



Concilier préservation de la planète et développement !?

« Répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs » - rapport Bruntland sur le développement durable (1987)

Bruno Bensasson,
Directeur Exécutif Groupe Energies Renouvelables EDF
Président Directeur Général d'EDF Renouvelables

*Support projeté lors d'une conférence en octobre 2020
mis à jour en août 2023*





SOMMAIRE

- 1.** Le développement durable est-il possible?
- 2.** Un problème qui fait débat
- 3.** Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
- 4.** Et donc, au total?
- 5.** Les outils pour le faire
- 6.** Conclusion

Le PIB : la pire mesure de l'activité économique... à l'exception de toutes les autres



La réalité économique ne saurait se réduire à un chiffre. Le PIB ignore notamment :

- L'activité domestique (travail au foyer)
- La destruction de capital => PIN
- Les inégalités => Indice de Gini, P50, etc.
- Le capital naturel => prix du CO₂, etc.

Des indicateurs plus complets ont été conçus :

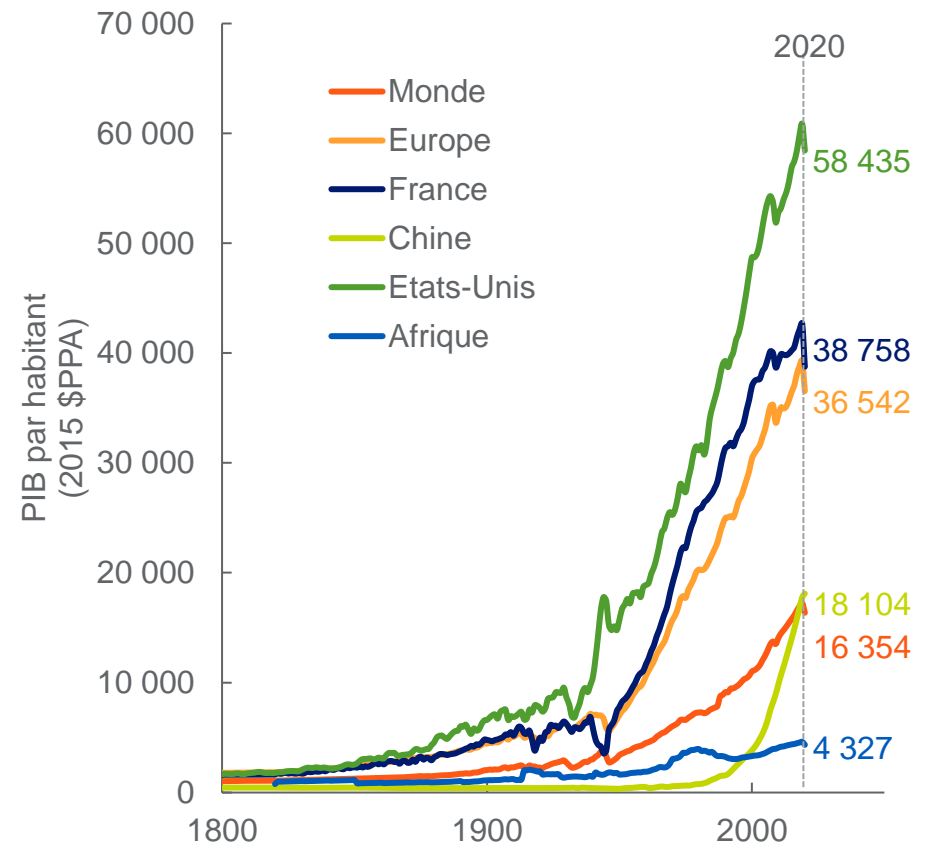
- Indice de Développement Humain (IDH)
- Indice de Progrès Véritable (IPV)

... mais ils n'ont eu guère de succès pour l'heure. Car trop composites ?



Et le PIB en volume (= corrigé de l'inflation et du pouvoir d'achat des devises) reste l'indicateur le plus simple à établir par les comptes nationaux et à utiliser **pour comparer les niveaux de vie moyens dans le temps et l'espace.**

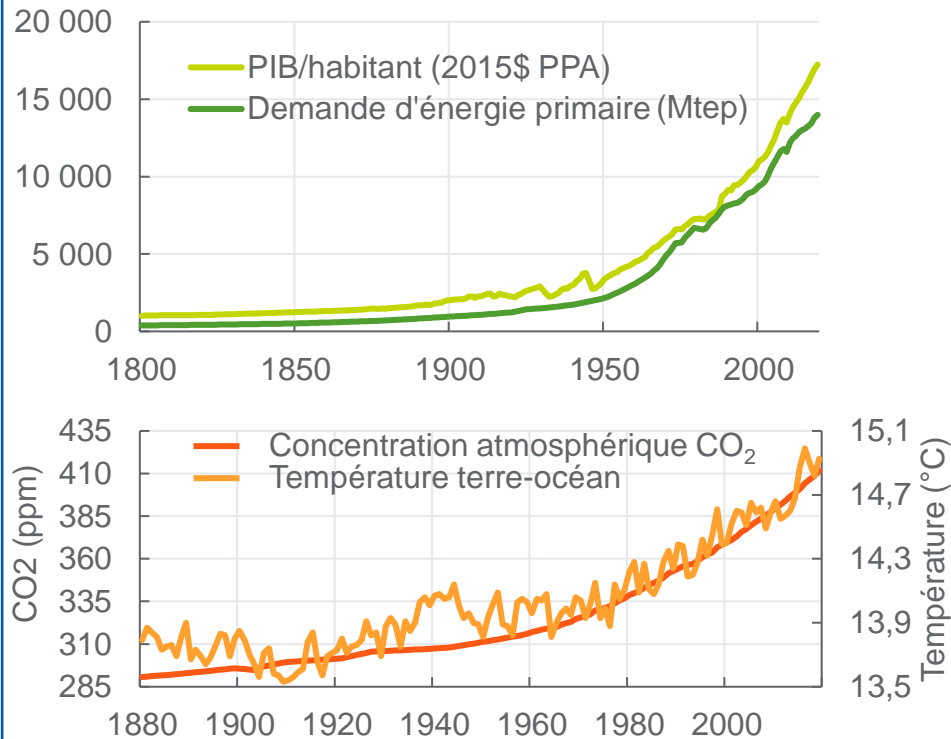
Historique du PIB / habitant



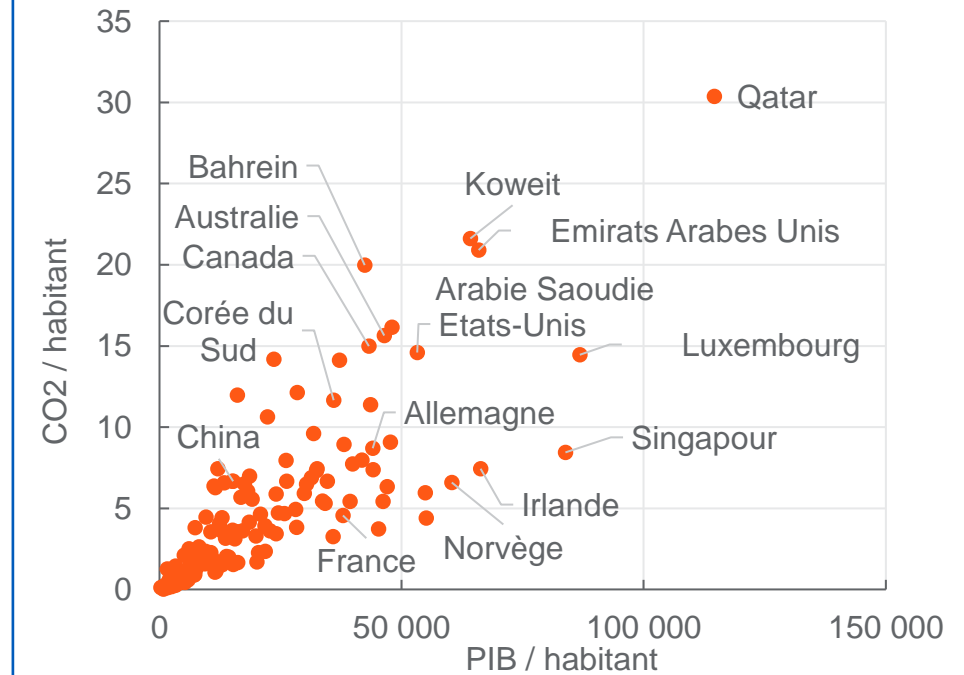
Source : Angus Maddison et Oxford Economics

La dépendance de l'économie aux énergies fossiles... comme un petit problème!

