

Par le ministère
de l'Enseignement supérieur,
de la Recherche et de l'Innovation

fête de la Science

fetedelascience.fr

fête de la Science



MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION

Fête de la Science du 9 au 13 octobre 2019 à l'Observatoire de Versailles-St-Quentin-en-Yvelines

LES TECHNOLOGIES SAUVERONT-ELLES LA PLANÈTE ?

Mateo Cordier

Maître de conférences à l'Université de
Versailles-Saint-Quentin-En-Yvelines –
Université Paris-Saclay



QUESTIONS DE RECHERCHE

- **Jusqu'à présent**, les problèmes écologiques ont-ils **diminué** ?
- Si oui, est-ce **grâce aux technologies** propres?
- Sinon, quelle est **la solution**?

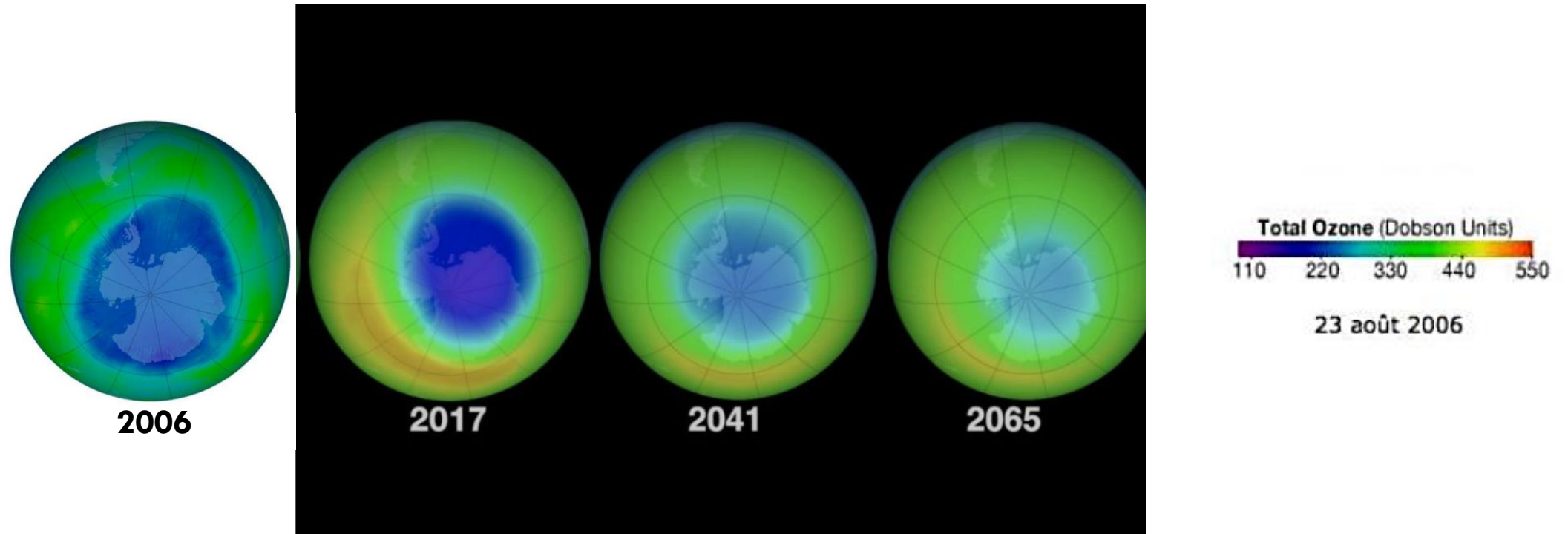
QUESTION No. 1

Jusqu'à présent, les problèmes environnementaux ont-ils **diminué** ?

QUESTION No. 1

Plusieurs signes semblent montrer que **tout va bien**

LE TROU DANS LA COUCHE D'OZONE DIMINUE



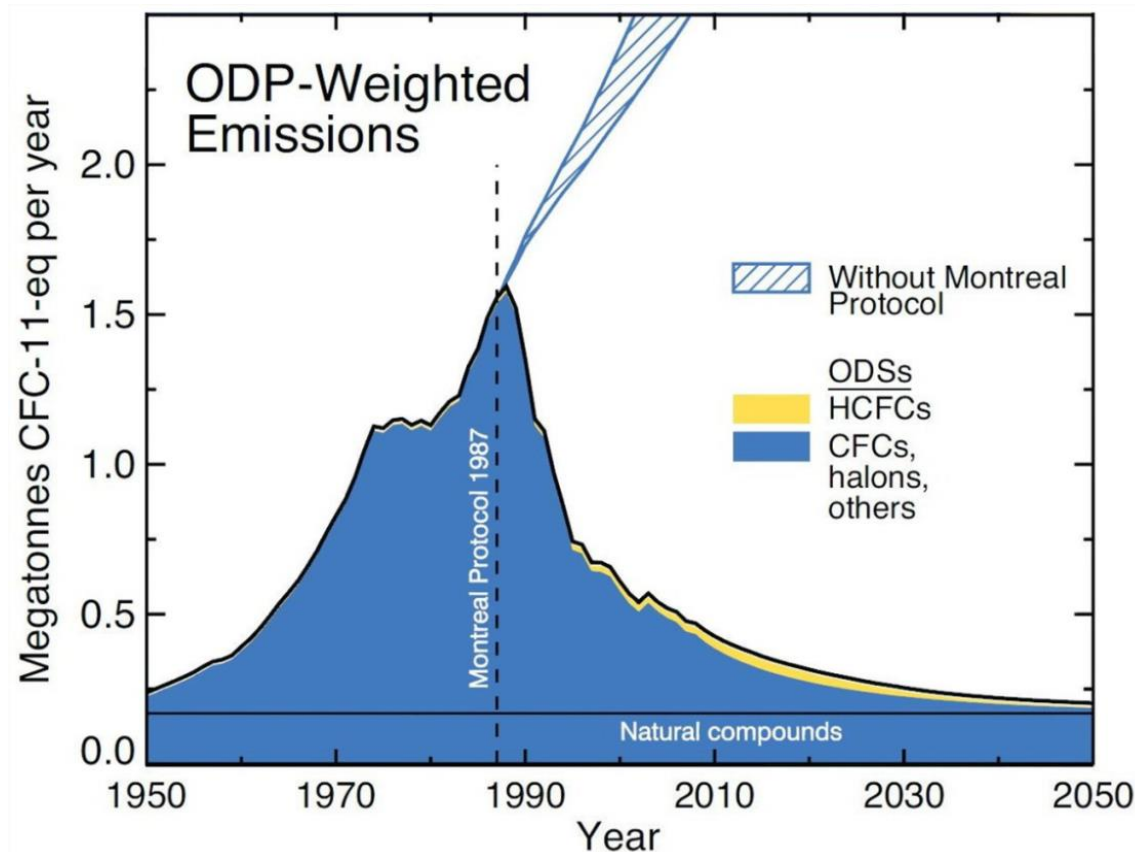
Évolution du trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique de 1971 à 2065. Le bleu, la couleur caractéristique du trou, signale les niveaux d'ozone les plus faibles. À l'inverse les couleurs orange et rouge sont le signe de niveaux élevés. Quant au vert, il signale des niveaux normaux. © NOAA/KNMI/Esa

(Source 1: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-trou-couche-ozone-sera-t-il-resorbe-50-ans-41294/>)

(Source 2: NASA , available at: <https://www.capeandislands.org/post/environmental-successes-how-we-can-make-them-happen-again#stream/0>)

LE TROU DANS LA COUCHE D'OZONE DIMINUE

Les émissions de CFC (chlorofluorocarbures) responsables du trou dans la couche d'ozone diminuent



Les CFC étaient utilisés comme fluides frigorigènes, propulseurs de sprays et dans la fabrication de mousses isolantes.

Diminution des émissions de CFC en ODP équivalent (Ozone Depleting Potential).

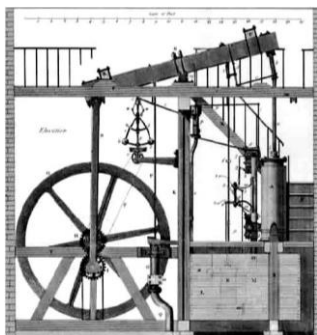
(Source : <http://www.les-crises.fr/le-trou-de-la-couche-d-ozone-2/>)

