

LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMÉRIQUE

1.3 Quels indicateurs pour évaluer l'empreinte numérique ?

Auteurs :

- Françoise Berthoud, CNRS / GRICARD / EcoInfo
- Julie Cornet, animatrice et formatrice, Compagnie du Code
- Martine Olivi, chargée de recherche chez Inria

Mesurer, c'est passer de la perception que nous délivrent nos sens à une information objective que l'on peut analyser, discuter, comparer, qui nous aide à comprendre. Si l'on ressent une sensation de froid, connaître notre température corporelle, la température ambiante, l'humidité permet de mieux comprendre d'où vient cette sensation.

Nous sommes aujourd'hui à l'ère de la data, nous disposons de données de toutes sortes : mesures acquises par des capteurs performants, informations collectées avec ou sans notre consentement, ... Le numérique nous offre une formidable capacité de collecter, stocker et traiter ces données. Et cela nous aide à comprendre notre impact sur l'environnement.

Alors, que sait-on de l'impact environnemental de l'homme sur le climat ? Et que nous disent ces indicateurs sur l'impact environnemental du numérique

Activité 01 : Comment mesurer notre impact environnemental ?

Diapo de la capsule	Le texte associé
<p>Comment mesurer notre impact environnemental ?</p> <p>Vous avez l'impression que les étés sont de plus en plus chauds ? D'autres doutent du réchauffement climatique à la première vague de froid ?</p> <p>Est-ce que la science sait vraiment ce qu'il en est ? Et comment le sait-elle ? Que faut-il mesurer pour savoir si la planète chauffe ou pas ? Et pour savoir ce qui y contribue ?</p> <p>Cette activité illustre l'usage du numérique pour renseigner des indicateurs pertinents et introduit le sujet de la crise environnementale.</p>	<p>Comment mesurer notre impact environnemental ?</p> <p>Vous avez l'impression que les étés sont de plus en plus chauds ? D'autres doutent du réchauffement climatique à la première vague de froid ?</p> <p>Est-ce que la science sait vraiment ce qu'il en est ? Et comment le sait-elle ? Que faut-il mesurer pour savoir si la planète chauffe ou pas ? Et pour savoir ce qui y contribue ?</p> <p>Cette activité illustre l'usage du numérique pour renseigner des indicateurs pertinents et introduit le sujet de la crise environnementale.</p>

Question 1

L'effet de serre provoque le réchauffement de la planète

Vrai

Faux

Question 1

L'effet de serre provoque le réchauffement de la planète

Vrai (bonne réponse)

Faux

Feedback :

Cliquez sur l'image pour zoomer



Source : Crédits : Principe de l'effet de serre. ©Ziablik / Shutterstock / Espèces Menacées

C'est Joseph Fourier (1768 - 1830) qui décrit en 1824 le phénomène aujourd'hui appelé "effet de serre" : la terre chauffée par le rayonnement solaire émet à son tour un rayonnement infrarouge.

Ce rayonnement est absorbé par certains gaz de l'atmosphère (GES ou Gaz à Effet de Serre) et réémis dans toutes les directions, donc en partie vers la terre.

L'effet de serre est donc un phénomène physique avéré. Sans lui, la température globale de la terre serait de -18°C alors qu'elle est autour de 15°C .

Source : [Faut-il croire au réchauffement climatique ? David Louapre, Science étonnante, 2015](#) [consultée le 16/12/2021]

Feedback :

L'effet de serre provoque le réchauffement de la planète

C'est Joseph Fourier (1768 - 1830) qui décrit en 1824 le phénomène aujourd'hui appelé "effet de serre" : la terre chauffée par le rayonnement solaire émet à son tour un rayonnement infrarouge.

Ce rayonnement est absorbé par certains gaz de l'atmosphère (GES ou Gaz à Effet de Serre) et réémis dans toutes les directions, donc en partie vers la terre.

L'effet de serre est donc un phénomène physique avéré. Sans lui, la température globale de la terre serait de -18°C alors qu'elle est autour de 15°C .

Source : [Faut-il croire au réchauffement climatique ? David Louapre, Science étonnante, 2015](#) [consultée le 16/12/2021]

Image : [Principe de l'effet de serre. ©Ziablik / Shutterstock / Espèces Menacées,](#)

Question 2

Les activités humaines produisent-elles des gaz à effet de serre ?