Une corrélation dans le temps...



... et dans l'espace



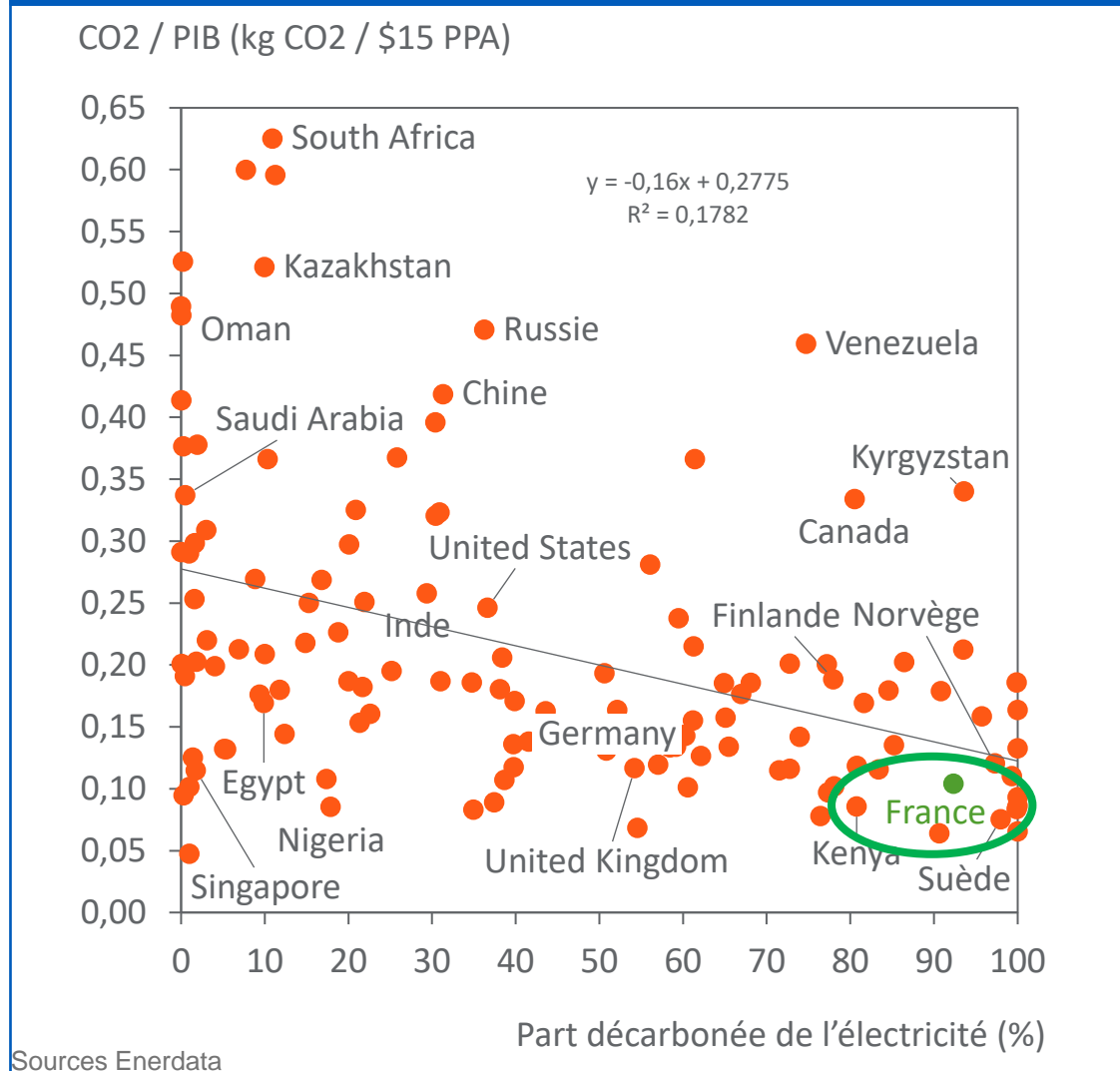
PIB, consommation d'énergie, émissions de CO₂ et températures ont crû de façon parallèle, les pays les plus riches étant (souvent) les plus émetteurs

Sources : Angus Maddison (until 1979), Oxford Economics, Hannah Ritchie and Max Roser, BP, Enerdata, CDIAC

Source : AIE

Bonne nouvelle : il pourrait bien y avoir une solution et EDF en fait partie

Part décarbonée dans la production d'électricité et CO₂ / PIB



Une corrélation encourageante entre :

- % d'énergies décarbonées dans le mix électrique
- Et intensité CO₂ du PIB

Concilier préservation de la planète et développement supposera de :

- Réduire l'intensité énergétique du PIB (E/Y)
- Substituer les énergies sans CO₂ aux énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) pour réduire l'intensité CO₂ de l'énergie (tCO₂/E)
- Amener ces énergies, au meilleur coût, sous forme d'électricité, de vapeur, d'H₂, voire de carburants de synthèse (aviation) **vers de nouveaux usages** :
 - Industries
 - Transports
 - Bâtiments

Mais sera-ce suffisant ?



SOMMAIRE

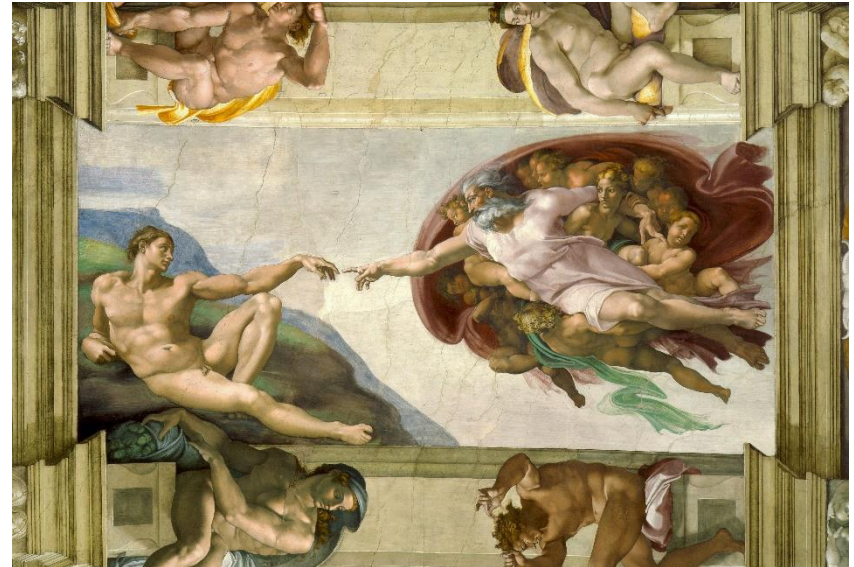
1. Le développement durable est-il possible?
2. Un problème qui fait débat
3. Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
4. Et donc, au total?
5. Les outils pour le faire
6. Conclusion

Un débat religieux : soumettre la terre ou soigner le jardin ?



« Croissez et multipliez, remplissez la terre et soumettez-là »

Genèse 1.28



« D. prit donc l'homme et l'établit dans le jardin d'Eden pour le cultiver et le soigner » Genèse 2.15

Si la question du rapport de l'homme au reste de la nature se retrouve dans toutes les traditions religieuses, la réponse reste souvent ambiguë.

Un débat philosophique : la nature objet ou sujet ?



René Descartes (1596-1650)

« La technique nous rend comme maître et possesseur de la nature »



Hans Jonas (1903-1993)

« Agis de telle sorte que tes actions soient compatibles avec la permanence d'une vie humaine authentique sur la terre »

La philosophie aussi alimente le débat du rapport d'Homo Sapiens à la Nature, propriété à exploiter, environnement à préserver ou sujet à respecter

Un débat économique : cela va coûter oui, mais combien ?



Thomas Robert Malthus (1766-1834)

« La population augmente de manière géométrique, et la nourriture de manière arithmétique »



Nicholas Stern (1946-)

« The benefits of strong, early action on climate change outweigh the costs »

Certains jugent la croissance incompatible avec les 2°C, d'autres estiment qu'on peut les respecter au prix d'un impact minime sur le PIB, 3% cumulé d'ici 2050

Un débat générationnel : tout cela pour nos petits-enfants ?