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE

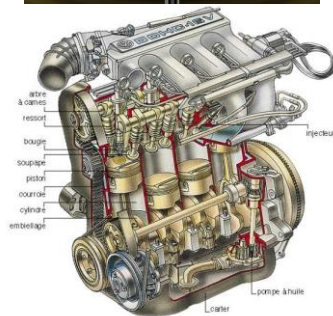
Bois



Charbon



Pétrole



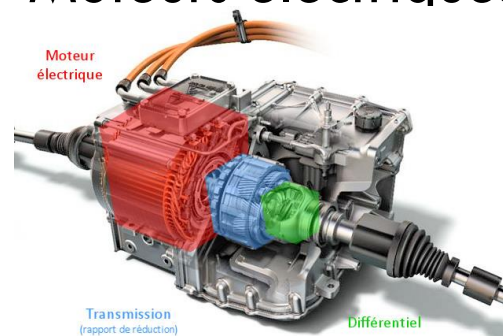
Gaz naturel



Uranium



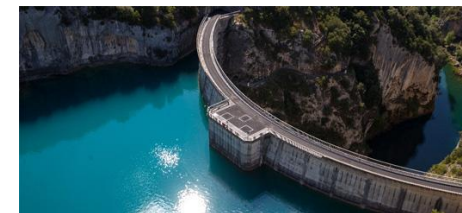
Moteurs électriques



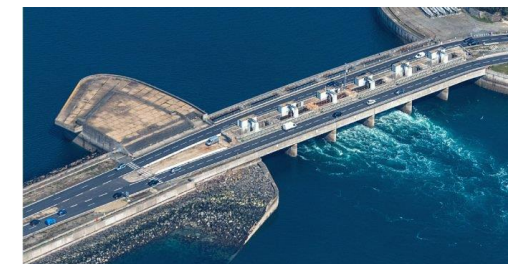
Eoliennes



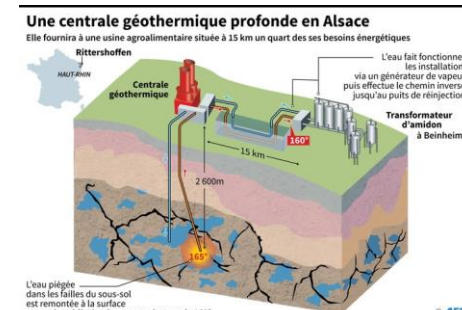
Energie hydroélectrique



Energie marémotrice



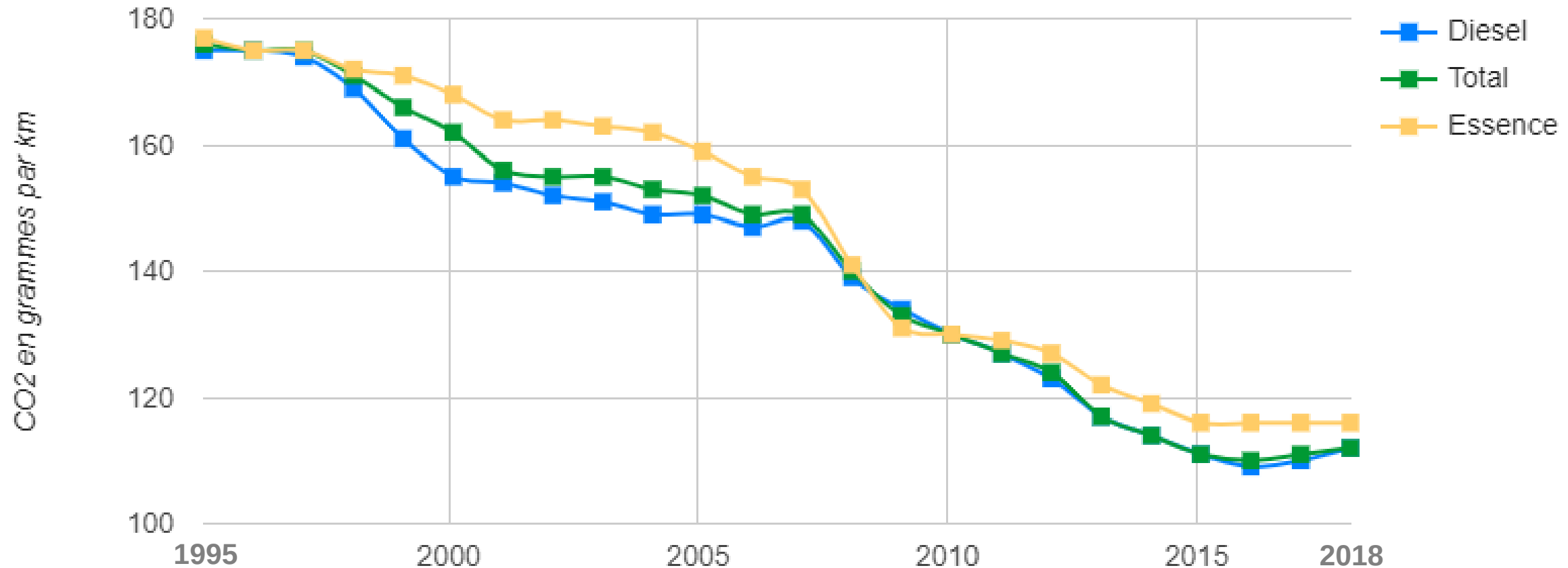
Energie géothermique





LES VOITURES ÉMETTENT DE MOINS EN MOINS DE CO₂

Évolution du taux moyen d'émissions de CO₂ en France - Véhicules particuliers neufs vendus en France - Source : carlabelling.ademe.fr/chiffrescles 2018



LE PROTOCOLE DE KYOTO A RÉDUIT LES ÉMISSIONS DE GES

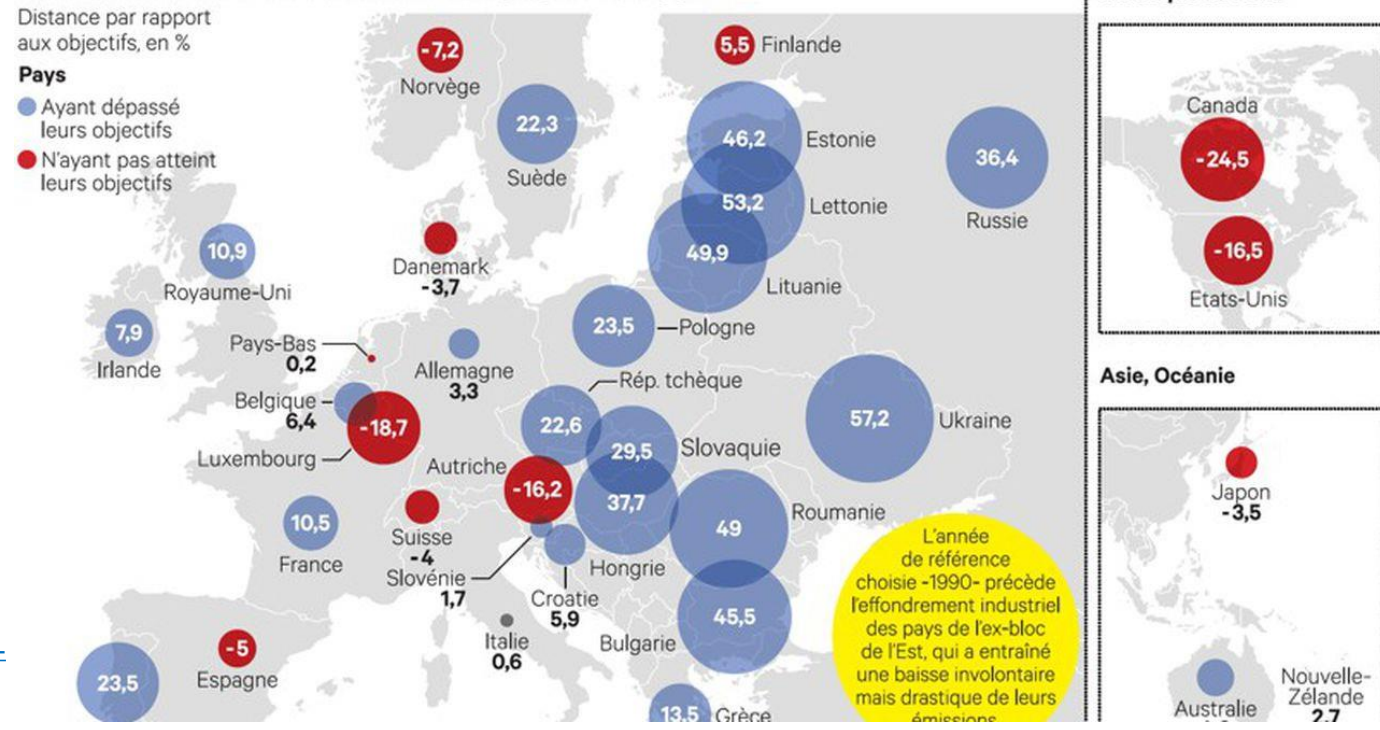
- Le protocole de Kyoto fut signé en 1997 et entré en vigueur en 2005. **Il visait** à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) des pays développés à hauteur de **-5,2 %** sur la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990.
- A la fin 2012, les émissions de gaz à effet de serre des 36 pays les plus développés du monde **avaient diminué** de **-24%** par rapport au niveau de 1990.

