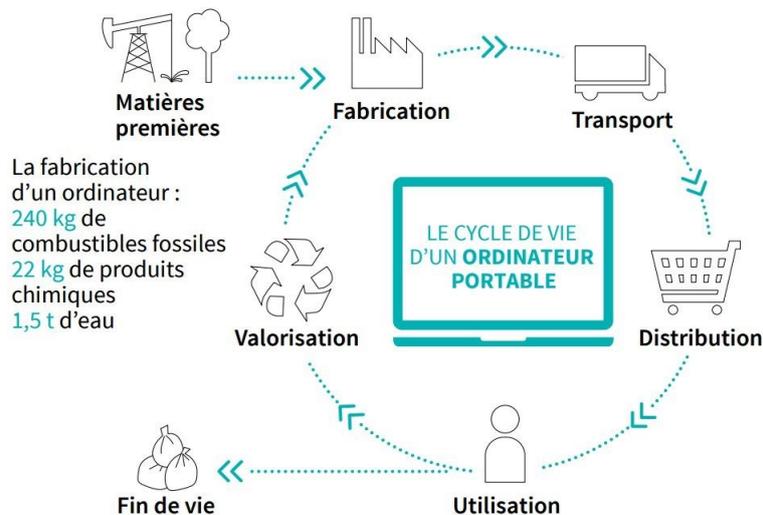


FIGURE 2 – Le cycle de vie d'un ordinateur

Par exemple, d'après une étude de Greenit [4], la consommation électrique du numérique français est de l'ordre de 40 TWh d'électricité en 2019, soit environ 8,3% de la consommation électrique totale de la France la même année (qui est de 473 TWh selon RTE [15]). Et ainsi, les data centers seraient à l'origine de 4 à 15 % des impacts du numérique français sur notre empreinte environnementale.

Tout d'abord, le scénario bas-carbone prévoit une diminution de 40 % de la consommation énergétique d'ici 2050 due à une grande optimisation des équipements déjà présents grâce aux nouvelles technologies dont nous disposerons. Par exemple, un programme traitant beaucoup de données, va devoir utiliser des ordinateurs puissants et va consommer beaucoup d'énergie : c'est donc un point pouvant être amélioré par le numérique et le progrès technologique qui seraient donc clés dans la transition écologique. De plus, ce même scénario prend en compte un potentiel usage abondant d'hydrogène bas-carbone pour limiter les émissions, et même si cet hydrogène ne sera probablement pas utilisé directement pour des utilisations du numérique, sa production nécessite beaucoup d'électricité. Arriver à une optimisation suffisante de nos appareils électroniques et électrique est donc d'autant plus important car le cas échéant il n'est pas déraisonnable de penser à un manque d'électricité produite pour satisfaire les besoins de tous.

Le deuxième scénario, celui de la sobriété, est lui aussi intrinsèquement lié au numérique car il implique de consommer moins d'énergie, c'est-à-dire qu'il faut soit que les utilisations restent les mêmes mais que les nouvelles technologies polluent beaucoup moins, soit que chaque individu apprenne à consommer moins d'énergie, et ce qu'importe le secteur. On comprend donc là aussi que le numérique aura un rôle fondamental dans la réalisation de ce scénario.

Enfin le troisième et dernier scénario implique un changement de la production de l'énergie, notamment via des bioénergies. Ce scénario est moins lié au numérique que les deux autres mais comme certains sont déjà en train de le faire, il serait possible de réutiliser l'énergie de certains secteurs du numérique pour servir ailleurs. Par exemple, des data centers qui dégagent beaucoup de chaleur vont potentiellement être utilisés pour chauffer une piscine et un pôle loisir proche d'une station de ski [11].

3 Futur de l'écosystème numérique

3.1 Aspect sociétal

Partie de **Ulysse RADISSON**

Il est légitime de se demander comment va évoluer le domaine du numérique pour s'adapter au changement climatique et limiter ses effets néfastes sur l'environnement. Le mot d'ordre de plusieurs scénarios, et notamment ceux de RTE, semble être la sobriété énergétique. En effet, si l'on veut espérer atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, une profonde transformation doit s'opérer, tant au niveau de la société, que des entreprises et de l'industrie.