Donald Trump

« Afin de remplir mon devoir solennel de protéger les États-Unis et leurs citoyens, les États-Unis se retireront de l'accord de Paris sur le climat »



Greta Thunberg

« Nous sommes au début d'une extinction de masse, et tout ce dont vous parlez c'est d'argent, et de contes de fées racontant une croissance économique éternelle. »

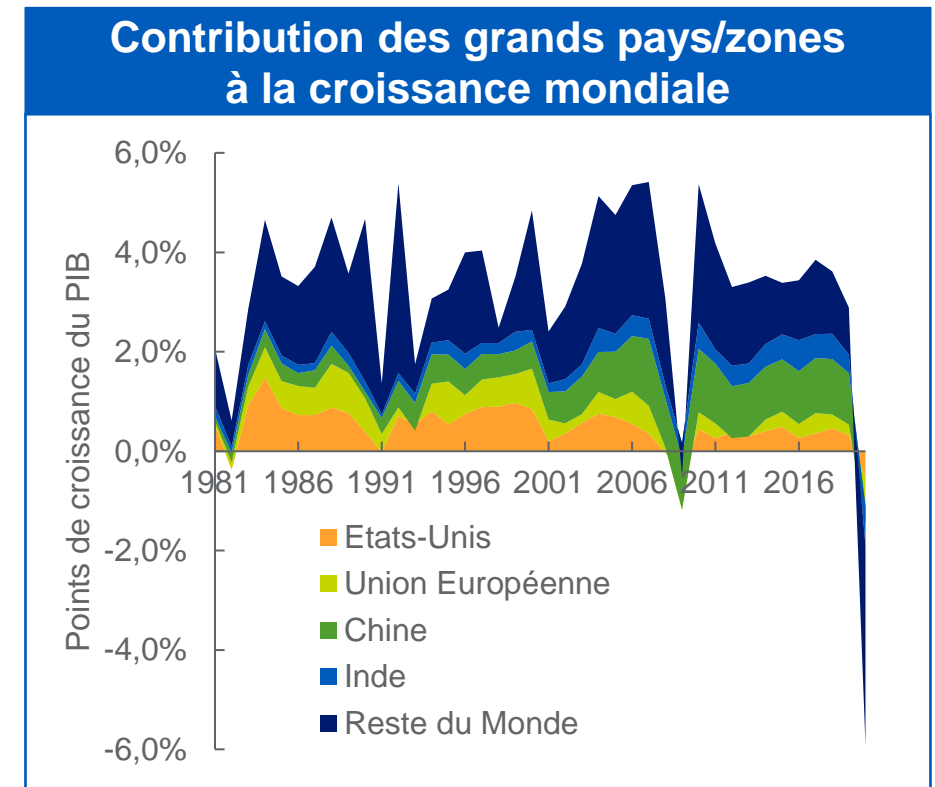
Les générations actuelles / âgées sont-elles prêtes à vivre (un peu) moins bien pour le bénéfice des générations futures / jeunes ?

Un débat diplomatique : la juste répartition de l'effort ?



Sommet de Rio – juin 1992

« Etant donné la diversité des rôles joués dans la dégradation de l'environnement mondial, **les Etats ont des responsabilités communes mais différenciées** »



Source : Oxford Economics

Jeu coopératif et dilemme du prisonnier : chacun aurait avantage à ce que les autres fassent l'effort et les raisons pour le justifier ne manquent pas

Un débat social : pas tous égaux devant l'effort !



« La fin du mois
avant la fin du monde »



« Fin du monde
Fin du mois
Même combat »

Même au sein d'un des pays développés parmi les plus égaux⁽¹⁾ (après impôts et transferts), un même prix du CO₂ affecte les uns plus que les autres

(1) Indice de Gini de la France : 0,28 en 1996 et 0,3 en 2020. Au sein d'une distribution allant de la Norvège (0,28) à l'Afrique du Sud (0,63) en passant par Chine (0,38), les Etats-Unis (0,40)



SOMMAIRE

1. Le développement durable est-il possible?
2. Un problème qui fait débat
3. Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
4. Et donc, au total?
5. Les outils pour le faire
6. Conclusion

Offre ou demande, cela dépend des circonstances !



Jean-Baptiste Say
(1767-1832)

« C'est la production qui ouvre des débouchés aux produits »



John Maynard Keynes
(1883-1946)

« Le long terme est un mauvais guide pour les affaires courantes. A long terme, nous sommes tous morts. »

Faute d'une **demande** suffisante (Y_D), le **PIB effectif** (Y) peut être inférieure à l'**offre potentielle** à prix flexibles (Y_S).

Mais la flexibilité des prix (et salaires et taux) réels permet à Y de revenir vers Y_S à **moyen terme**, de fermer « le gap ».

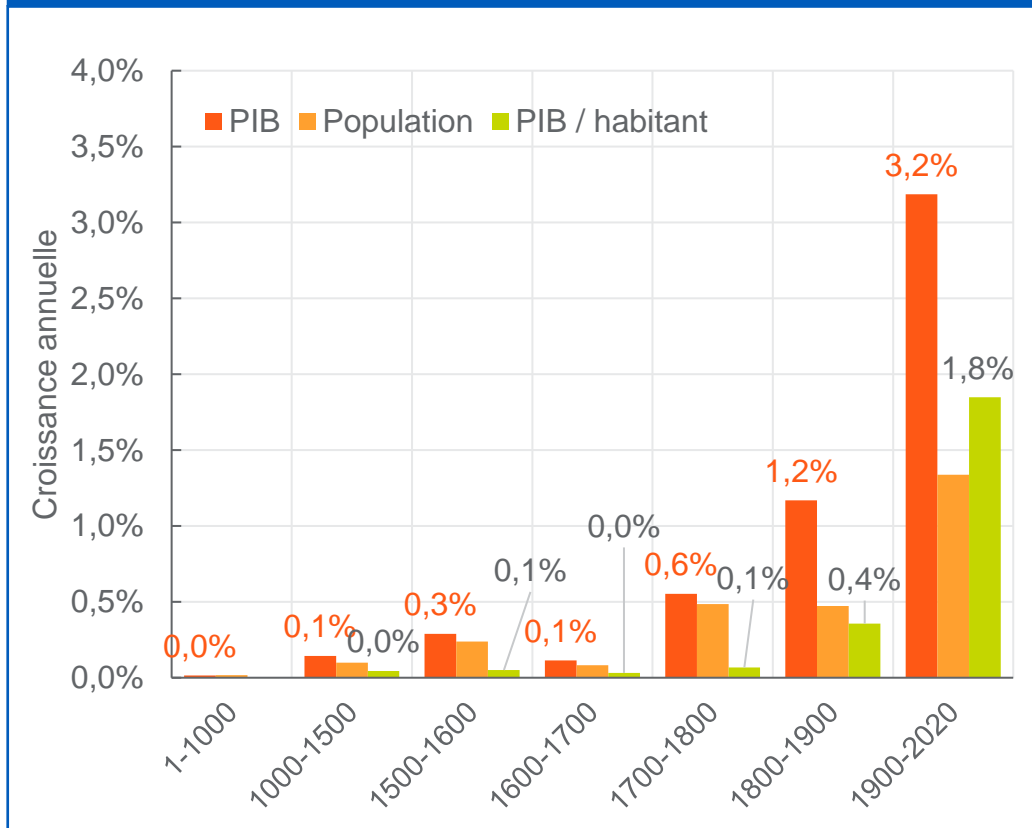
En combien de temps ? **6 à 24 mois dans les modèles usuels**. Sans doute plus après la crise actuelle ! Mais pas 30 ans...

A 30 ans, l'offre potentielle est déterminante. Or, moins de fossiles :

- C'est assurément **moins de dégâts** sociaux, économiques, environnementaux
- Mais **une offre potentielle relativement moindre à court/moyen terme**. De combien ?

Le progrès de la productivité : une parenthèse heureuse ?

Evolution du PIB et de la population depuis 2000 ans



Source : Maddison

Dans les modèles les plus simples⁽¹⁾, l'offre Y_t dépend du travail (L), du capital (K) et de la productivité des facteurs (a), par exemple (Solow) : $Y_t = a_t \times K_t^{0,33} \times L_t^{0,67}$

Alors le PIB/habitant dépend d'abord de la **productivité des facteurs** (innovation, éducation, etc.), qui a connu un **progrès spectaculaire depuis 1800 (seulement)**.