Bilan des émissions de CO₂ dans les pays développés

Distance par rapport aux objectifs, en %

Pays

- Ayant dépassé leurs objectifs
- N'ayant pas atteint leurs objectifs

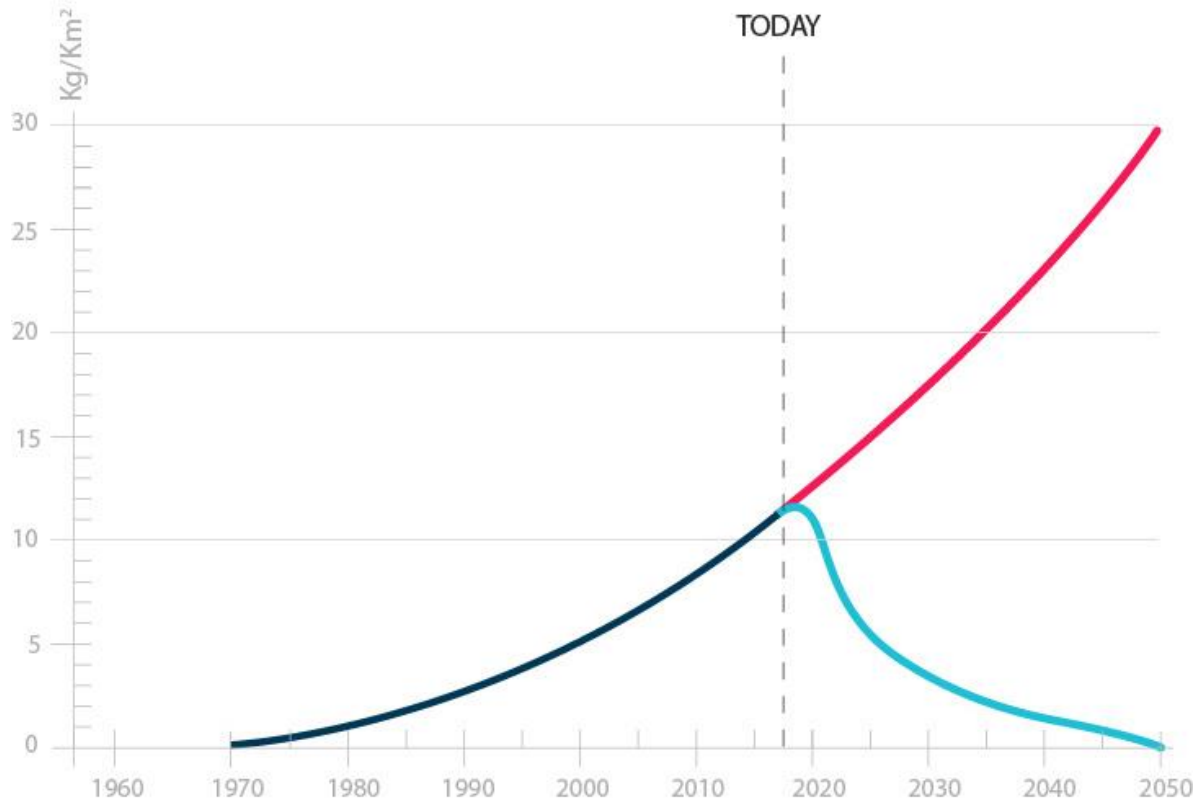
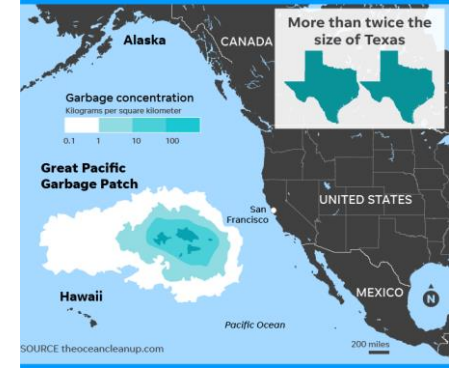


ON NETTOIE LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS



THE LARGEST
CLEANUP IN
HISTORY

ON NETTOIE LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS



Concentration de microplastiques **avec** et **sans** nettoyage dans le Great Pacific Garbage Patch. Source: <https://theoceancleanup.com>



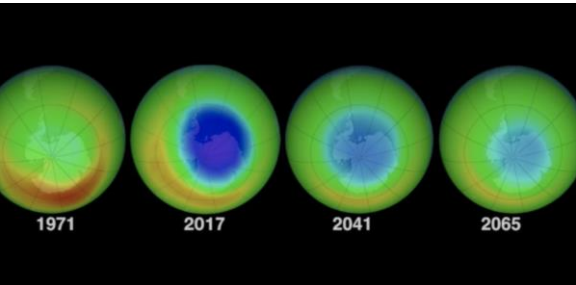
Continent de plastique du pacifique nord
(Great Pacific Garbage Patch)

QUESTION No. 2

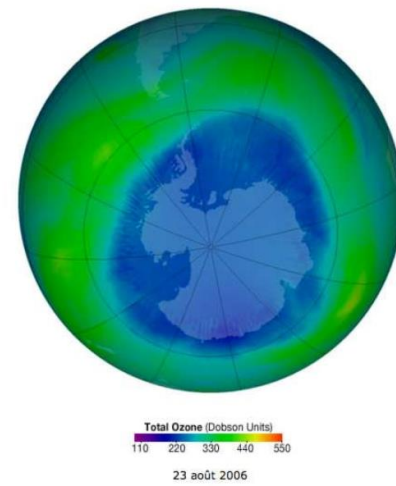
Mais si on regarde en détail, **tout va-t-il si bien?**

Les nouvelles technologies ont-elles amélioré l'environnement?

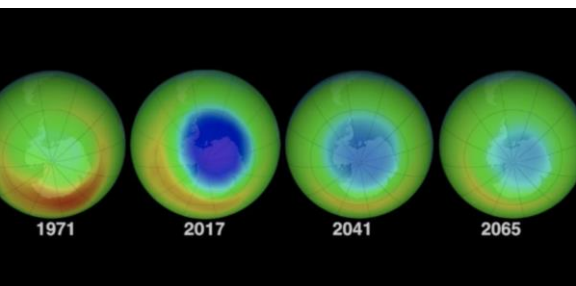
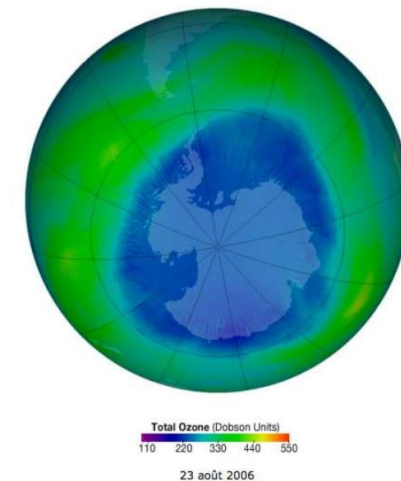
LE TROU DANS LA COUCHE D'OZONE DIMINUE OUI MAIS ...



- **Les CFC** ont été remplacés par quoi? ...

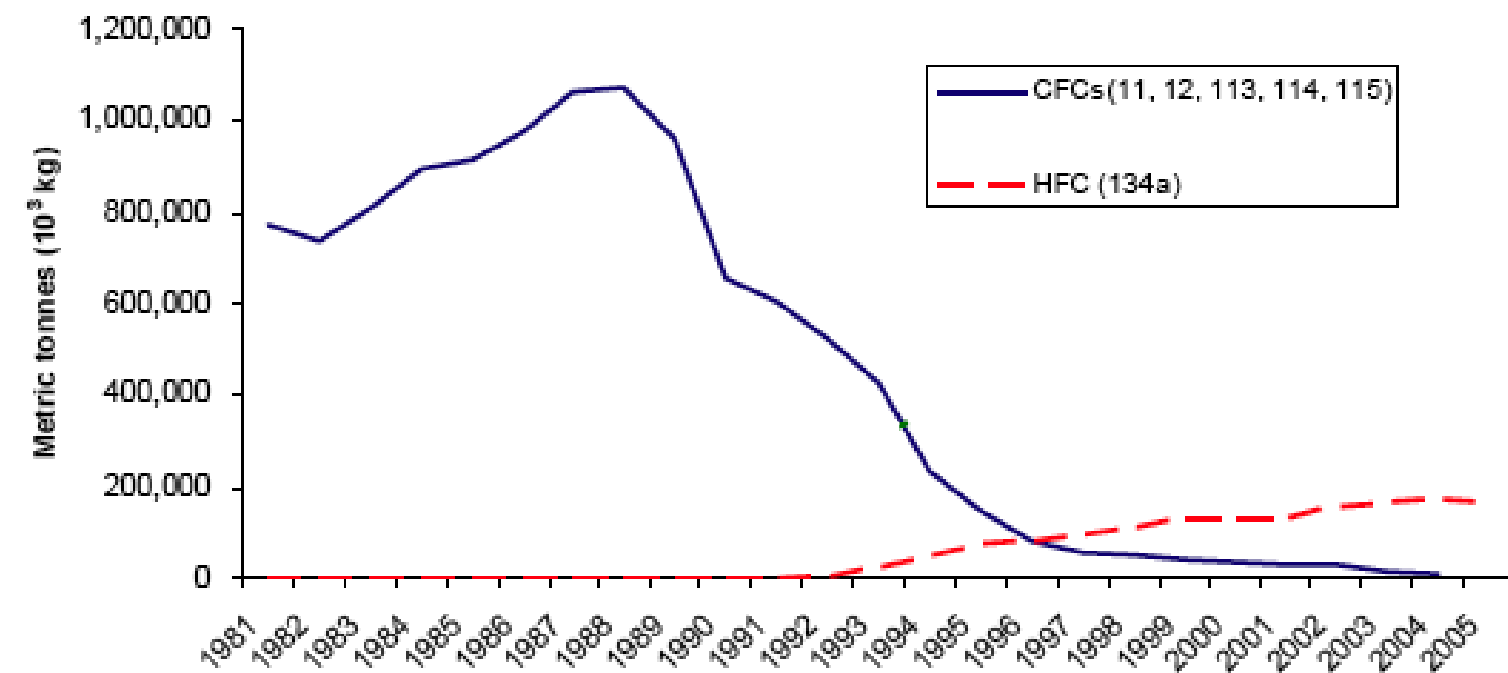


LE TROU DANS LA COUCHE D'OZONE DIMINUE OUI MAIS ...