La sobriété énergétique implique d'abord des changements profonds dans les modes de vie et dans l'organisation sociétale. Diminuer sa consommation d'énergie au quotidien va devenir une priorité pour les citoyens, et de nombreuses habitudes devront être adoptées afin de réduire le plus possible nos émissions et espérer atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

La sobriété énergétique est définie dans le rapport RTE comme “[une évolution] des habitudes de vie dans le sens d'une plus grande sobriété des usages et des consommations, occasionnant une diminution générale des besoins énergétiques, et donc également électriques” en passant par exemple par une diminution des déplacements individuels au profit des transports en commun, une moindre consommation de biens manufacturés ou encore un développement de l'économie du partage.

Cette sobriété énergétique ne saurait être atteinte sans la mobilisation de chaque individu et une transformation profonde des habitudes du quotidien. Un changement doit s'opérer sur notre manière de consommer, et notamment le numérique, pour tendre vers un idéal de sobriété numérique. C'est en aspirant à consommer moins et mieux le numérique que l'individu peut participer à l'effort de guerre contre le réchauffement climatique de manière directe. Le secteur du numérique est en effet un secteur énergivore à toutes les étapes du cycle de vie des ses objets.

L'impact d'un objet numérique réside, d'après l'ADEME, à 80% dans sa fabrication, et 20% dans son utilisation [7]. La conception d'un tel objet, comme un smartphone ou un ordinateur, a donc un impact environnemental conséquent. Nos appareils nécessitent des composants issus de minéraux dont l'extraction (outre l'impact social et éthique dû aux conditions de travail désastreuses) a un énorme impact sur l'environnement. L'épuisement des ressources terrestres causé par l'extraction des terres rares et des métaux conduit, par l'exploitation des mines, à la destruction d'écosystèmes et à la pollution de cours d'eau et de terrains naturels.

Il est donc primordial de raisonner ses achats numériques : afin de limiter toutes ces émissions néfastes à l'environnement, l'individu se doit de garder ses appareils numériques plus longtemps (d'après l'ADEME, passer de deux à quatre ans d'utilisation divise par deux l'impact environnemental du produit), de trouver des alternatives au neuf en préférant le reconditionné, ou encore d'opter pour un smartphone type "Fairphone" [10] dont les matériaux sont issus du commerce équitable et dont les pièces peuvent être remplacées et réparées par l'utilisateur [figure 2].

D'un point de vue économique, acheter durable et de meilleure qualité est certes plus onéreux sur le coup, mais cela sera vite compensé par la longévité de l'appareil électronique : il faudrait par exemple éviter les achats réguliers d'objets numériques que l'on remplace chaque année et préférer un appareil fiable que l'on garde longtemps et que l'on entretient.

Si la fabrication d'un appareil est responsable de la majorité de son impact environnemental, son utilisation n'est pas négligeable pour autant. La consommation d'électricité liée aux usages du numérique était en effet de 56,5 TWh en 2015, soit 11.9% de la consommation totale d'électricité [6]. L'utilisation des objets numériques a donc un effet non négligeable sur la consommation électrique, les objets les plus gourmands étant les data centers et les ordinateurs domestiques. Le nombre d'écrans dans les foyers ou même dans la rue - par exemple les panneaux publicitaires - explose et ne fait qu'augmenter la consommation globale. Il s'avère que l'utilisation la plus énergivore et donc la plus émettrice de gaz à effet de serre est le visionnage de vidéo, puisque environ 80% des émissions dues au numérique le sont par la vidéo [figure 3]. Le concept de sobriété numérique nécessite donc une régulation de ces usages et encore une fois un profond changement de nos habitudes. Plusieurs mesures peuvent être prises au quotidien, comme limiter le visionnage de vidéos en lignes (ou du moins en résolution plus faible), désactiver le lancement automatique des vidéos sur les réseaux sociaux ou encore privilégier le Wifi aux réseaux mobiles.