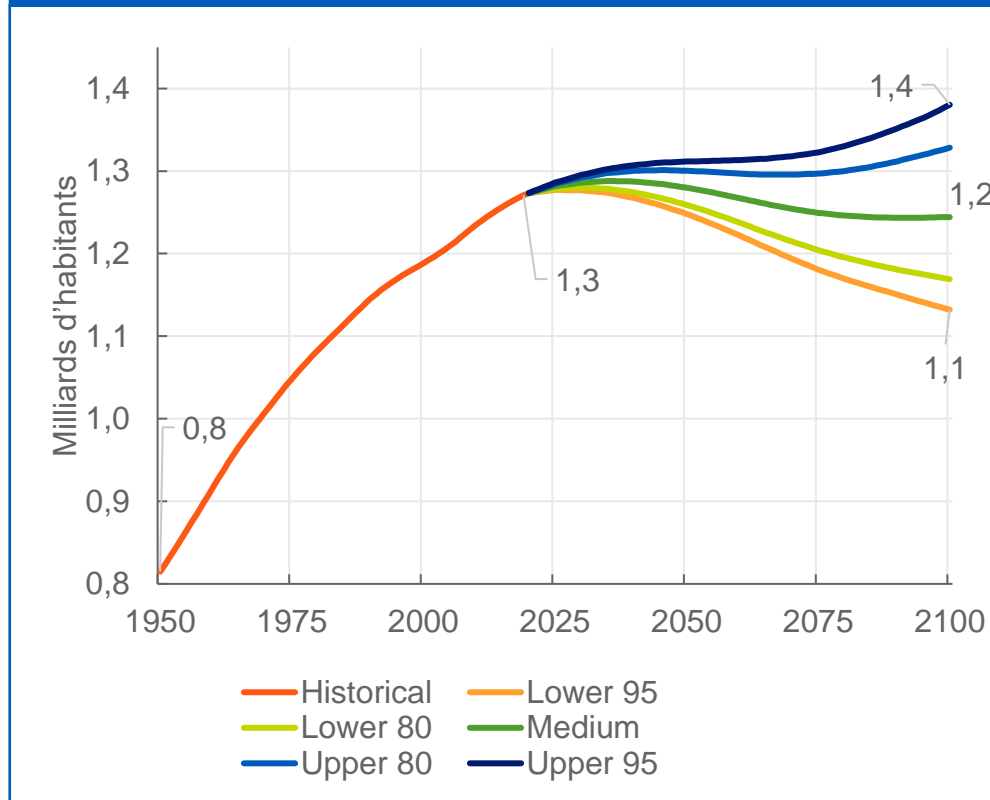
Progrès **exogène** ou **endogène** (R&D) ?
Eternel ou **ralenti** (stagnation séculaire) ?
Neutre ou **biaisé** en faveur du climat ?

- (+) **Rattrapage** des émergents, nouvelles **technologies** (info, bio, nano, etc.)
- (-) **Dégâts** environnementaux, **rareté** des ressources, **inégalités**, **protectionnisme**

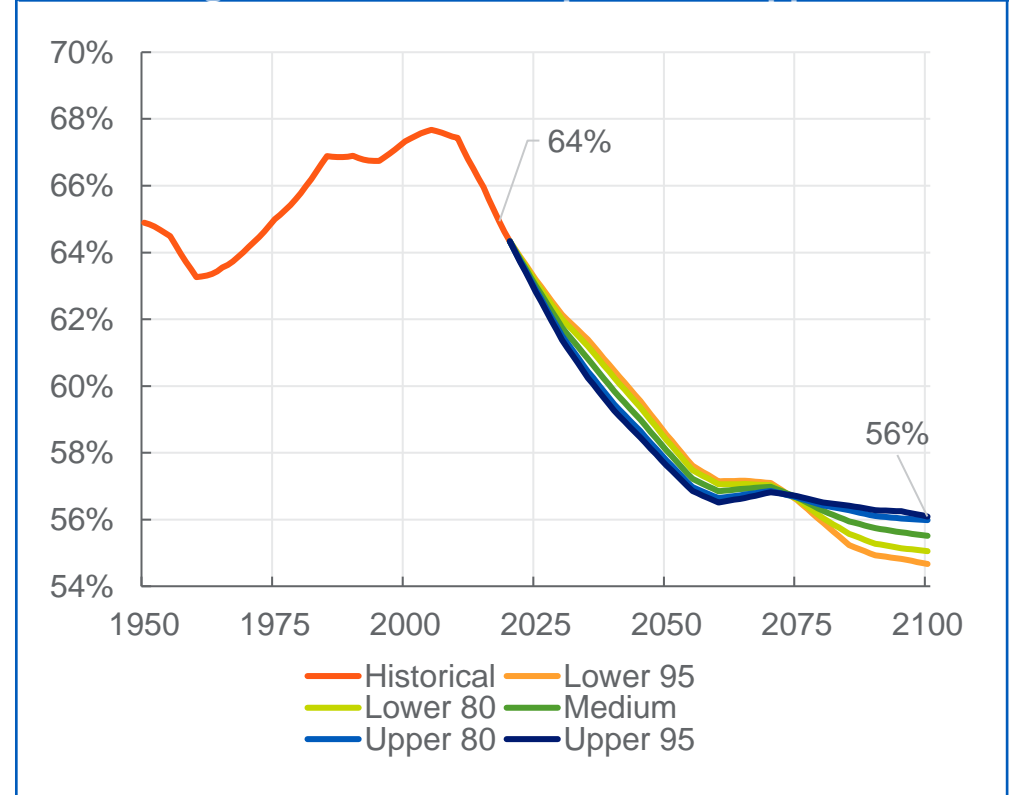
(1) On peut aussi introduire, sans faire trop compliqué, d'autres facteurs comme les ressources naturelles, énergétiques ou non (modèles KLEM). Les fonctions à élasticité de substitution constante (CES) sont également utiles par exemple $Y = 1/(1/K+1/L)$

Le travail : plus nombreux, mieux formés ? ... mais plus vieux

Projections probabilistes de la population
Régions du monde les plus développées



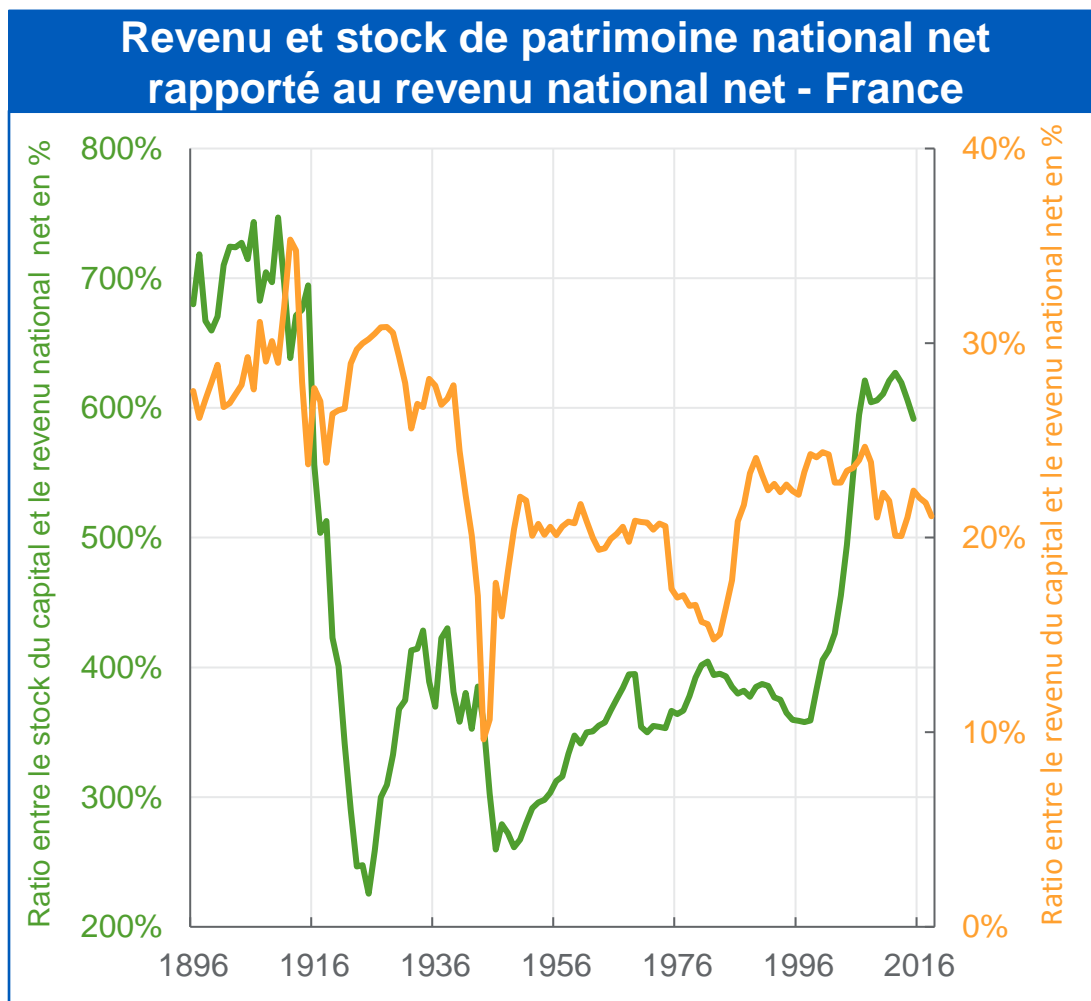
Part de la population en age de travailler dans la
population totale
Régions du monde les plus développées