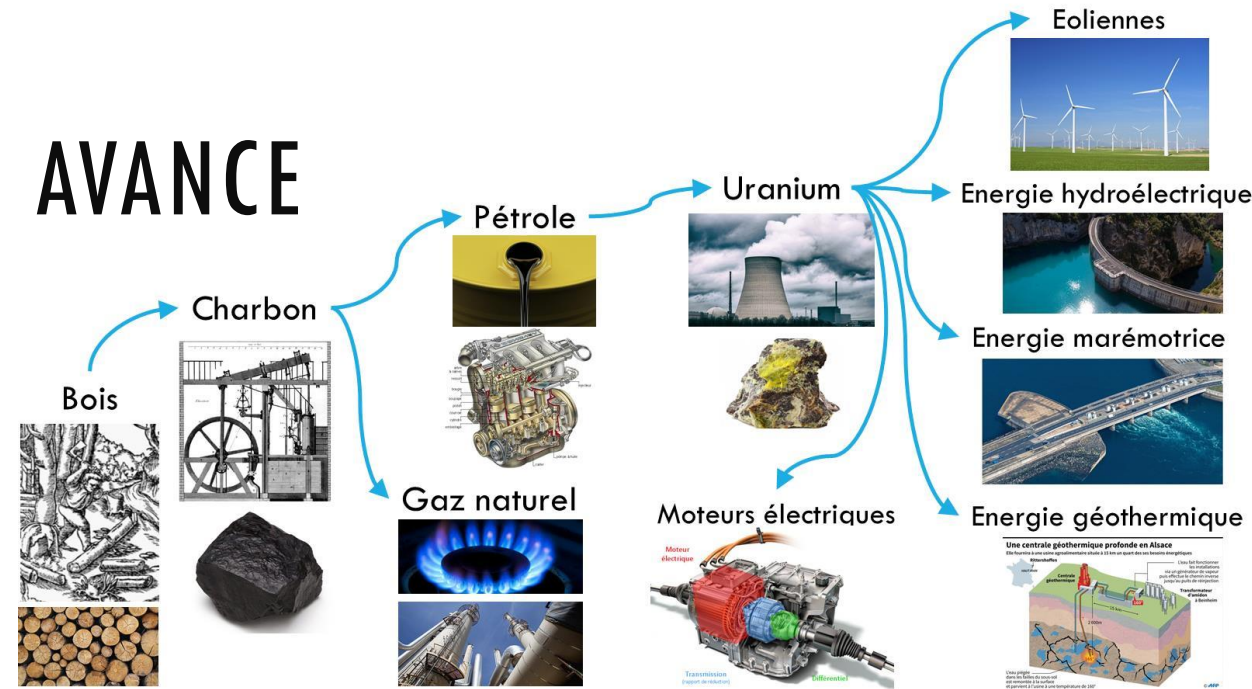


- Par les HFC (hydrofluorocarbones), un gaz à effet de serre.

- Nous avons troqué le trou dans la couche d'ozone pour du changement climatique.



LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?

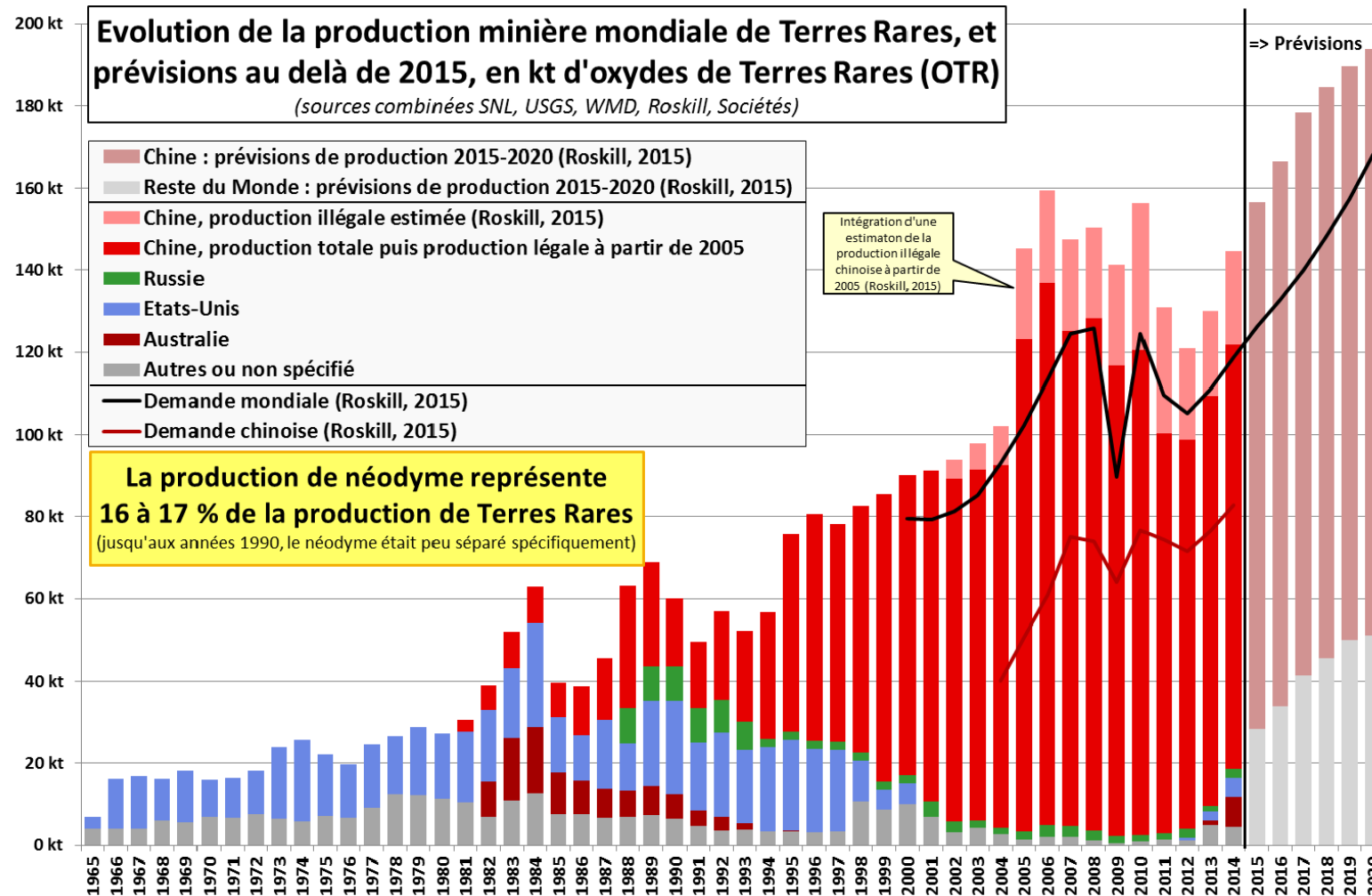


- Les énergies renouvelables reposent souvent sur des **générateurs électriques**.
- par **exemple, dans une éolienne**, le vent fait tourner un générateur électrique qui produit ainsi de l'électricité.
- Un générateur électrique comporte toujours un **aimant**. Les aimants sont, de nos jours, composés de terres rares comme le **néodyme**.

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?

Position du néodyme (Nd) dans le tableau périodique des éléments

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H																He	
2	Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	Lanthanides	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Actinides															
Lanthanides:			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Actinides:			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	



Source:

http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Fiches_critique/fichecriticite-neodyme151201.pdf

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?



- La technique d'extraction des terres rares consiste à **décaper la terre végétale** pour atteindre le minerai plus en profondeur.
- Après excavation, vient le broyage en fine poudre, puis la séparation des éléments à l'aide **d'acides puissants**.
- Ces substances chimiques finissent par **s'infiltrer dans le sol** jusqu'aux ruisseaux et aux rivières.

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?



Ouvriers travaillant dans une mine de terres rares dans la province de Jiangxi en Chine (20 Octobre 2010).

Source: <https://www.latimes.com/world-nation/story/2019-07-28/china-rare-earth-tech-pollution-supply-chain-trade>

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?



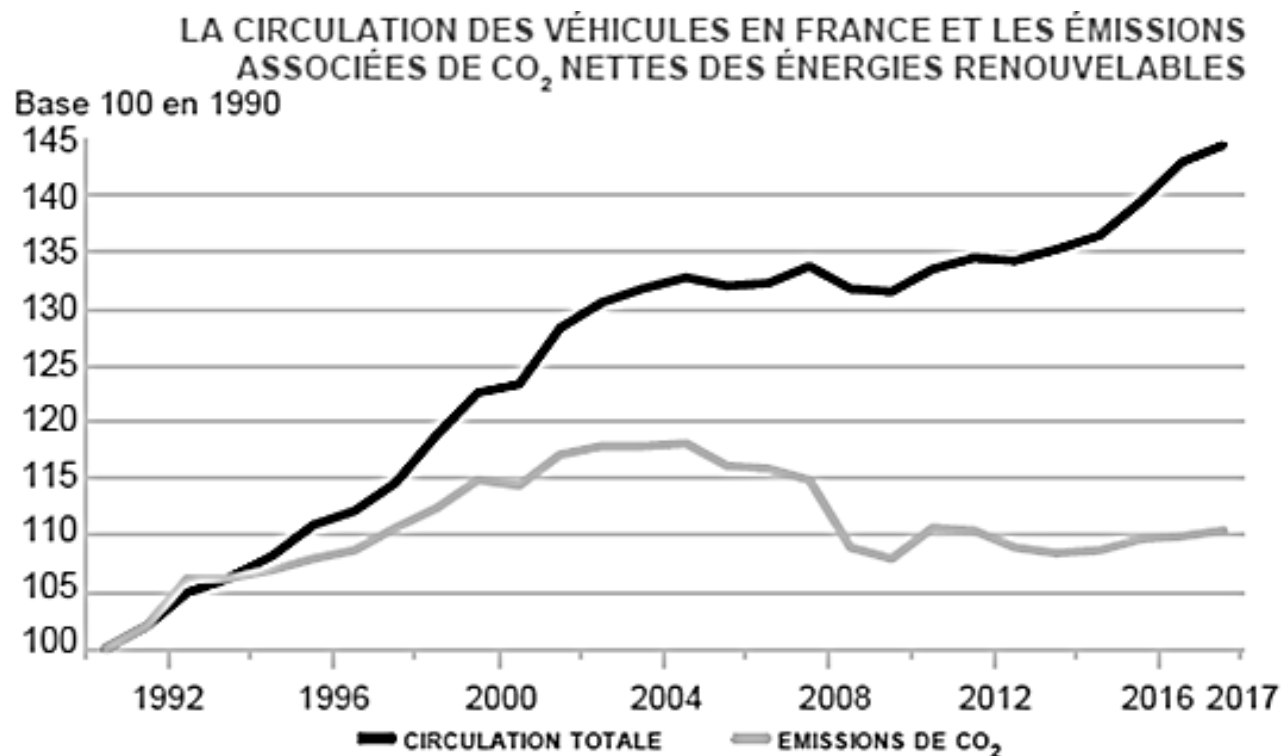
- Le raffinage produit des **poussières métalliques dangereuses** et **radioactives**, provoquant des **maladies** graves pour les ouvriers et les populations locales.
- La nécessité d'utiliser de nombreux produits chimiques dangereux rejetés dans la nature entraîne un taux de **cancers** anormalement élevé pour les habitants de Baotou, capitale mondiale de la production de terres rares.