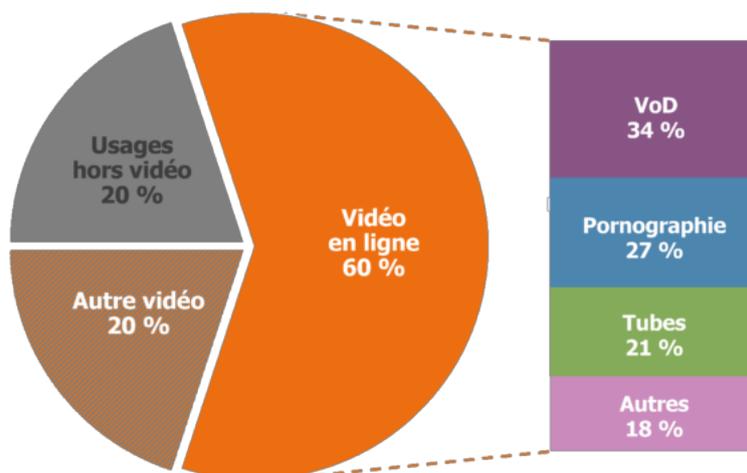


FIGURE 3 – Répartition des flux de données en ligne entre les différents usages du numérique et de la vidéo en ligne en 2018 dans le monde [16]

Mais s'il faut limiter l'usage et la production d'objets numériques, ce n'est pas pour autant que l'informatique est un frein à la transition écologique. Bien au contraire, elle va évoluer pour permettre à chaque individu de réduire sa consommation et ainsi tendre vers une forme de sobriété numérique.

Une contribution non négligeable de l'informatique est la réduction des déplacements du quotidien, le transport étant l'activité qui contribue le plus aux émissions de gaz à effet de serre en France (surtout les voitures particulières), devant la production d'énergie [5]. Le télétravail en est la preuve la plus flagrante, une étude de l'ADEME en 2020 ayant montré qu'une journée de télétravail par semaine pourrait permettre d'économiser 271kg eqCO₂ rejetés par an [1]. Le télétravail n'étant pas la seule contribution, on peut également citer la dématérialisation des démarches administratives, permettant d'économiser une quantité considérable de papier, ou encore la téléconsultation.

En guise de conclusion, des transformations sociales doivent s'opérer, un profond changement des habitudes du quotidien doit avoir lieu afin que chaque individu se dirige vers une forme de sobriété numérique, et ceci doit passer par une prise de conscience de chaque personne sur sa façon de consommer.

Si d'importants changements sociétaux doivent s'effectuer sur notre façon de consommer (notamment le numérique), il en est de même pour les entreprises qui doivent se transformer pour essayer d'atteindre la sobriété énergétique.

3.2 Aspect industriel

Partie de **Baptiste TRILLO**

Selon le rapport du RTE, plusieurs scénarios sont envisagés pour parvenir à réduire

notre empreinte carbone. La sobriété énergétique repose sur le fait de changer nos modes de consommation quotidien, de ré-industrialisation profonde ce qui change drastiquement le secteur industriel, le développement de l'électrification pour remplacer le thermique par l'électrique utilisé au quotidien et utiliser l'hydrogène dé-carboné pour substituer à l'électrification qui n'est pas possible. [15] (page 16)

La ré-industrialisation des entreprises françaises commencerait par une centralisation de la productivité bas-carbone car la France, malgré sa forte électricité bas-carbone, a une empreinte carbone à peine plus faible due à l'importation depuis les pays étrangers.

Grâce à cela une plus grosse part de la consommation industrielle en France serait électrique ce qui aurait pour effet de réduire l'empreinte carbone de l'industrie.

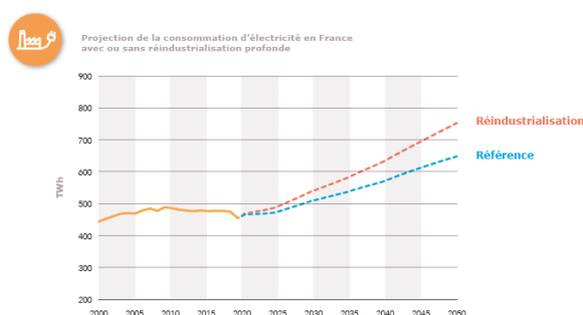


FIGURE 4 – Projection de la consommation d'électricité en France avec ou sans réindustrialisation profonde.