Vrai

Faux

Question 2

Les activités humaines produisent-elles des gaz à effet de serre ?

Vrai (bonne réponse)

Faux

Feedback :

Toutes les activités humaines produisent plus ou moins de GES. En particulier, la production d'énergie à partir de ressources fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel,...) rejette beaucoup de CO2 dans l'atmosphère.

Les principaux GES sont :

- la vapeur d'eau (H₂O),
- le dioxyde de carbone (CO₂),
- le méthane (CH₄),
- le protoxyde d'azote (N₂O),
- l'ozone (O₃)

et certains gaz exclusivement produits par les activités industrielles comme les gaz fluorés que l'on trouve dans les climatisations, les réfrigérateurs, les mousses isolantes,...

Feedback :

Toutes les activités humaines produisent plus ou moins de GES.

En particulier, la production d'énergie à partir de ressources fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel,...) rejette beaucoup de CO2 dans l'atmosphère.

Les principaux GES sont :

- la vapeur d'eau (H₂O),
- le dioxyde de carbone (CO₂),
- le méthane (CH₄),
- le protoxyde d'azote (N₂O),
- l'ozone (O₃)

et certains gaz exclusivement produits par les activités industrielles comme les gaz fluorés que l'on trouve dans les climatisations, les réfrigérateurs, les mousses isolantes,...

Question 3

Afin de comparer les effets sur le réchauffement global des différents gaz à effet de serre, les scientifiques ont choisi un gaz de référence. Lequel ?

Le CO₂
Dioxyde de Carbone

Le N₂O
Protoxyde d'azote

Le CH₄
Méthane

Question 3

Afin de comparer les effets sur le réchauffement global des différents gaz à effet de serre, les scientifiques ont choisi un gaz de référence. Lequel ?

- **Le CO₂**, Dioxyde de Carbone (**bonne réponse**)
- **Le N₂O**, Protoxyde d'azote
- **Le CH₄**, Méthane

Feedback :

Pourquoi parler en équivalent CO₂ ?

Les différents gaz à effet de serre n'ont pas la même capacité à absorber le rayonnement infrarouge émis par la terre, ni la même durée de vie dans l'atmosphère (à quantité égale).

Pour pouvoir les comparer, on calcule leur **potentiel de réchauffement global** (PRG, GWP en anglais) sur une période de temps donnée, 20 ou 100 ans généralement. Comme le CO₂ est le gaz à effet de serre dont l'effet en terme de réchauffement global est quantitativement le plus important, il sert de référence. On parle alors **d'équivalent CO₂**.

Le calcul

Ainsi, 1 Kg de méthane a le même potentiel de réchauffement à 100 ans que 28 Kg de CO₂. On parlera alors de 28 Kg équivalent CO₂.

1kg de méthane = 28 Kg eq CO₂ (ou Kg CO₂e)

1kg de protoxyde d'azote = 265 Kg eq CO₂ (ou Kg CO₂e)

Source : [Potentiel de réchauffement global, Wikipédia](#)
[consultée le 16/12/2021]



Feedback :

Pourquoi parler en équivalent CO₂ ?

Les différents gaz à effet de serre n'ont pas la même capacité à absorber le rayonnement infrarouge émis par la terre, ni la même durée de vie dans l'atmosphère (à quantité égale).

Pour pouvoir les comparer, on calcule leur **potentiel de réchauffement global** (PRG, GWP en anglais) sur une période de temps donnée, 20 ou 100 ans généralement. Comme le CO₂ est le gaz à effet de serre dont l'effet en terme de réchauffement global est quantitativement le plus important, il sert de référence. On parle alors **d'équivalent CO₂**.

Le calcul :

Ainsi, 1 Kg de méthane a le même potentiel de réchauffement à 100 ans que 28 Kg de CO₂. On parlera alors de 28 Kg équivalent CO₂.

- 1kg de méthane = 28 Kg eq CO₂ (ou Kg CO₂e)
- 1kg de protoxyde d'azote = 265 Kg eq CO₂ (ou Kg CO₂e)

Source : [Potentiel de réchauffement global, Wikipédia](#)

[consultée le 16/12/2021]

Diapo de la capsule

Question 4

A ce jour, quel est approximativement le réchauffement global généré par les activités humaines depuis la révolution industrielle [1850-1900] ?