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AVANCE OUI MAIS VERS QUOI ?

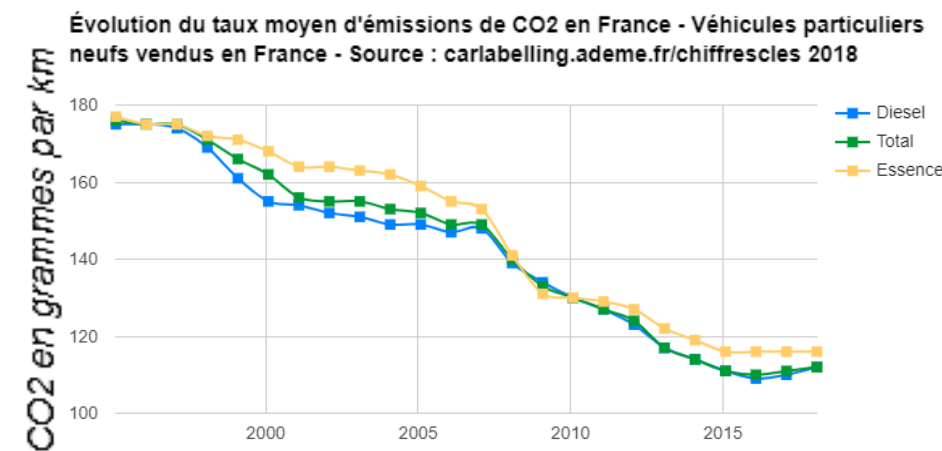
- Après **épuisement de la mine**, elle est abandonnée. Reste alors une terre désolée et très polluée, des collines dépourvues de substrat végétal où **plus rien ne peut pousser**.
- Nous sommes en train de **remplacer le problème des émissions de CO₂** liées aux énergies fossiles par deux autres problèmes:
 1. la **destruction des écosystèmes** autour des mines de **terres rares**
 2. l'émission de composants toxiques **dangereux pour la santé** des habitants des villes et villages alentours.

LES VOITURES ÉMETTENT-ELLES VRAIMENT MOINS DE CO₂ ?

- Le problème c'est qu'on **roule de plus en plus**



Sources : CITEPA, MTES/SDES/CCTN



Graphique tiré de l'étude « Industrie automobile française – Analyse et statistiques 2018 » d
Comité des constructeurs français d'automobile (CCFA)

Source: <http://www.senat.fr/rap/a18-148-3/a18-148-321.html>

LES VOITURES ÉMETTENT-ELLES VRAIMENT MOINS DE CO₂ ?

- C'est ce qu'on appelle **l'effet rebond** :

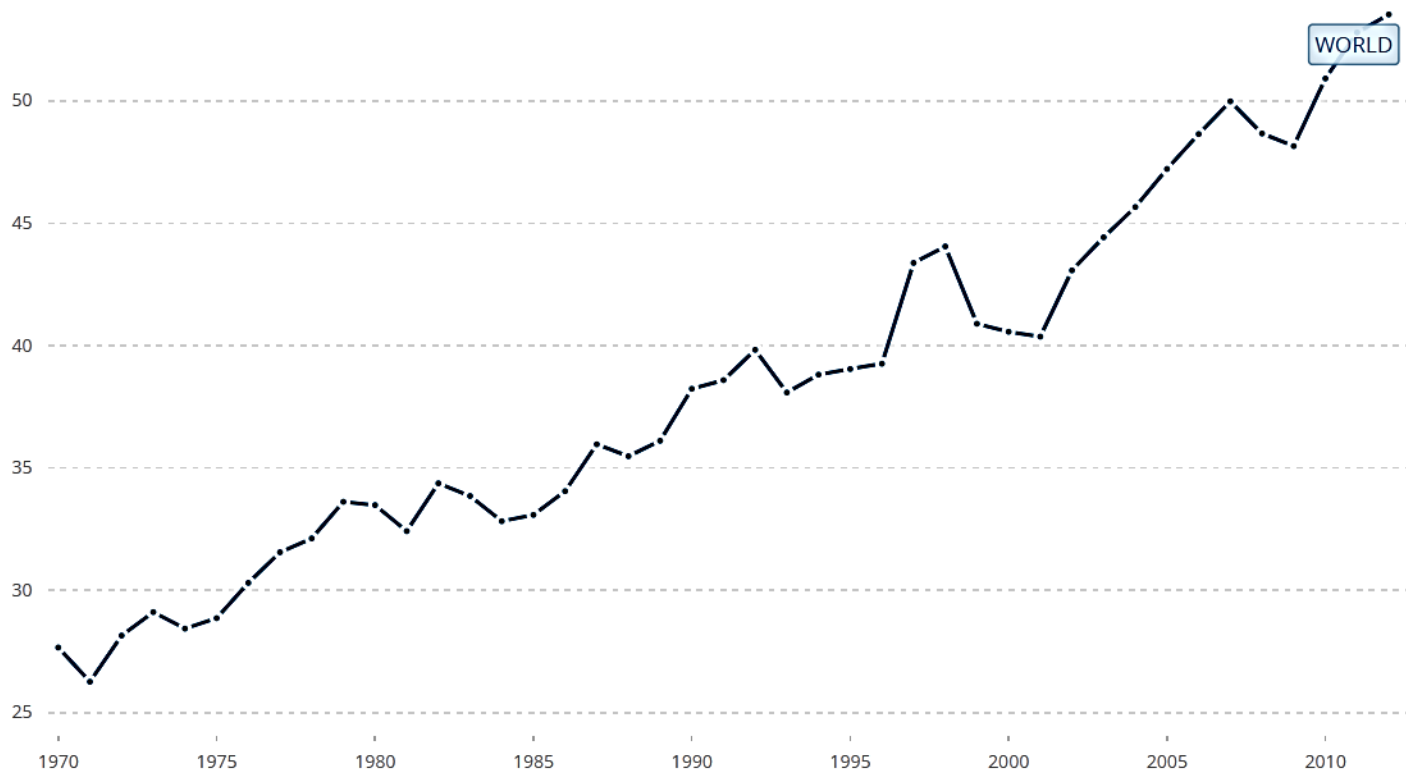
alors que l'amélioration technologique permet aux moteurs de consommer de moins en moins d'essence par km parcouru (et donc d'émettre moins de CO₂), comme cela réduit les dépenses en essence par km, les gens conduisent de plus en plus et finissent par émettre plus de gaz à effet de serre

- **L'effet rebond** est un phénomène bien connu qui annihile souvent l'effet écologique positif des innovations technologiques



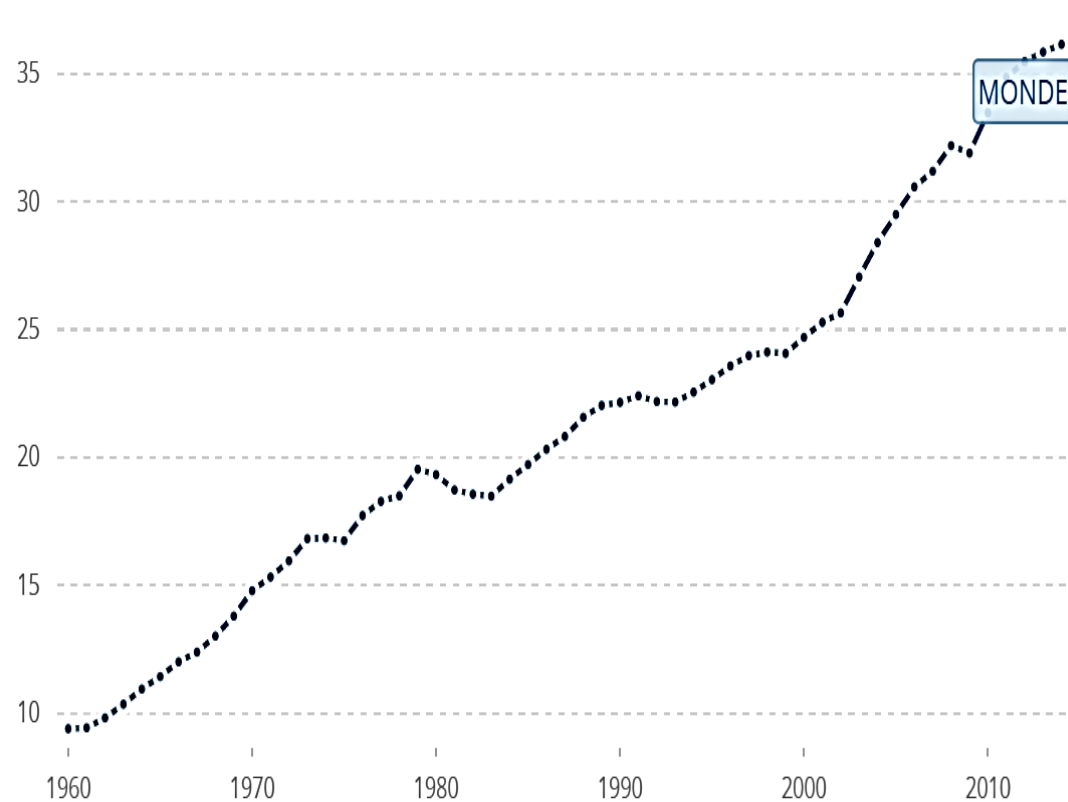
LE PROTOCOLE DE KYOTO A-T-IL VRAIMENT RÉDUIT LES ÉMISSIONS DE GES ?