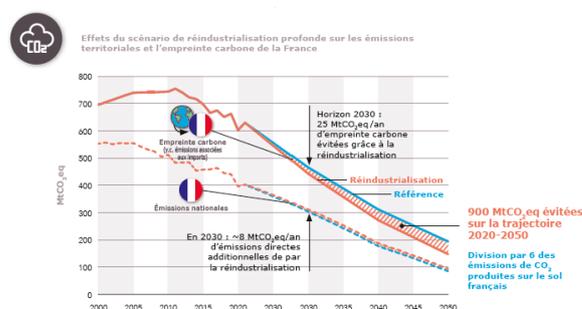


FIGURE 5 – Effet du scénario de réindustrialisation profonde sur les émissions territoriales et l'empreinte carbone de la France.

Les changements de l'industrialisation mèneront à deux changements majeurs : un remplacement des énergies fossiles avec les énergies renouvelables et un renouvellement du parc nucléaire ou son agrandissement pour 2050.

Pour réussir à faire cela beaucoup d'enjeux seront à résoudre. Cela va d'abord requérir beaucoup d'innovations en voie de neutralité carbone comme des batteries avec moins de métaux rares, des utilisations de l'hydrogène de plus en plus présentes, plusieurs technologies numériques pour la gestion de la demande énergétique, etc. Mais pour arriver à cela plusieurs dispositions seront à remplir comme la maturité des solutions techniques, un déploiement à grandes échelles des solutions, une maîtrise des enjeux de développement ou encore une mise à niveau des réseaux électriques [15] (page 42).

Ces pré-requis, devant être respectés pour espérer avoir un impact écologique significatif, vont provoquer beaucoup de changement et donc entraîner une augmentation des dépenses des entreprises : elles vont devoir changer leurs modes de transport, leur production ou leur approvisionnement en énergie. Plusieurs problèmes se soulèvent lorsque

l'on veut effectuer cette transition énergétique : les approvisionnements en ressources vont devoir se faire plus fréquents pour couvrir le besoin de matériaux dans l'industrie. Pour les batteries notamment, cela nécessitera des ressources rares qui sont déjà connues pour être limitées en volume, en possession (à qui appartient chaque ressources, ce qui peut mener à des conflits), ou à cause de leur trop fort impact sur l'environnement lors de l'extraction [15] (page 50). Le réchauffement climatique, déjà bien présent, pose problème aux centrales nucléaires qui ont besoin de beaucoup d'eaux pour refroidir le combustible. Cette ressource se fait de plus en plus rare, surtout en été ou les changements de climats en fonction des saisons qui posent une incertitude sur la fiabilité des énergies renouvelables [15] (page 44-45).

Les changements que va apporter cette transition coûteront très cher aux entreprises pour qu'elles puissent s'adapter. Mais cela va aussi devoir changer leurs manières de nous vendre leurs produits car beaucoup d'entreprises utilisent l'obsolescence programmée pour détériorer leur produit, afin d'inciter les personnes à continuer de consommer leurs produits régulièrement. [14]

La sobriété va donc devoir se faire pour les entreprises sur plusieurs plans, celui de la production qui va devoir gérer quel produit créer pour éviter de trop consommer de matériaux rares, celui de la transformation car cela doit demander beaucoup d'énergies donc un besoin en électricité conséquent, et celui de la vente qui doit être contrôlée de plus en plus pour éviter l'obsolescence programmée ou la surabondance de publicité qui nous pousse à consommer toujours plus. [14]

4 Le rôle de l'ingénieur ENSIIE

4.1 L'évolution du métier d'ingénieur

Partie de **Adam EL GERSSIFI**

L'évolution du métier d'ingénieur dans l'écologie est un sujet important car les ingénieurs ont une grande importance dans la conception et la mise en place de systèmes qui ont un impact sur l'environnement. La crise écologique conduit à une évolution du métier d'ingénieur. Ils doivent désormais prendre en compte les impacts environnementaux de leurs projets et chercher des solutions pour les réduire. Cela peut inclure la conception de produits écologiques ou la réduction de l'impact des systèmes informatiques sur l'environnement.

