

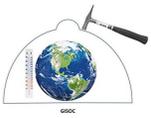


GISOC

Une petite revue des scénarios énergétiques mondiaux

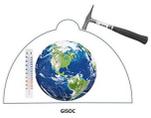
Par

S. Richet – Chairman – GISOC



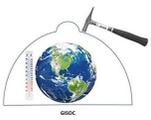
Remerciements et explications sur le GISOC

- Tout d'abord, je tiens à remercier la Société Française de Physique sans laquelle je ne serais pas ici aujourd'hui.
- Le GISOC (Global Initiative to Save Our Climate) est une collaboration internationale où les scientifiques et ingénieurs mettent en commun leurs connaissances pour le climat. Les contributions incluent la participation dans le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat / Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC / IPCC).



Avant propos: les énergies fossiles, une folie...

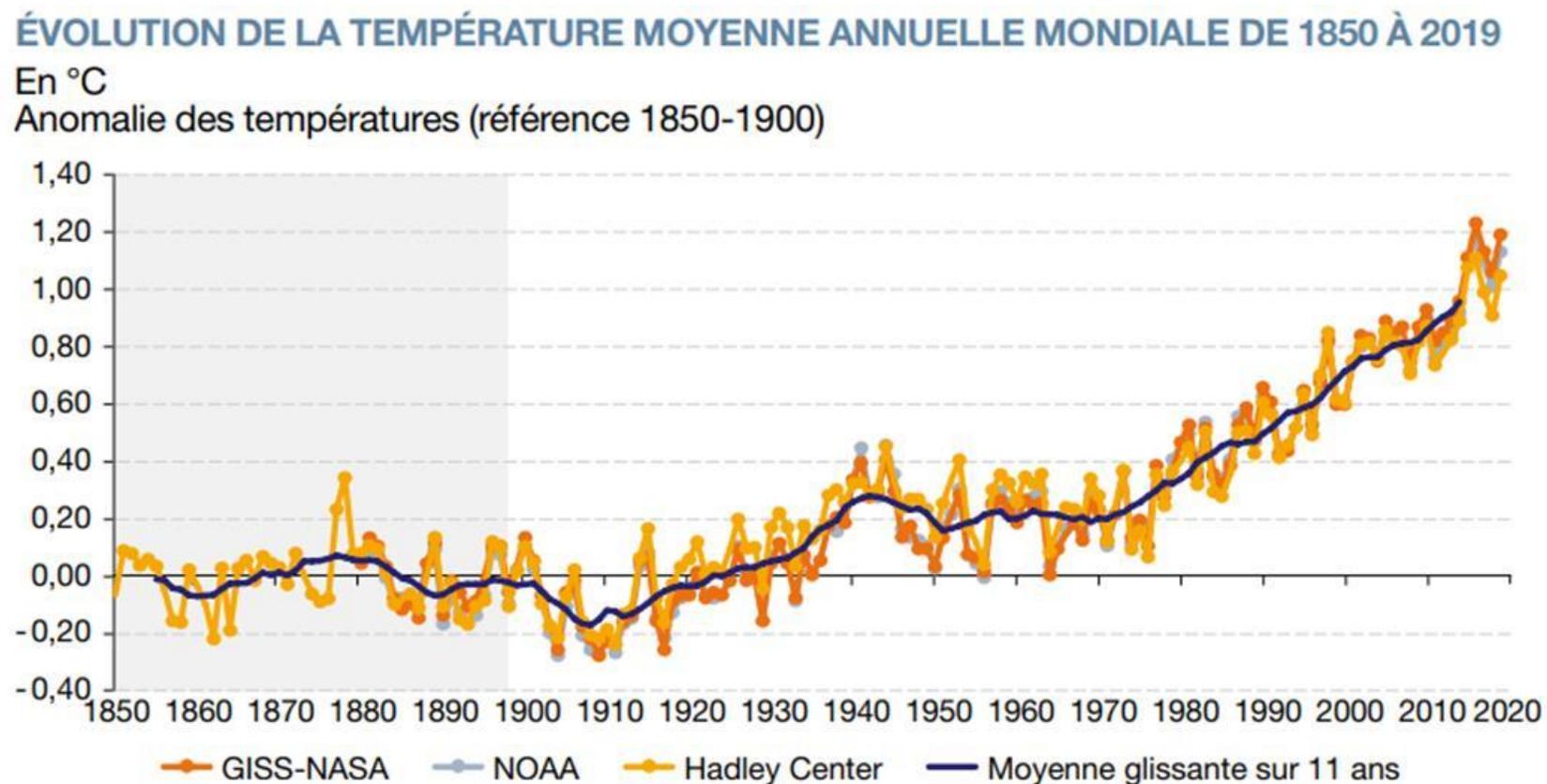
- Nous utilisons la majeure partie des matières fossiles pour chauffer quelque chose, que ce soit une habitation, un four industriel ou un moteur. Le pic de production du pétrole est passé depuis une dizaine d'années.
- Les matériaux fossiles seront essentiels pour les générations futures pour des produits évolués (médecine, etc.) bien au delà des usages actuels,...
- L'utilisation du gaz naturel libère définitivement l'hélium dont on aura besoin dans des applications énergétiques futures...