Emissions mondiales des 6 gaz à effet de serre en 1970-2012 (million kt CO₂eq.)



Source: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>

Émissions mondiales de CO₂ en 1960-2014 (million kt)



Source: <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EN.ATM.CO2E.PC>

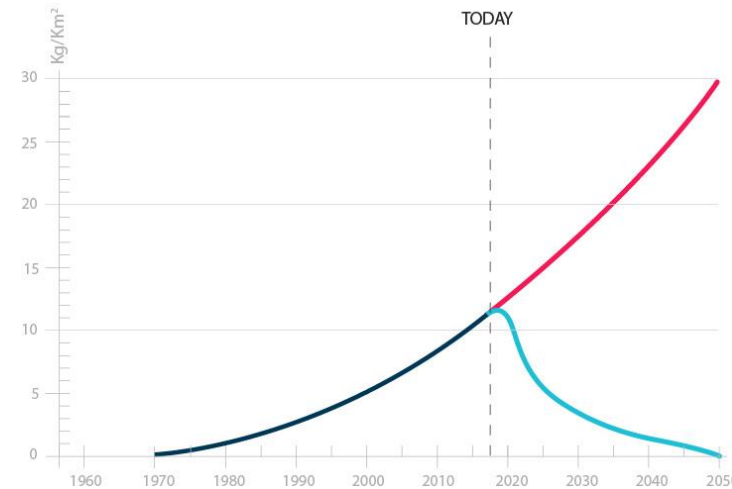
LE PROTOCOLE DE KYOTO A-T-IL VRAIMENT RÉDUIT LES ÉMISSIONS DE GES ?

- **Les émissions n'ont pas diminué** car sur les **196 pays** ayant signé le protocole de Kyoto, seuls **37 pays industrialisés** se sont engagés à réduire leurs émissions.
- Les principaux pays émetteurs de GES n'ont pas participé aux efforts du protocole de Kyoto: les **Etats-Unis** n'ont pas ratifié le protocole, **le Canada** s'est retiré en 2011, **la Chine** a ratifié mais n'avait pas d'objectif de réduction contraignant.
- Pour réduire leurs émissions, **les 37 pays industrialisés** ont, entre autre, **délocalisé** leurs industries polluantes dans les pays émergents qui ont donc émis encore plus de GES (dont la **Chine**).

ON NETTOIE LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS



- Le graphique ci contre ne montre en réalité que les **plastiques flottant** à la surface de l'océan
- Ceux-là, on peut les nettoyer plus facilement
- Et ceux qui flottent dans la **colonne d'eau**?
- Et ceux qui se déposent sur les **fonds marins**?
- Et ceux qui s'échouent sur les **plages**?



ON NETTOIE LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS



0,3%

La quantité totale de plastiques flottant accumulée à la surface des océans est de ~**268000 tonnes** en 2010

Source: Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, et al. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS ONE 9(12): e111913.

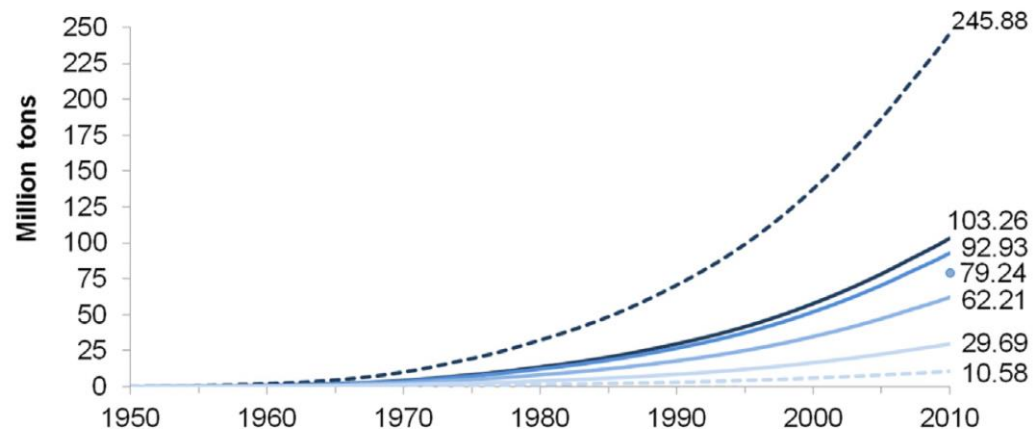
La quantité totale de plastiques accumulée dans les océans (**déposés sur le fond, échoués sur les plages et flottant** dans la colonne d'eau ainsi qu'à la surface des océans) est de ~**79 000 000 tonnes** en 2010

Source: Cordier M. and Uehara T., 2019. How much innovation is needed to protect the ocean from plastic contamination? Science of the total environment 670 (2019) 789–799.

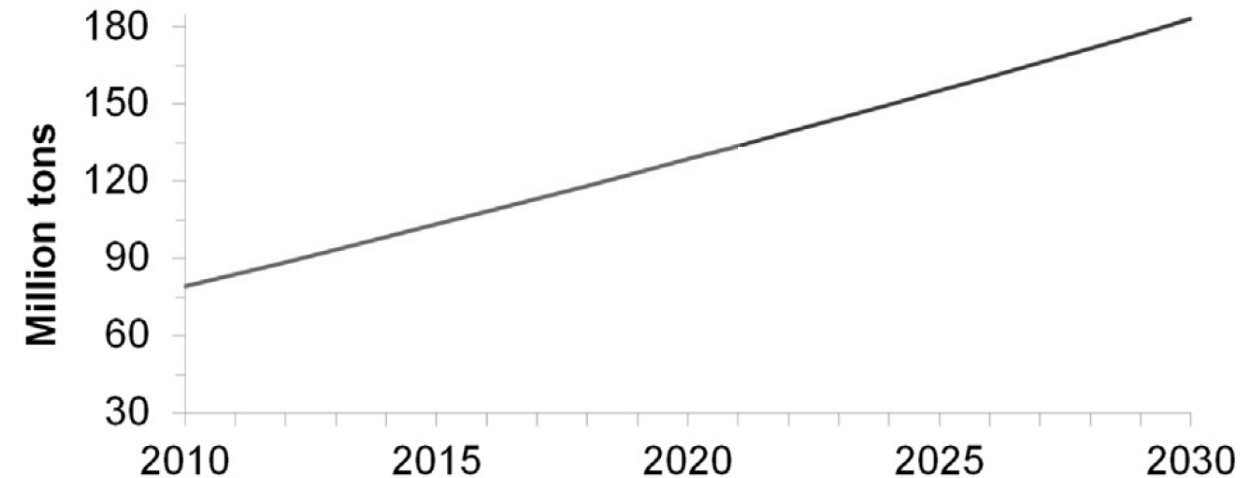
ON NETTOIE LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS



- Les technologies d'Ocean Cleanup peuvent nettoyer au mieux **0.3%** seulement des plastiques accumulés dans les océans
- C'est dérisoire. La **quantité totale de plastiques accumulée** à la surface et dans les profondeurs des océans ainsi que sur les plages **ne cesse d'augmenter** :