L'écologie est de plus en plus importante dans l'évolution de la profession d'ingénieur du numérique. Les entreprises sont de plus en plus conscientes de leur impact environne-

mental et cherchent à réduire leur consommation d'énergie et leur empreinte carbone. Les ingénieurs du numérique peuvent contribuer à cet effort.

Il est important d'opérer des changements dans les années à venir. Tout d'abord, il y aura une forte demande pour des systèmes informatiques plus écoénergétiques. Les ingénieurs devront donc être capables de concevoir des systèmes qui consomment moins d'énergie pour fonctionner. Cela peut inclure l'utilisation de matériaux écologiques ou l'optimisation des systèmes existants. De plus, il y aura une forte demande pour des systèmes informatiques plus durables. Les ingénieurs devront donc être capables de développer des systèmes qui peuvent être utilisés pendant une longue période sans avoir besoin d'être remplacés fréquemment. Cela implique la conception de systèmes qui peuvent être réparés facilement. Les ingénieurs du numérique devront également être capables de concevoir et de développer des systèmes qui peuvent être recyclés facilement. Cela implique l'utilisation de matériaux écologiques [8].

Les ingénieurs doivent devenir des experts en énergie renouvelable et en efficacité énergétique pour réduire l'impact environnemental des systèmes informatiques. Les systèmes informatiques consomment de grandes quantités d'énergie, il est donc important de les concevoir de manière à réduire leur impact sur l'environnement. Ils peuvent utiliser des techniques d'analyse de données pour comprendre les tendances énergétiques et identifier les opportunités d'économies d'énergie. Ils peuvent également concevoir des systèmes qui utilisent des sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie solaire ou éolienne, pour alimenter les centres de données. Il est important de noter que la transition vers des systèmes informatiques plus durables nécessite une collaboration entre les ingénieurs, les chercheurs pour tendre vers une transition efficace et une économie plus durable.

En réponse à ces tendances, les écoles d'ingénieurs sont de plus en plus en train de changer leur programme pour inclure des éléments de formation sur l'écologie et les technologies écologiques. On peut citer par exemple l'apparition de la (*très bonne*) UE "Enjeux Environnementaux et Développement Durable" de l'ENSIIE ou encore la création de nouvelles matières dans certaines écoles qui traitent de développement durable dans le cadre de l'ingénierie. On peut citer par exemple la matière appelée "Systèmes intelligents et durable", qui a pour but de former les élèves à créer des projets éco-responsables [12].

En plus de l'intégration de la durabilité et de l'éco-conception dans les programmes d'études des écoles d'ingénieurs, divers métiers émergent dans le domaine de l'ingénierie numérique :

- L'ingénieur en **informatique écologique** : cette profession consiste à utiliser les compétences en informatique pour résoudre des problèmes environnementaux, tels que la surveillance de la biodiversité, la modélisation des systèmes écologiques. . .

- L'ingénieur en **éco-conception** : le but du métier est d'améliorer les cycles de vie des objets, d'optimiser leur fabrication depuis leur extraction jusqu'à leur utilisation en passant par le transport [13].
- **L'analyste de données environnementales** : cette profession consiste à utiliser des techniques d'analyse de données pour identifier les problèmes potentiels et élaborer des solutions.
- L'ingénieur en **énergie renouvelable** : ce travail porte aussi bien à l'implantation et à la modernisation de sites basés sur ces nouvelles énergies qu'à l'amélioration des techniques existantes ou à la découverte de nouvelles sources d'énergies [3].

Ainsi, les mentalités changent en école d'ingénieur en ce qui concerne la durabilité, car il y a une prise de conscience de l'impact environnemental des systèmes informatiques. Cela motive les futurs ingénieurs à penser plus écologique. Ils sont de plus aidés par l'école qui favorise leur apprentissage écologique de par les matières créées spécialement dans ce but.