+0,1 °C

+0,5 °C

+1 °C

Le texte associé

Question 4

A ce jour, quel est approximativement le réchauffement global généré par les activités humaines depuis la révolution industrielle [1850-1900] ?

- +0,1 °C
- +0,5 °C
- **+1 °C (bonne réponse)**

Feedback :

La température moyenne mondiale a augmenté de près de +1°C depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Depuis les années 80, le réchauffement s'accroît nettement comme le montre ce schéma. D'après le rapport "Global Warming of 1,5 °C" du GIEC (2018), le rythme actuel du réchauffement climatique est de +0,2°C par décennie +/- 0,1°C .

L'indice d'augmentation de température globale est un indicateur qui sert de référence dans les discussions internationales afin de se fixer un objectif commun.

Lors des accords de Paris (COP 2015), les gouvernements se sont fixés pour objectif de ne pas dépasser 2°C de réchauffement et de se rapprocher le plus possible des 1,5°C à l'horizon 2100.

Source : [Chiffres Clés du climat 2021, Ministère de la transition écologique](#) [consultée le 16/12/2021]

Cliquez sur l'image pour zoomer



NASA ; NOAA ; Hadley Center

Feedback :

La température moyenne mondiale a augmenté de près de +1°C depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Depuis les années 80, le réchauffement s'accroît nettement comme le montre ce schéma. D'après le rapport "Global Warming of 1,5 °C" du GIEC (2018), le rythme actuel du réchauffement climatique est de +0,2°C par décennie +/- 0,1°C .

L'indice d'augmentation de température globale est un indicateur qui sert de référence dans les discussions internationales afin de se fixer un objectif commun.

Lors des accords de Paris (COP 2015), les gouvernements se sont fixés pour objectif de ne pas dépasser 2°C de réchauffement et de se rapprocher le plus possible des 1,5°C à l'horizon 2100.

Source : [Chiffres Clés du climat 2021, Ministère de la transition écologique](#) [consultée le 16/12/2021]

Image : [NASA ; NOAA ; Hadley Center, évolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2019](#)

Question 5

Si ces émissions continuent à la vitesse actuelle, quand atteindrons-nous un réchauffement de +1,5°C depuis le début de la révolution industrielle ?

entre 2030 et 2052

entre 2052 et 2075

entre 2075 et 2100

Question 5

Si ces émissions continuent à la vitesse actuelle, quand atteindrons-nous un réchauffement de +1,5°C depuis le début de la révolution industrielle ?

- entre 2030 et 2052 (bonne réponse)
- entre 2052 et 2075
- entre 2075 et 2100

Feedback :

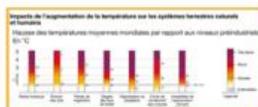
Au rythme actuel, les 1,5°C d'augmentation seraient atteints entre 2030 et 2052. Cet accroissement de la température globale est directement lié aux activités humaines et à l'émission de gaz à effet de serre.

le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Cliquez sur l'image pour zoomer

Dans ce contexte le GIEC* a écrit un rapport sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C [1].

Afin d'évaluer les impacts du réchauffement global sur les écosystèmes et les humains, les scientifiques du Giec utilisent de multiples indicateurs qui mesurent différents risques.



Source : Scénarios et projections climatiques, DataLab, 2019
[consulté le 16/12/2021]

La conclusion est sans appel : un réchauffement supérieur à 1,5°C ferait courir des risques beaucoup plus importants à l'humanité. Afin de ne pas dépasser 1,5 °C, le Giec "requiert des mesures fortes et immédiates" et rappelle que chaque 10ème de degré compte !

Source : [1] Rapport Spécial du GIEC Réchauffement à 1,5°C, 2019 [consultée le 16/12/2021]

Feedback :

Au rythme actuel, les 1,5°C d'augmentation seraient atteints entre 2030 et 2052. Cet accroissement de la température globale est directement lié aux activités humaines et à l'émission de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte le GIEC a écrit un rapport sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C [1].

Afin d'évaluer les impacts du réchauffement global sur les écosystèmes et les humains, les scientifiques du Giec utilisent de multiples indicateurs qui mesurent différents risques.