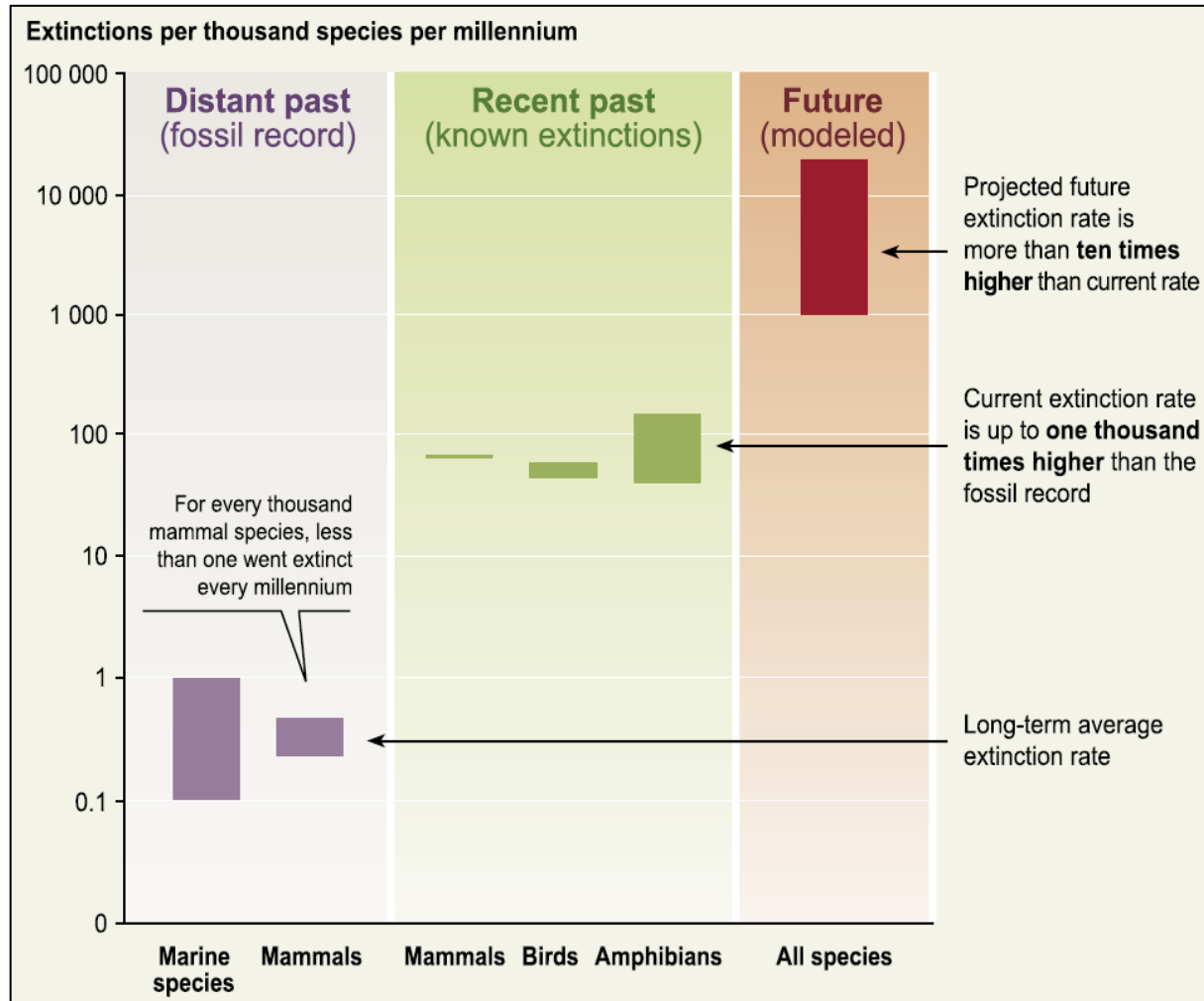


--- 12.70 million t/year - Jambeck et al. (2015)'s data entered in Eq. (6)
— 4.0 million t/year - Schmidt et al., (2017)'s data entered in Eq. (6)
— 4.80 million t/year - Jambeck et al. (2015)'s data entered in Eq. (6)
— 2.41 million t/year - Lebreton et al. (2017)'s data entered in Eq. (6)
— 1.15 million t/year - Lebreton et al. (2017)'s data entered in Eq. (6)
--- 0.41 million t/year - Schmidt et al. (2017)'s data entered in Eq. (6)
• 79.24 million tons - Geyer et al. (2017) and Jambeck et al. (2015)'s data entered in Eq. (S1)



Source: Cordier M. and Uehara T., 2019. How much innovation is needed to protect the ocean from plastic contamination? Science of the total environment 670 (2019) 789–799.

LA CRISE DE LA BIODIVERSITÉ



Le taux d'extinction est, selon les espèces, de **50 à 1000 fois plus élevé** au 20^{ème} siècle que le taux observé dans le passé (études fossiles)

Source: Millennium Ecosystem Assessment (ONU, FAO, UNESCO, UNEP, IUCN, etc., 2005)

- Les technologies propres ne parviennent pas à endiguer la **crise de la biodiversité**

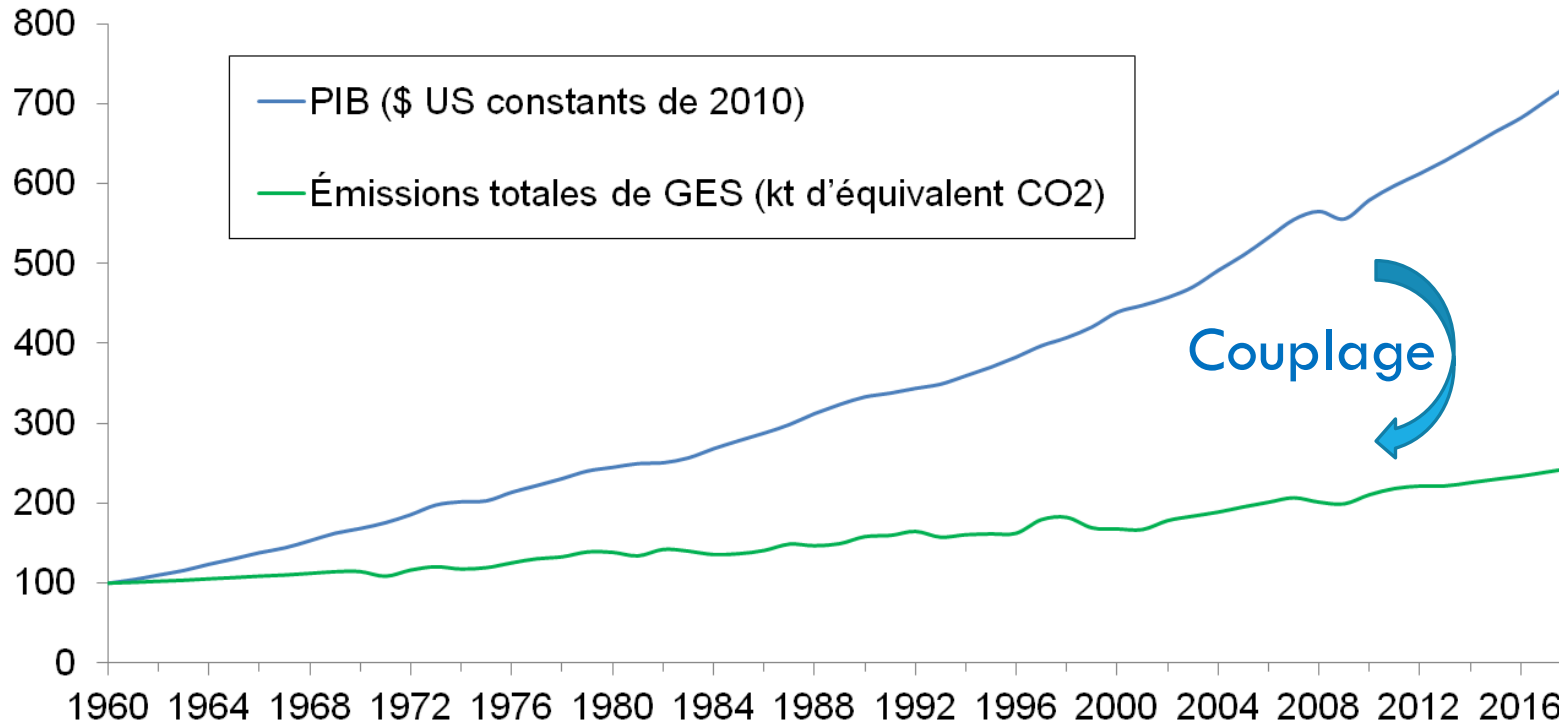
QUESTION No. 3

Si les technologies n'ont pas apporté une solution suffisante pour résoudre les problèmes écologiques de ce 21^{ème} siècle, quelle est la **solution**?

DÉCOUPLER LA POLLUTION DU PIB

PIB mondial

(base 100 = valeur de 1960)



. reg co2 pib

Source	SS	df	MS	Number of obs =
Model	2.2419e+15	1	2.2419e+15	43
Residual	6.7436e+13	41	1.6448e+12	F(1, 41) = 1363.02
Total	2.3093e+15	42	5.4983e+13	Prob > F = 0.0000
				R-squared = 0.9708
				Adj R-squared = 0.9701
				Root MSE = 1.3e+06

co2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
pib	4.88e-07	1.32e-08	36.92	0.000	4.61e-07 5.15e-07
_cons	1.86e+07	571259.7	32.56	0.000	1.74e+07 1.98e+07

DÉCOUPLER LA POLLUTION DU PIB

1. Augmenter l'intensité d'utilisation des produits

Développer des produits à fonctionnalités multiples ou développer des systèmes de partage pour réduire la consommation matérielle:

- covoiturage en entreprises,
- covoiturage interurbain:
www.covoiturage.fr
- Système de partage de vélos: Velib'
- Système de partage de voitures électriques: Autolib'
- Médiathèques et autres systèmes de prêts et de locations
- Ventes de seconde main (www.leboncoin.fr)

2. Dématérialiser l'économie et changer la composition du PIB

2.1. Comment vendre l'usage au lieu de l'objet (économie de fonctionnalité)?

Exemple: un fabricant de **photocopieurs** qui vend le service « photocopies » au lieu de la machine, a ainsi tout intérêt à ce que son photocopieur, dont il **reste propriétaire**, nécessite le moins de matière possible, ait une durée de vie fonctionnelle la plus longue possible, soit aisément recyclable, etc.