4.2 L'apport de l'ingénieur du numérique

Partie de **Evan GIRARD**

Aujourd'hui trop peu d'écoles abordent le sujet de l'environnement d'après The Shift Project [17]. En effet, seulement 26% des écoles d'ingénieurs abordent les enjeux énergie-climat dans des cours obligatoires, ce qui n'est pas suffisant. Le bon côté est qu'il y a quand même de plus en plus d'écoles qui forment les futurs ingénieurs aux problèmes climatiques et environnementaux de notre société.

Le numérique étant un domaine très large, l'ingénieur du numérique a beaucoup de sujets à aborder et son travail va être de sensibiliser, convaincre mais aussi modifier ou améliorer les technologies existantes. Il faut donc choisir les domaines où agir serait le plus efficace pour satisfaire au mieux les 3 urgences du rapport RTE [15].

La première urgence est la décarbonation et la réduction des émissions, pour cela il faut viser des secteurs qui utilisent encore beaucoup d'énergie fossile ou qui ont beaucoup d'émissions. Pour cela on peut regarder du côté des data centers qui à eux seuls produisent 3% des émissions de gaz à effets de serre, consomment 5% de l'électricité mondiale et 626 milliards de litres d'eau. Il faut absolument réduire ces chiffres pour atteindre les objectifs fixés. Certaines solutions ont déjà été trouvées comme un liquide qui permet de récupérer l'énergie produite par les data centers pour pouvoir la réutiliser [14](page 34).

On peut aussi citer une autre grosse avancée chez les GAFA qui ont réussi à diminuer l'impact de leurs data centers. Pour cette première urgence, en tant que futur ingénieur

du numérique, il est de notre devoir de trouver comment réduire encore ces émissions pour atteindre la neutralité carbone prévue pour 2050.

La deuxième urgence est liée à la première, il faut utiliser plus efficacement notre énergie et maîtriser notre consommation en général. Dans cette urgence, les cours de sensibilisation dispensés lors de conférences reçues dans l'école vont être très importants, pour résoudre cette urgence il faut expressément sensibiliser le plus de personnes possibles sur les différents coûts du numérique. Il y a beaucoup de choses à changer facilement, par exemple les stockages d'informations inutiles et les anciens mails qui consomment une quantité non négligeable d'énergie alors que le problème est facile à résoudre. Changer de moteur de recherche vers des moteurs plus éthiques environnementalement parlant peut être une chose à faire. Par exemple, Ecosia est un moteur de recherche permettant, avec les recherches des utilisateurs, de planter des arbres dans des pays qui ont besoin de végétation. À l'heure actuelle, plus de 166 870 000 arbres ont été plantés d'après leur site [9].



FIGURE 6 – Rapport juillet 2019 Ecosia [9]

Il y a tout de même des éléments plus difficiles à changer comme la création et le recyclage d'objets technologiques : cela représente 15% du CO₂ émis, ce qui est loin d'être négligeable [14] (*page 1*).

L'ingénieur devra donc sensibiliser sur la consommation du numérique tout en réfléchissant à des solutions sur des problèmes environnementaux plus complexes. Par exemple, l'amélioration du rendement de la production d'objets technologiques en choisissant de meilleurs matériaux plus durables doit devenir une norme pour l'ingénieur du futur.

La troisième urgence consiste à utiliser de meilleures énergies, les bioénergies d'une part et l'électricité d'autre part.