La conclusion est sans appel : **un réchauffement supérieur à 1,5°C ferait courir des risques beaucoup plus importants à l'humanité. Afin de ne pas dépasser 1,5 °C, le Giec "requiert des mesures fortes et immédiates" et rappelle que chaque 10ème de degré compte !**

Source : [1] Rapport Spécial du GIEC Réchauffement à 1,5°C, 2019
[consultée le 16/12/2021]

Image : Scénarios et projections climatiques, Giec, SRCCL, 2019

Et l'impact du numérique ?

Mais qu'en est-il de l'impact environnemental du numérique lui-même ? Quels sont les indicateurs pertinents ? Les grandeurs qui nous permettront de considérer l'évolution de ces impacts et de prendre les décisions ?

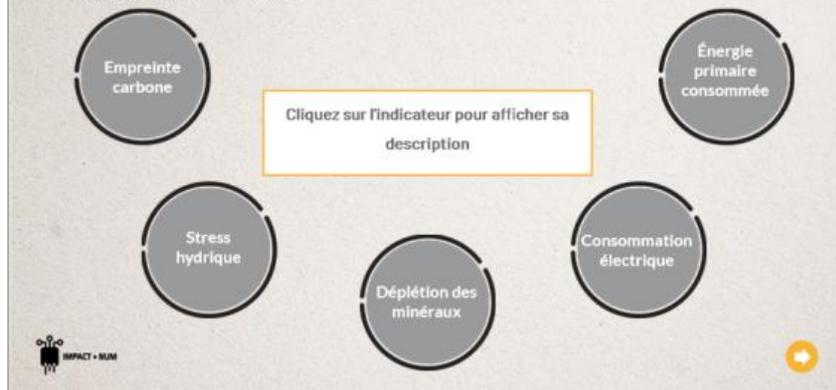
C'est ce que nous allons voir maintenant.

Et l'impact du numérique ?

Mais qu'en est-il de l'impact environnemental du numérique lui-même ? Quels sont les indicateurs pertinents ? Les grandeurs qui nous permettront de considérer l'évolution de ces impacts et de prendre les décisions ?

C'est ce que nous allons voir maintenant.

Les principaux indicateurs utilisés pour évaluer l'impact du numérique sur l'environnement sont :



Les principaux indicateurs utilisés pour évaluer l'impact du numérique sur l'environnement sont :

Cliquez sur l'indicateur pour afficher sa description

- Énergie primaire consommée
- Empreinte carbone
- Stress hydrique
- Consommation électrique
- Déplétion des minéraux

La description de chaque indicateur :

Empreinte carbone

Quantité de **GES** émise sur toutes les phases de cycle de vie de l'équipement ou du service (en kg eq CO₂)

Stress Hydrique

Épuisement de la ressource en eau, exprimé en équivalent m^3 , correspondant à l'usage direct et indirect de l'eau par le consommateur ou le producteur

Déplétion des minéraux

La rareté des ressources minérales (métaux notamment), plusieurs dizaines de minéraux sont considérés dans cet indicateur. La méthode tient compte du taux d'extraction et du stock disponible et l'unité est le kg antimoine équivalent (kg Sb).

Énergie primaire consommée

Quantité d'énergie primaire nécessaire pour produire l'énergie finale utilisée tout au long du **cycle de vie** d'un équipement (en kWh)

Consommation électrique

Quantité d'électricité consommée lors de l'utilisation d'un équipement, d'un service (en kWh)

Question 6

Quelle est la consommation électrique mondiale liée aux usages numériques ?

moins de 1%

autour de 10%

plus de 30%

Question 6

Quelle est la consommation électrique mondiale liée aux usages numériques ?

- moins de 1 %
- **autour de 10 % (bonne réponse)**
- Plus de 30 %

Diapo de la capsule

Feedback :

Le secteur des nouvelles technologies représente à lui seul entre 6 à 10% de la consommation mondiale d'électricité selon les estimations.

Si on s'intéresse maintenant à toute l'énergie (et pas seulement l'électricité) nécessaire à tout le cycle de vie des équipements du numérique, on est plutôt autour de 4%. Cette empreinte énergétique augmente **chaque année de 6%** ce qui veut dire un **doublent tous les 12 ans** (Cf. [Règle des 72, Wikipedia](#) pour comprendre le temps de doublement). A ce rythme elle aura dépassé l'empreinte carbone de la voiture d'ici peu .