2.2. Réduire la consommation matérielle pour favoriser les consommations de service

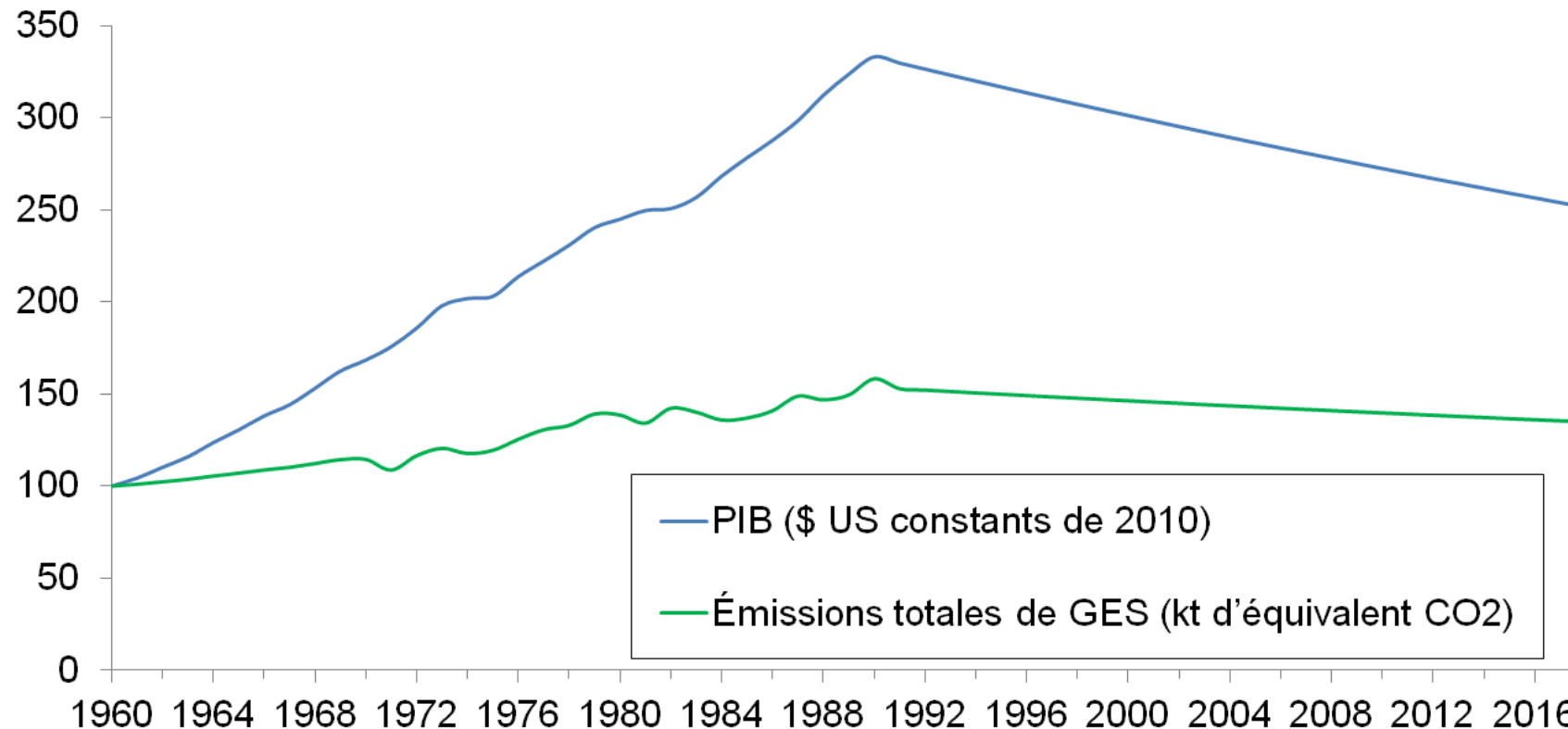
Exemple: réduction de la **culture de la consommation** par un contrôle plus strict de la publicité (espaces urbains sans pubs, temps d'antennes (télé, radio) interdits à la pub, etc.). Passer ainsi de la culture de la surconsommation ou de « l'avoir » à une culture de « l'être » (cf. slogan « Plus de liens, moins de biens! »).

LA DÉCROISSANCE DU PIB ?

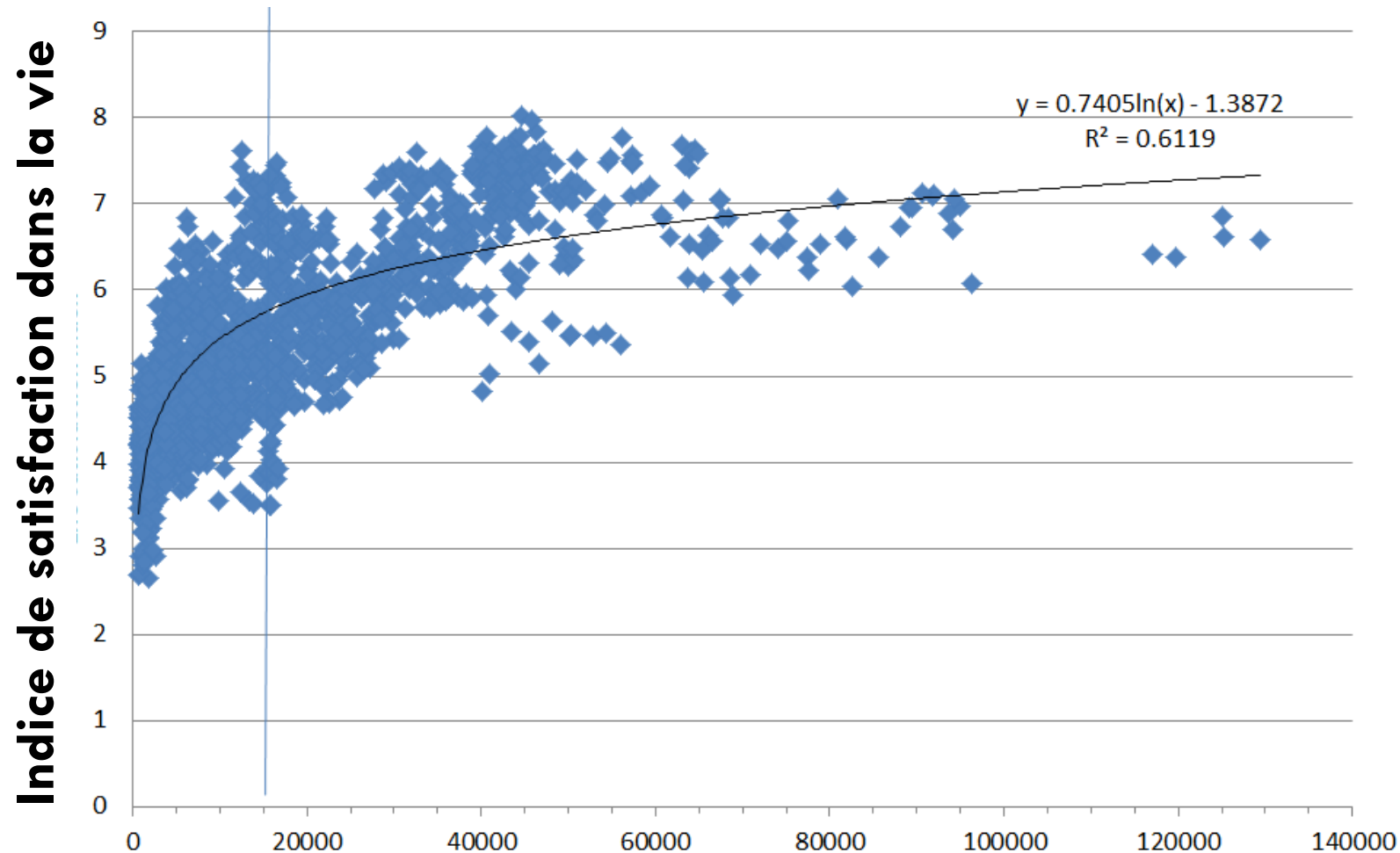
- Scénario de décroissance du PIB mondial (-1% par an à partir de 1991)

PIB mondial

(base 100 = valeur de 1960)



LA DÉCROISSANCE REND-ELLE MALHEUREUX ?



(données par pays sur
la période 2005-
2017)

Sources:

Happiness and Life Satisfaction

by Esteban Ortiz-Ospina and Max Roser

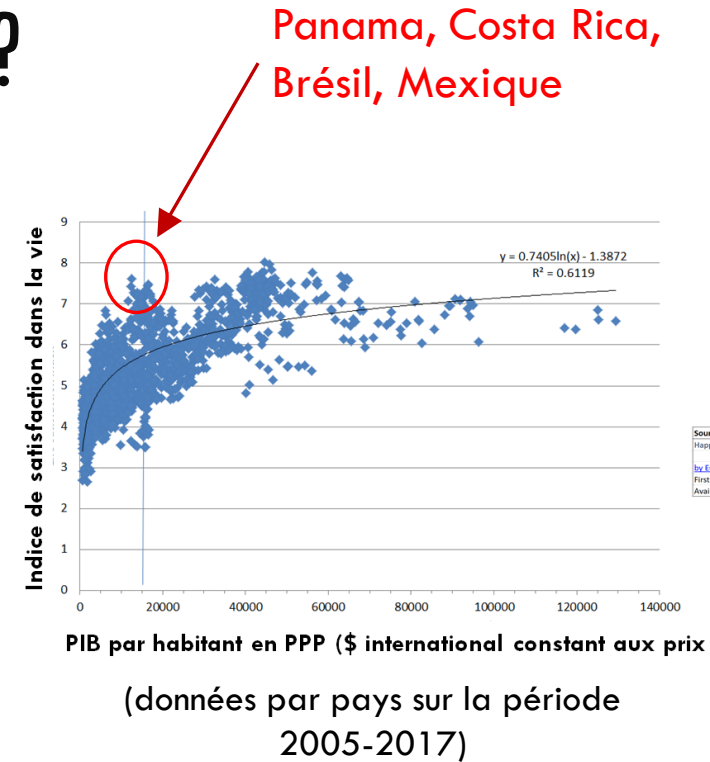
First published in 2013; substantive revision May 2017.

Available at: <https://ourworldindata.org/happiness-and-life-satisfaction>

PIB par habitant en PPP (\$ international constant aux prix de 2011)

LA DÉCROISSANCE REND-ELLE MALHEUREUX ?

- Le graphique montre que l'argent contribue au sentiment de satisfaction dans la vie mais seulement jusqu'à un certain seuil.
- Au-delà de ce seuil, le sentiment de satisfaction dans la vie augmente de moins en moins fort et tend à quasiment stagner même quand le revenu augmente.
- Ce seuil se situe quelque part entre 15 000 et 40 000 \$ de revenu annuel brut (aux prix de 2011) :
 - = salaire annuel brut de 13 730 à 36 613 € (prix de 2019).
 - = salaire mensuel net de ~915 à 2200 € (prix de 2019).



CONCLUSION

- Investir dans les **technologies propres**, pourquoi pas. Cela peut aider à **corriger les erreurs du passé**.
- Par contre tout miser sur **l'innovation technologique**, cela **ne fonctionnera pas !**
- Des **solutions d'une autre nature** doivent être développées en parallèle:
 - mettre en place des mesures visant à contrôler la corruption à tous les niveaux de décision
 - réduire et réguler la publicité fortement
 - augmenter le niveau d'éducation à l'école
 - réduire la consommation matérielle
 - partager, réutiliser et réparer les biens de consommation au lieu de les jeter
 - n'envisager le recyclage qu'après avoir mis en œuvre les solutions susmentionnées