Sources : UN population prospect

Si la population de l'OCDE croîtra jusque 2030, la population en âge de travailler a déjà atteint son pic (en Chine aussi), ce qui pèsera sur le PIB et le PIB/habitant

Le capital : l'intendance suivra...



Source : World Inequality Database

Le capital (K) aujourd'hui ne manque pas et atteint même des niveaux historiques⁽¹⁾ lorsqu'on le rapporte au PIB.

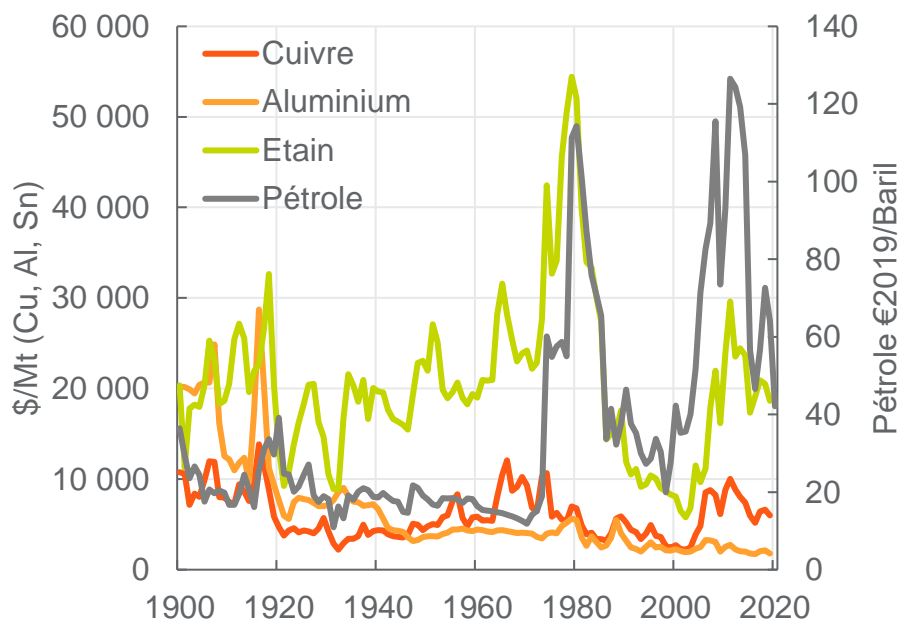
Même si l'investissement privé chute avec la crise faute de débouchés/rentabilité, il devrait se redresser ensuite.

Ainsi tant que la démographie soutiendra l'épargne, le capital suivra. Et il en faudra pour réduire les fossiles (ex : bâtiments) !

(1) Même si une partie de la hausse récente doit tenir non à l'investissement mais à des effets optiques de revalorisation, les prix des actifs rapportés aux revenus étant d'autant plus hauts que les taux d'intérêts sont bas... donc qu'ils rapportent peu !?

Les ressources naturelles : épuisables ou renouvelables?

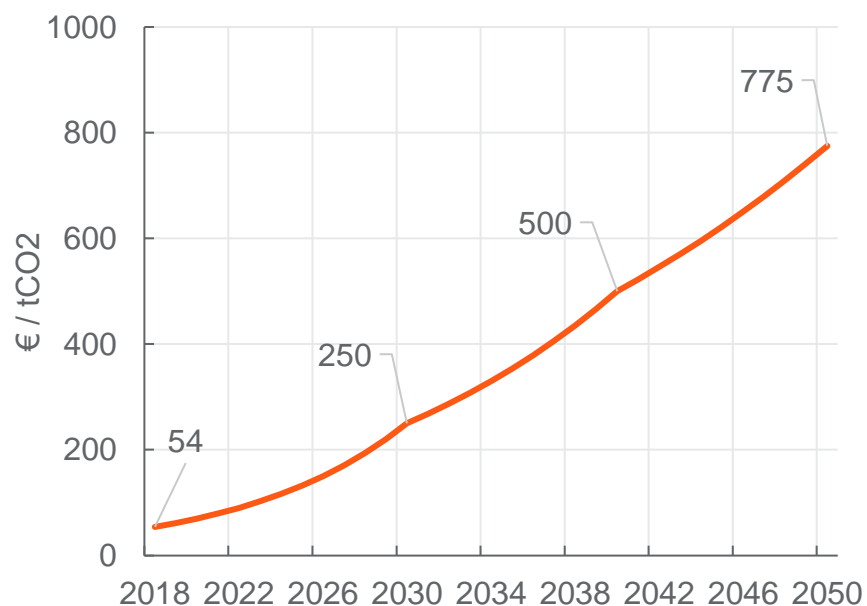
Prix de matières premières



- Sur de longue période, les prix réels des matières ont baissé ou n'ont pas eu de tendance marquée

Sources : Geronimi and al (2018), World Bank, FMI, BP

Trajectoire carbone, commission Quinet 2



- Valeur théorique (moyenne) des modèles de la commission Quinet pour atteindre la neutralité carbone en 2050

Même si les ressources minérales sont épuisables, cela ne se voit pas dans leur prix. La valeur du CO₂ elle devrait croître vite !



SOMMAIRE

- 1.** Le développement durable est-il possible?
- 2.** Un problème qui fait débat
- 3.** Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
- 4.** Et donc, au total?
- 5.** Les outils pour le faire
- 6.** Conclusion

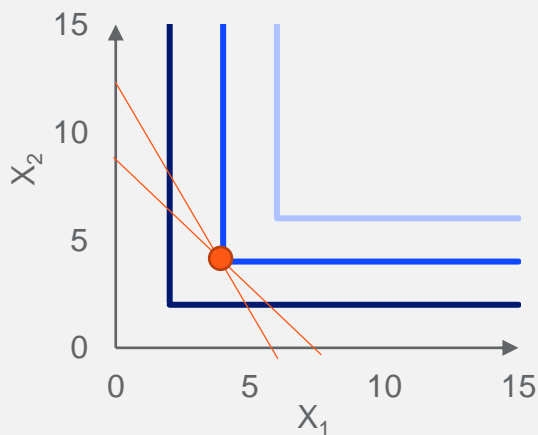
Elasticité de substitution entre carbone et travail (1/2) : de quoi parle-t-on?

Peut-on **produire autant avec relativement moins de carbone**, donc avec un carbone relativement plus cher ? Cela dépend de « **l'élasticité de substitution** » de la production. Elle mesure la façon dont les quantités relatives des intrants (X_1/X_2) évoluent quand les prix relatifs (p_2/p_1) évoluent.