Source : [Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de 5G, TheShiftProject, 2021](#) [consultée le 16/12/2021]

Le texte associé

Feedback :

Le secteur des nouvelles technologies représente à lui seul entre 6 à 10% de la consommation mondiale d'électricité selon les estimations.

Si on s'intéresse maintenant à toute l'énergie (et pas seulement l'électricité) nécessaire à tout le cycle de vie des équipements du numérique, on est plutôt autour de 4%. Cette empreinte énergétique augmente **chaque année de 6%** ce qui veut dire un **doublent tous les 12 ans** (Cf. [Règle des 72, Wikipedia](#) pour comprendre le temps de doublement). A ce rythme elle aura dépassé l'empreinte carbone de la voiture d'ici peu.

Source : [Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de 5G, TheShiftProject, 2021](#)
consultée le 16/12/2021]

Question 7

Quelle est la part du numérique dans l'empreinte carbone moyenne d'un français ?

moins de 10%

entre 10% et 20%

plus de 20 %

Question 7

Quelle est la part du numérique dans l'empreinte carbone moyenne d'un français ?

- **moins de 10% (bonne réponse)**
- entre 10% et 20%
- plus de 20 %

Feedback :

Tout d'abord, précisons qu'il s'agit d'un **ordre de grandeur** qui peut différer d'une étude à l'autre. C'est toujours le cas en comptabilité carbone.

La difficulté de répartir en différentes catégories, le manque de données et les incertitudes sur celles-ci, ne permettent pas une estimation plus précise.

Ces ordres de grandeur sont toutefois précieux : ils permettent de hiérarchiser les émissions de GES de différents postes, de communiquer et élaborer des plans d'actions éclairés et efficaces. Par ailleurs, il s'agit d'une moyenne pour les français qui cache beaucoup de variations d'un français à l'autre.

Vous avez envie de faire votre propre bilan? Rendez-vous sur <https://datagir.ademe.fr/apps/nos-gestes-climat/>. Vous y trouverez aussi des explications sur la méthodologie utilisée.

**Feedback :**

Tout d'abord, précisons qu'il s'agit d'un **ordre de grandeur** qui peut différer d'une étude à l'autre. C'est toujours le cas en comptabilité carbone.

La difficulté de répartir en différentes catégories, le manque de données et les incertitudes sur celles-ci, ne permettent pas une estimation plus précise.

Ces ordres de grandeur sont toutefois précieux : ils permettent de hiérarchiser les émissions de GES de différents postes, de communiquer et élaborer des plans d'actions éclairés et efficaces.

Par ailleurs, il s'agit d'une moyenne pour les français qui cache beaucoup de variations d'un français à l'autre.

Vous avez envie de faire votre propre bilan? Rendez-vous sur : <https://datagir.ademe.fr/apps/nos-gestes-climat/>. Vous y trouverez aussi des explications sur la méthodologie utilisée.

Images :

- [Empreinte carbone moyenne des français en 2016](#), statistiques.developpement-durable.fr; Carbone 4 ; Agreste, INSEE, Traitement ravijen.fr
- [Nos GESTes Climat, ADEME](#)

Diapo de la capsule	Le texte associé
<p>Conclusion</p> <p>Dans cette activité, nous avons introduit les principaux indicateurs du réchauffement climatique, l'équivalent CO2 et l'augmentation de température globale, ainsi que les principaux indicateurs utilisés pour évaluer l'impact environnemental du numérique.</p> <p>Nous avons donné deux estimations de l'impact du numérique : la part du numérique dans la consommation mondiale d'électricité et dans l'empreinte carbone moyenne d'un français. Ce n'est qu'un début, nous en verrons bien d'autres.</p>	<p>Conclusion</p> <p>Dans cette activité, nous avons introduit les principaux indicateurs du réchauffement climatique, l'équivalent CO2 et l'augmentation de température globale, ainsi que les principaux indicateurs utilisés pour évaluer l'impact environnemental du numérique.</p> <p>Nous avons donné deux estimations de l'impact du numérique : la part du numérique dans la consommation mondiale d'électricité et dans l'empreinte carbone moyenne d'un français. Ce n'est qu'un début, nous en verrons bien d'autres.</p>

Si vous souhaitez approfondir certaines notions

La fiche [Les indicateurs - de la définition à leur construction](#) vous explique ce qu'est un indicateur, comment on le construit et quels sont les principaux indicateurs environnementaux ?