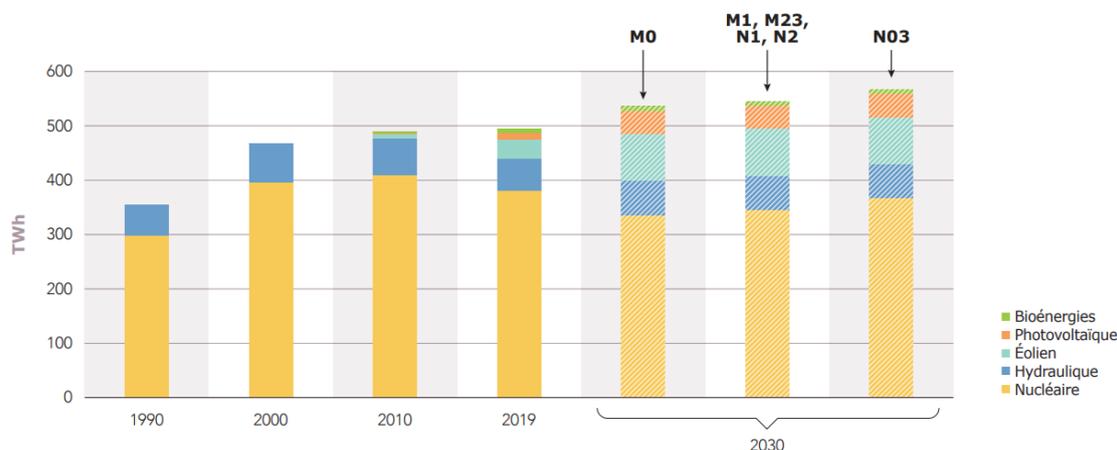


FIGURE 7 – Production d'électricité bas-carbone en France [15] (page 57)

Ce n'est pas l'urgence dans laquelle le numérique a le plus grand champ d'action mais il a quand même son rôle à jouer. Pour pouvoir répondre à cette urgence, il faut que l'ingénieur trouve des solutions pour modifier les énergies utilisées si elles ne font pas partie des deux demandées et recycler les énergies de sortie comme la chaleur. Une solution serait de récupérer l'énergie émise par les systèmes pour pouvoir la transformer et la réutiliser. Même si cela commence à se faire dans les data centers, pour répondre aux objectifs, il faut pouvoir faire cela à tous les endroits où il y a une forte concentration de puissance numérique, et donc beaucoup de rejets souvent sous forme de chaleur. On pourrait même envisager de créer ces systèmes en version plus petite pour que le maximum de population puisse récupérer l'énergie calorifique pour la réutiliser, lors de l'utilisation d'ordinateurs par exemple. Des solutions de ce genre sont mises en place dans certains endroits où la chaleur numérique produite est récupérée pour chauffer les piscines municipales et donc les piscines n'ont pas de système de chauffage autre que celui-là [11].

Ainsi, l'ingénieur du futur devra simultanément **sensibiliser** et **agir** sur la réduction de son impact environnemental. Tant dans la manière d'imaginer et d'axer le développement de ses projets dans une optique plus responsable, que dans la gestion durable des ressources numériques utilisées dans son travail

5 Conclusion

Partie de **Colin COËRCHON**

Il est aujourd'hui nécessaire de comprendre que la situation écologique est critique. De nombreuses études alarment de plus en plus sur la prise de conscience qui doit s'effectuer à tout niveau. Cela doit donc autant s'agencer au niveau de l'éducation et de la sensibilisation à l'école, que dans le domaine industriel, et dans notre environnement naturel et sociétal.

Cette transition écologique s'opère à tous les niveaux, et dans ce chamboulement, les sciences et les technologies vont indéniablement jouer un grand rôle. Ainsi, le métier d'ingénieur tel qu'on le connaît, va changer, évoluer, et se distinguer vers des pratiques plus responsables et durables. L'ingénieur devra agir, se mobiliser, être un moteur dans cette transition écologique.

Ce qui reste valable pour l'ingénieur du futur l'est encore davantage pour l'ingénieur numérique. Vivre dans un monde plus durable, c'est avoir un ingénieur capable de sensibiliser sur notre consommation du numérique, réfléchir à des modes de production d'objets technologiques en choisissant de meilleurs matériaux plus durables, et d'agir dans le sens d'un futur plus sain. Cette promesse, et selon les nombreux scénarios envisagés dans un futur plus ou moins proche [15], doit nécessairement passer par une sobriété énergétique et numérique dans une société qui, pourant, ne demande qu'à produire et consommer davantage. C'est en ce sens que l'ingénieur de l'ENSIIE possède un rôle prépondérant. À travers une formation qui s'inscrit dans une dynamique de sensibilisation, le futur ingénieur ENSIIE doit s'orienter vers cet "ingénieur du futur" plus responsable et consciencieux.

6 Annexe

Ce rapport, sur la question de la place et le rôle de l'ingénieur ENSIIE vis-à-vis des enjeux environnementaux, a été rédigé par l'ensemble du groupe sans exception.