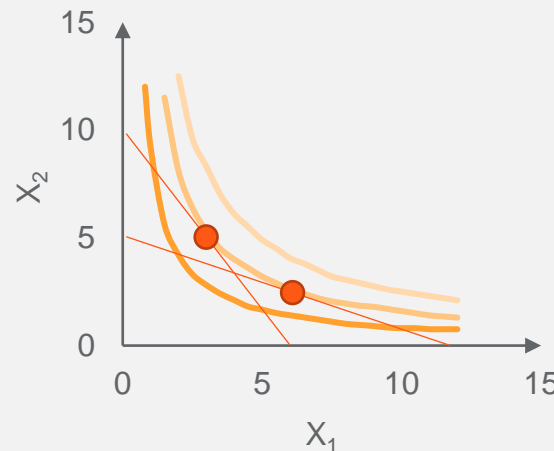
Exemple d'une fonction à **élasticité de substitution** (CES) **constante** (σ)

$$Y = A \left(\alpha_1 X_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \alpha_2 X_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

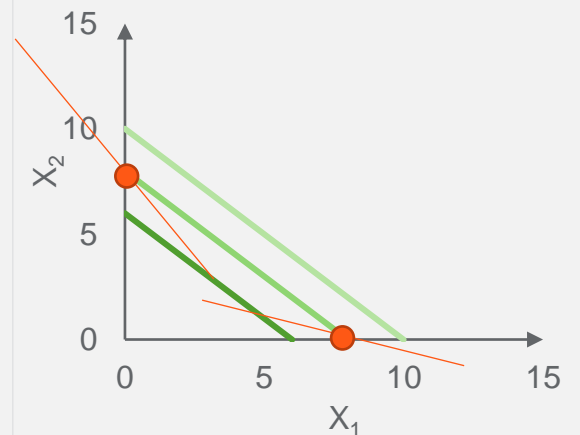
Elasticité = 0



Elasticité = 1



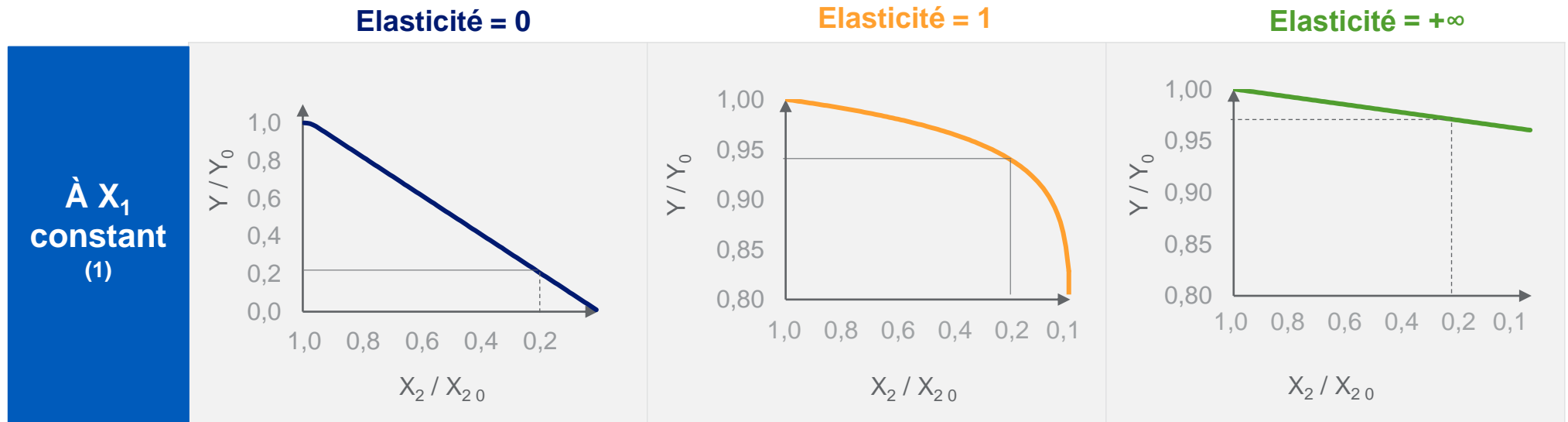
Elasticité = +∞



À Y constant

Quand les prix relatifs changent, les proportions utilisées ne changent pas (élasticité faible : voiture # essence), un peu (élasticité moyenne, voiture # train) ou beaucoup (élasticité forte, Renault # Peugeot)

Elasticité de substitution (2/2) : pourquoi c'est important pour notre sujet ?

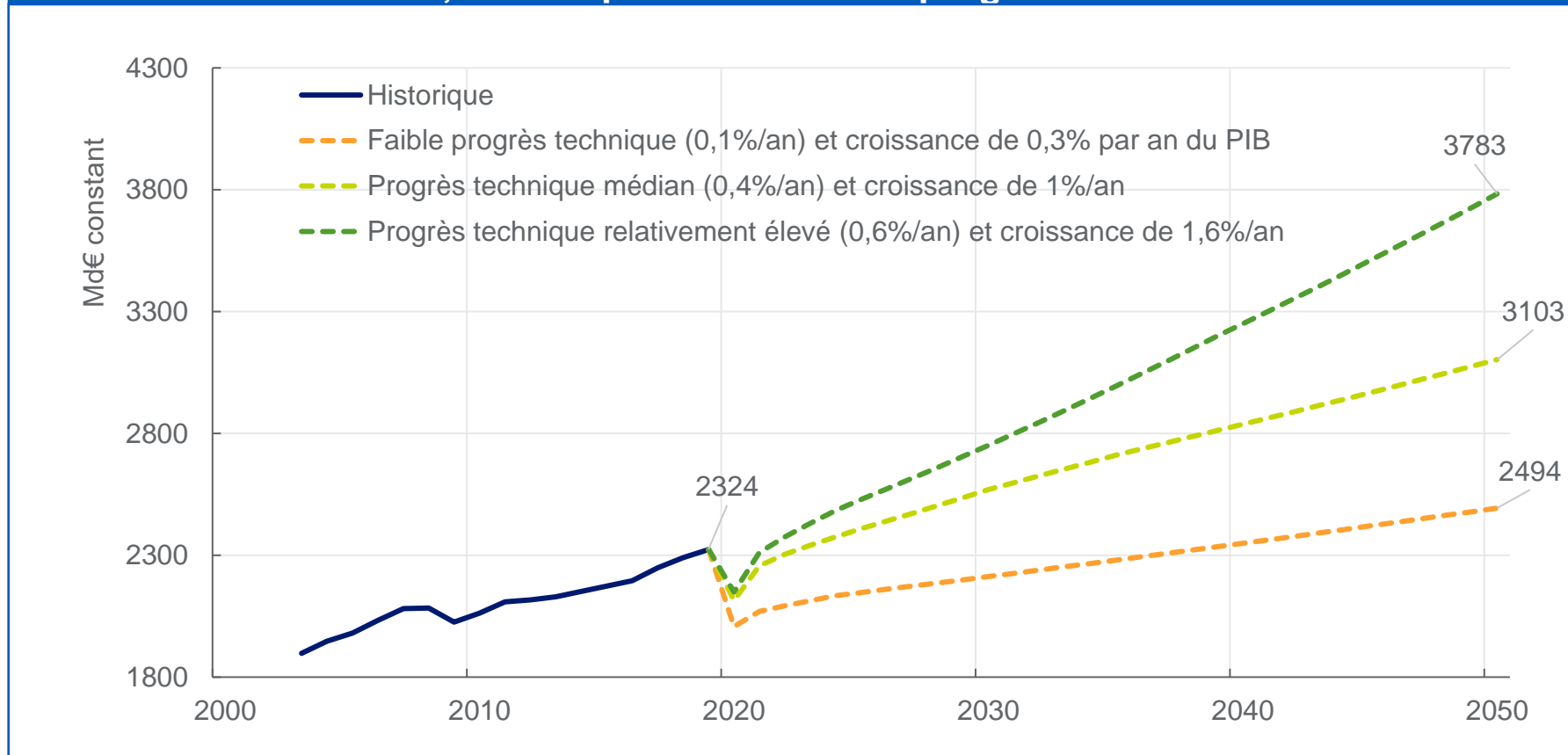


Si la quantité d'un intrant (le carbone) doit baisser, la production potentielle va devoir baisser beaucoup si l'élasticité est faible, baisser peu si l'élasticité est forte, d'autant moins que le poids initial du carbone dans l'économie est faible (α_2)

(1) Illustration pour $\alpha_2 = 4\%$

Un petit modèle élémentaire pour se représenter les choses (1/2)