La fiche [Le numérique et l'environnement en quelques chiffres](#) vous donne quelques chiffres internationaux et français sur les équipements numériques, et quelques illustrations de taux d'équipement et de numérisation en France.

La fiche [Numérique et électricité - mesures, proportionnalité et efficacité énergétique](#) vous explique quelles sont les métriques utilisées pour analyser la consommation électrique des équipements numériques en phase d'usage et comment mesurer la consommation d'un équipement numérique.

La fiche [Résultats chiffrés - quelle fiabilité ?](#) vous propose de réfléchir sur la fiabilité des chiffres et sur le degré de confiance qu'on peut leur accorder. Alerte aux chiffres, alerte au "greenwashing" ! À partir de 3 exemples : un article, une application et une étude.

Conclusion

Le réchauffement climatique est bien réel et mesurable ! L'influence des activités humaines sur le climat, soupçonnée depuis les années 70, fut établie de manière indirecte dans le deuxième rapport du GIEC en 1995. Les conclusions de ce rapport, mises en doute par certains scientifiques (dont les recherches étaient financées par les lobbies industriels, voir [1]) ont fini par faire consensus dans la communauté des climatologues. C'est seulement en 2021 que l'origine humaine du réchauffement est directement prouvée dans un article scientifique [2]. L'indicateur d'augmentation de température globale sert de référence dans les discussions internationales afin de fixer un objectif commun. Lors des accords de Paris (COP 2015), l'objectif de ne pas dépasser 2 degrés de réchauffement et de se rapprocher le plus possible des 1,5 degrés a été adopté. Pour atteindre cet objectif, il faudrait limiter les émissions de GES à 2 tonnes éq. CO2 par an et par personne d'ici 2050 contre 11 tonnes actuellement en France ! Une étude de carbone 4 [3] souligne l'importance des gestes individuels dont l'impact est loin d'être négligeable, mais aussi le fait qu'ils ne peuvent pas tout. Un français ne peut espérer réduire de plus de 2,8 T par an son empreinte écologique. Le reste est du ressort des autres acteurs (industries, politiques) et nécessite de dépasser le niveau individuel pour accéder à un niveau collectif d'action. Par ailleurs, tous les secteurs sont concernés, du logement à l'alimentation en passant par les transports. La part du numérique n'est pas négligeable, mais surtout elle ne se résume pas à nos usages. De plus, le numérique est appelé à grossir démesurément si rien n'est fait pour freiner son expansion. Ces sujets seront abordés dans la suite du Mooc.

- [1] *The Merchants of Doubt*, Erik M. Conway, Naomi Oreskes, Le Pommier. 2014
- [2] [For the first time, the human origin of global warming has been directly demonstrated. SciencePost, 25/03/2021](#) [accessed 15/12/2021]
- [3] [Doing your part? Power and responsibility of individuals, companies and the state in the face of the climate emergency. Carbone 4. 06/2019](#) [accessed 15/12/2021]

Crédits :

<p>Auteurs :</p> <ul style="list-style-type: none">● Françoise Berthoud, CNRS / GRICARD / EcolInfo● Julie Cornet, animatrice et formatrice, Compagnie du Code● Martine Olivi, chargée de recherche chez Inria	<p>Une coproduction Class'Code / Inria</p> 
<p>Equipe pédagogique :</p> <ul style="list-style-type: none">● Laurence Farhi, Tatiana Khomenko, Inria Learning Lab● Sophie de Quatrebarbes, S24B pour Class'Code	<p>Avec le soutien du ministre de l'éducation nationale de la jeunesse et des sports et UNIT</p> 
<p>Graphismes :</p> <ul style="list-style-type: none">● Illustrations : Mikaël Cixous, 4 minutes 34● Photographies de Guillaume Clémencin : Nicolas Ledu	
<p>Cette ressource a été produite dans le cadre du Mooc Impacts environnementaux du numérique sous licence CC BY 4.0 FR 2021 www.fun-mooc.fr</p>	