Voici la répartition du travail final :

- Hugo GENEST a rédigé l'introduction
- Marius MALOT a rédigé la partie 2.1 qui établit une présentation générale des scénarios RTE.
- Léos COUTROT a rédigé la partie 2.2 qui traite du rôle du numérique dans ce scénario.

- Ulysse RADISSON a rédigé la partie 3.1 qui traite de l'aspect sociétal dans le futur de l'écosystème numérique.
- Baptiste TRILLO a rédigé la partie 3.2 qui traite de l'aspect industriel dans le futur de l'écosystème numérique.
- Adam EL GERSSIFI a rédigé la partie 4.1 qui présente les différentes évolutions du métiers d'ingénieurs du numérique.
- Evan GIRARD a rédigé la partie 4.2 qui explique le rôle crucial de l'ingénieur du futur dans cette transition écologique.
- Colin COËRCHON a rédigé la conclusion, et a effectué la **totalité** de la mise en page L^AT_EX de ce document.

L'ensemble des membres du groupe a participé à la relecture de ce rapport.

C'était une bien belle aventure !

Références

- [1] ADEME. *Caractérisation des effets rebond induits par le télétravail*. <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/3776-caracterisation-des-effets-rebond-induits-par-le-teletravail.html>. Sept. 2020.
- [2] ANDRA. *Classification des déchets radioactifs*. <https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/tout-comprendre-sur-la-radioactivite/classification>.
- [3] CIDJ. *Ingénieur / Ingénieure en énergies renouvelables*. <https://www.cidj.com/metiers/ingenieur-ingenieure-en-energies-renouvelables>. Fév. 2022.
- [4] COLLECTIF D'EXPERTS. « Impacts environnementaux du numérique en France ». In : *Green IT* (juin 2020).
- [5] COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE. *Les émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports*. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-secteur-des-transports>. Fév. 2021.
- [6] DÉCRYPTER L'ÉNERGIE. *La révolution numérique fera-t-elle exploser nos consommations d'énergie ?* <https://decrypterlenergie.org/la-revolution-numerique-fera-t-elle-exploser-nos-consommations-denergie>. Déc. 2017.
- [7] DIRECTION DE L'INFORMATION LÉGALE ET ADMINISTRATIVE. *Le nouveau guide : "En route vers la sobriété numérique"*. <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A15714>. Mai 2022.
- [8] Alain DOVILLAIRE, Frédéric DUBAND et Sorin IGNAT. « Les ingénieurs face aux défis environnementaux et sociétaux ». In : *Think Tank Arts & Metiers* (mai 2021).
- [9] ECOSIA. *Site d'Ecosia*. 2023.
- [10] FAIRPHONE. *Site de Fairphone*. 2023.
- [11] Laurent GALLIEN. *Chamrousse veut construire une piscine chauffée par un "data center"*. <https://www.francebleu.fr/infos/economie-social/chamrousse-veut-construire-une-piscine-chauffee-par-un-data-center-5761312>. Jan. 2023.
- [12] L'ETUDIANT. *École d'ingénieurs : tout savoir sur la nouvelle formation "Systèmes Intelligents et Durables"*. <https://www.letudiant.fr/etudes/ecole-ingenieur/ecole-d-ingenieurs-tout-savoir-sur-la-nouvelle-formation-systemes-intelligents-et-durables-de-l-esiee-it.html>. Mars 2022.
- [13] L'ETUDIANT. *Fiche métier : Ingénieur(e) éco-conception*. <https://www.letudiant.fr/metiers/secteur/industrie/ingenieur-e-eco-conception.html>.
- [14] Baptiste RABOURDIN. « Cours n°3 ». In : *ENSIIE* (déc. 2022).
- [15] RTE. *Futurs énergétiques 2050*. <https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-12/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats.pdf>. Oct. 2021.

- [16] THE SHIFT PROJECT. *Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne*. <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>. Juill. 2019.
- [17] THE SHIFT PROJECT. *Former l'ingénieur du 21ème siècle*. <https://theshiftproject.org/former-les-ingenieurs-a-la-transition/>. Juin 2020.