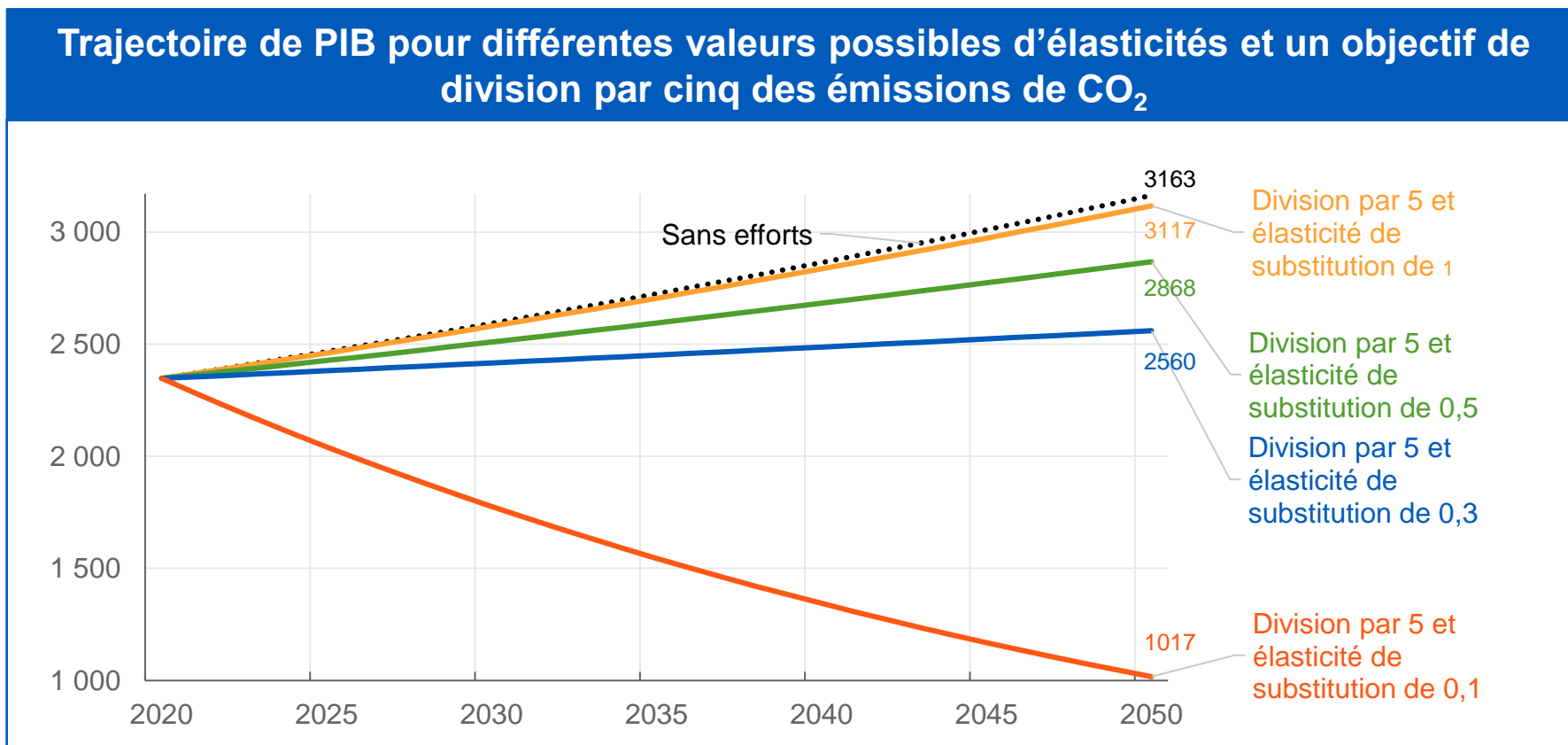
Trajectoire du PIB français, sans effort CO2, à $\sigma=1$, croissance démographique médiane, et avec plus au moins de progrès des facteurs



Source : modèle EDF R&D

NB : le niveau progrès technique influence le capital et le travail (par effet d'incitation)

Un petit modèle élémentaire pour se représenter les choses (2/2)

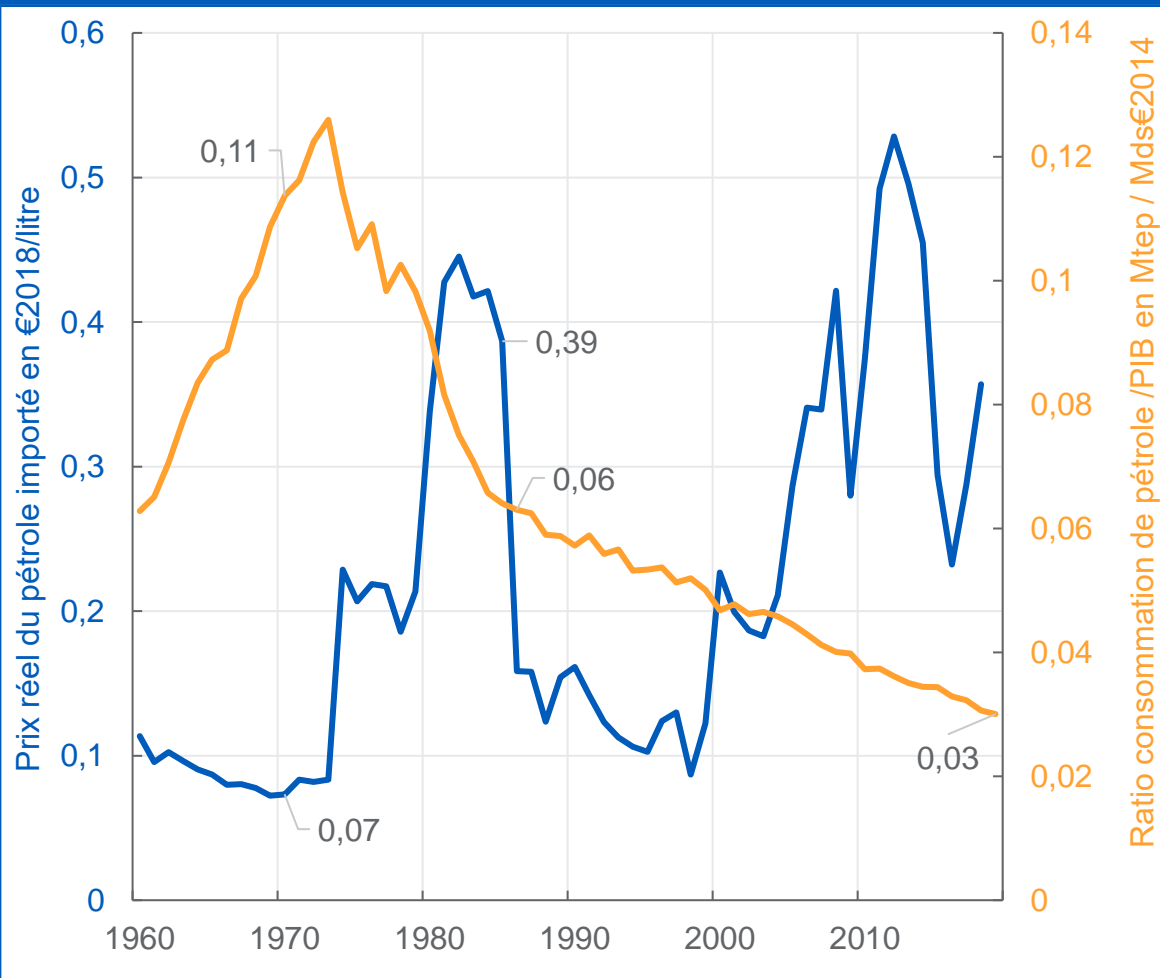


Source : fonction CES à deux facteurs (C,L) normalisée à 2020, progrès technique et évolution démographique médians, calculs de l'auteur

Le modèle est simulé selon un scénario démographique et un rythme de progrès technique médians. Les efforts d'abattement auront des impacts très différents, majeurs ou négligeables, selon les possibilités de substitution.

L'élasticité de substitution à la lumière des chocs pétroliers : source d'espoir, source d'interrogation... A creuser !

Intensité du PIB en pétrole # prix du pétrole en France



Sources : Pierre Vila, Pégase, INSEE

Beaucoup d'incertitudes autour des fonctions de production, des élasticités de substitution, du progrès des facteurs.

Cependant, si on considère **la consommation de pétrole** à travers les chocs (comme approximation du CO₂) :

- **L'intensité du PIB en pétrole (E/Y) a été divisé par ~2⁽¹⁾ entre 1970 et 1985** et encore par 2 entre 1985 et 2020
- **Quand le prix constant du baril (p_E/p_Y) était multiplié par ~6⁽¹⁾** puis revenait à l'origine puis était multiplié par 5, puis divisé par 2, etc.

L'élasticité-prix⁽¹⁾ de la consommation du pétrole pourrait donc être comprise entre 0,3 et 0,5 (INSEE, 2009), **niveau compatible avec une croissance durable.**

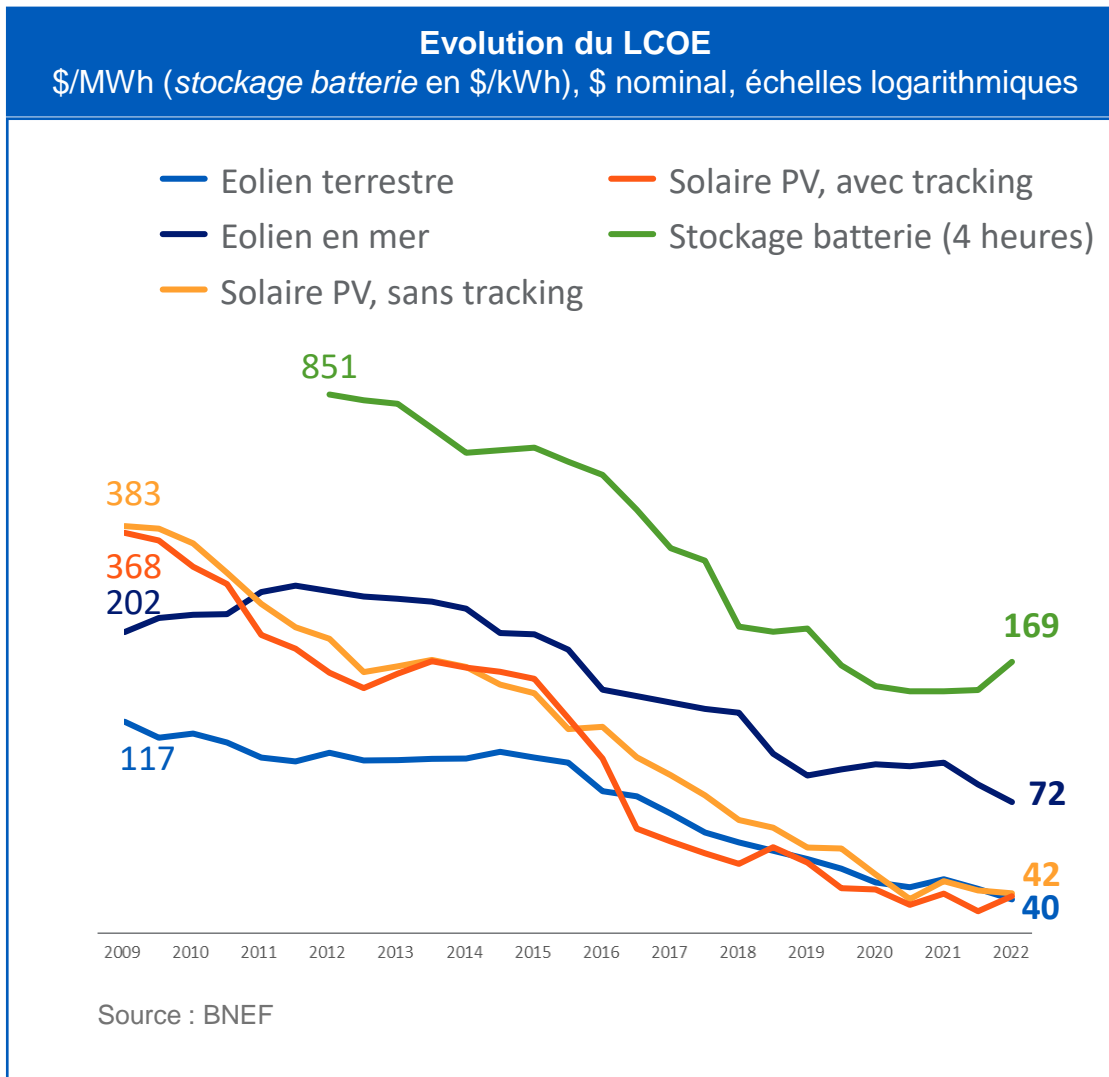
⁽¹⁾ Comme $2 \approx 6^{0,4}$ on pourrait avoir une élasticité de 0,4



SOMMAIRE

- 1.** Le développement durable est-il possible?
- 2.** Un problème qui fait débat
- 3.** Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
- 4.** Et donc, au total?
- 5.** Les outils pour le faire
- 6.** Conclusion

Les solutions technologiques nécessaires à une croissance durable existent mais elles ne sont pas toutes économiques



Les prix des énergies renouvelables et du stockage ont parcouru des courbes d'apprentissage exceptionnelles et sont ainsi devenues compétitives

- De l'ordre de **9%/an** pour l'**éolien** terrestre/maritime
- Plus près de **16%/an** pour le **solaire** et les batteries

D'autres solutions émergent qui doivent encore devenir économiques, en partie avec l'aide d'un juste prix du CO₂

- Coût de production de **l'hydrogène** :
 - **1,5 €/kg** par vaporeformage fossile
 - **5-6 €/kg** par électrolyse de l'eau
- Prix Twingo catalogue Renault :
 - Twingo thermique à partir de **12 k€**
 - Twingo Electric à partir de **21k€**

L'innovation encore et toujours : le meilleur moyen de faire plus/mieux avec moins (de ressources) ; mais chercher ne suffit pas à trouver !



McPhy - électrolyseur



Zinium – Batterie Zinc / Air



Pompe à chaleur air / eau



Renault - Zoe

Subventions, normes, taxes ou quotas, un sacré bestiaire ! Quels outils publics pour atteindre les objectifs climatiques ?

	Exemple	Pertinence	Payeur	Avantages	Inconvénients
Norme	Réglementation environnementale des bâtiments	Quand le calcul économique est inapproprié ou difficile	Celui qui applique la norme environnementale ou plutôt son client	S'impose aux producteurs avant de peser sur les consommateurs	Risque d'être mal calibrée et plus coûteuse qu'un prix/taxe
Subvention	Bonus véhicule électrique	Quand il faut soutenir une technologie naissante	L'Etat donc le contribuable (TVA, IR, etc.)	Incite ceux qui la reçoivent sans être vue par ceux qui la payent	Pèse sur le budget public
Taxe	Taxe carbone Taxe déchets	Quand il y a un dommage au coût bien connu	Celui qui crée le dommage environnemental	Donne un signal économique (stable) et procure des recettes fiscales	Faible acceptation Difficultés de fixer le bon taux
Quotas payants	Système européen de quotas CO ₂ (étendu aux distributeurs de fossiles)	Quand il y a un stock de biens communs à préserver	Celui qui crée le dommage environnemental	Donne un signal économique (volatil) et procure des recettes d'enchères	Autorise une volatilité des prix, qui complique l'investissement

Le problème climatique (limiter les émissions) appelle plutôt un système de quotas (élargi) à quotas décroissants et prix croissants

Que faire des recettes d'une taxe (ou d'enchères) carbone : un même € public ne se dépense qu'une fois !

	Avantages	Difficultés
Compenser les perdants par des transferts forfaitaires	Facilite l'acceptation d'un prix du CO ₂	Compenser les détenteurs d'une cuve fioul sans faire une prime à la cuve de fioul
Réduire des taxes plus nocives ⁽¹⁾ à la production (charges sociales, impôts à la production, etc.)	Limite voire compense l'impact baissier de la taxe carbone sur le PIB (« double dividende »)	Expliquer aux perdants de la taxe carbone qu'ils vont (peut-être) y gagner indirectement
Augmenter le budget de dépenses publiques écologiques	Financer la transition énergétique pour sa part publique (l'investissement privé est déjà incité par la taxe/prix)	Augmenter les dépenses publiques (à 250€/tCO ₂ eq, la recette est de 125T€, 5% du PIB)

Si l'élasticité est assez élevée et l'impact sur le PIB limité, compenser les perdants paraît le plus sage. Et s'il reste quelques €, réduire les taxes les plus dés-incitantes⁽¹⁾ (poids mort)

⁽¹⁾ Cf. Marcel BOITEUX, Sur la gestion des monopoles publics astreints à l'équilibre budgétaire (1956)



SOMMAIRE

- 1.** Le développement durable est-il possible?
- 2.** Un problème qui fait débat
- 3.** Les moteurs de la croissance depuis quelques temps et pour la suite
- 4.** Et donc, au total?
- 5.** Les outils pour le faire
- 6.** Conclusion

Avec sa raison d'être, EDF porte une vision industrielle conciliant la préservation de la planète et le développement

« Construire un avenir énergétique neutre en CO₂ conciliant préservation de la planète, bien-être et développement grâce à l'électricité et à des solutions et services innovants »