80%!

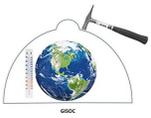
- 80% de l'énergie vient des fossiles et 42% du CO₂ vient du charbon!
- Les principaux gaz à effet de serre sont le CO₂ (80%) et le méthane (16%). 80% du forçage radiatif vient du CO₂. (WMO Octobre 2021)
- Une grande partie du méthane vient des fuites de gaz des pipelines.
- Nous rejetons l'équivalent de 44 milliards de tonnes de CO₂ par an, dont 6 milliards par l'évolution des sols (déboisement...). Les milieux terrestre et océanique (acidification) peuvent en absorber 20...
 - Il faut aussi rapidement que possible passer à un net zéro d'émission si on veut aider les générations futures!

1.1 degrés ont en effet déjà été atteints



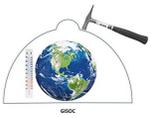
Note : en grisé la période préindustrielle 1850-1900.

Sources : NASA ; NOAA ; Hadley Center



Libre de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 ,...)? 1/2

- C'est une **question essentielle**: Il n'y a en effet que quatre voies possibles pour la quasi absence d'émission de CO_2 et de CH_4 d'ici 2050:
 - Le recours massif au nucléaire et en particulier à la quatrième génération (surgénérateurs) en complétant avec de l'hydraulique, (+120 réacteurs par an),
 - Le recours aux énergies dites renouvelables intermittentes avec adjonction d'une énorme capacité de batteries, (Pari sur l'avenir des batteries),
 - Le recours à la production d'hydrogène et/ou de CH_4 à partir d'autres sources (renouvelables intermittentes,...), (l'efficacité totale est basse),
 - Le recours au gaz et à la capture et stockage du CO_2 aussi bien à la source qu'en mode atmosphérique pour compenser les fuites de CH_4 , (difficile à cette échelle).
- Sinon:
 - Le recours massif au gaz (et au charbon) doit être considéré avec ses conséquences.



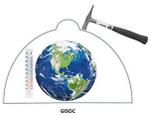
Libre de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 ,...)? 2/2

- Quelques chiffres:

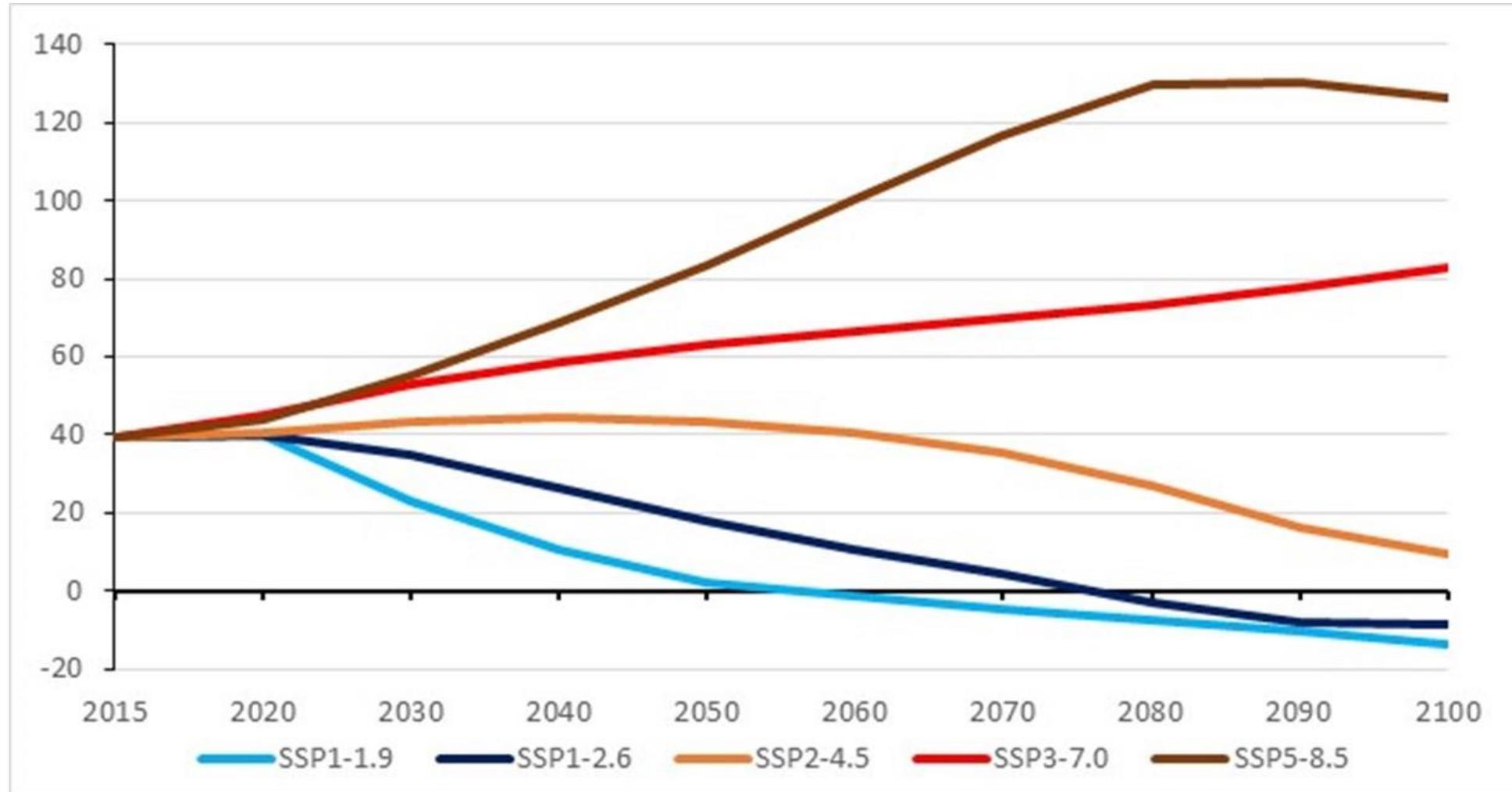
- Les réserves mondiales d'uranium avec des surgénérateurs nucléaires sont de 1000 ans environ. Un réacteur évite 10 millions de tonnes de CO_2 par an.
- Les batteries les plus puissantes atteignent 500 MWh, soit la consommation de 850 habitations pendant 5 jours. De grands progrès sont encore nécessaires.
- La production par électrolyse d'hydrogène présente une efficacité totale de 20% environ sauf si on utilise des réacteurs nucléaires à haute température, auquel cas on atteint 80%.
- La capture et le stockage du CO_2 ont été réalisés à l'échelle du million de tonnes. On est très loin des milliards de tonnes requis. De plus on s'est aperçu qu'il y avait un débit annuel de fuite de l'ordre de 0.5% de ce qui était stocké.

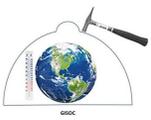
Les scénarios du GIEC

- Ils se caractérisent par leur référence à un bilan radiatif au niveau de la troposphère considérée comme l'enveloppe de référence pour les impacts des gaz à effet de serre.
- La première référence est numérotée 2.6 (Pour $2,6 \text{ W/m}^2$), elle correspond à une augmentation de deux degrés à échéance 2100 par rapport à l'ère préindustrielle.
- La seconde référence importante est 1.9 qui correspond à une élévation de la température de $1,5$ degrés à échéance 2100. C'est celle qui est proposée par le GIEC comme objectif international.
 - Le forçage radiatif actuel est déjà supérieur à 3 W/m^2 ...

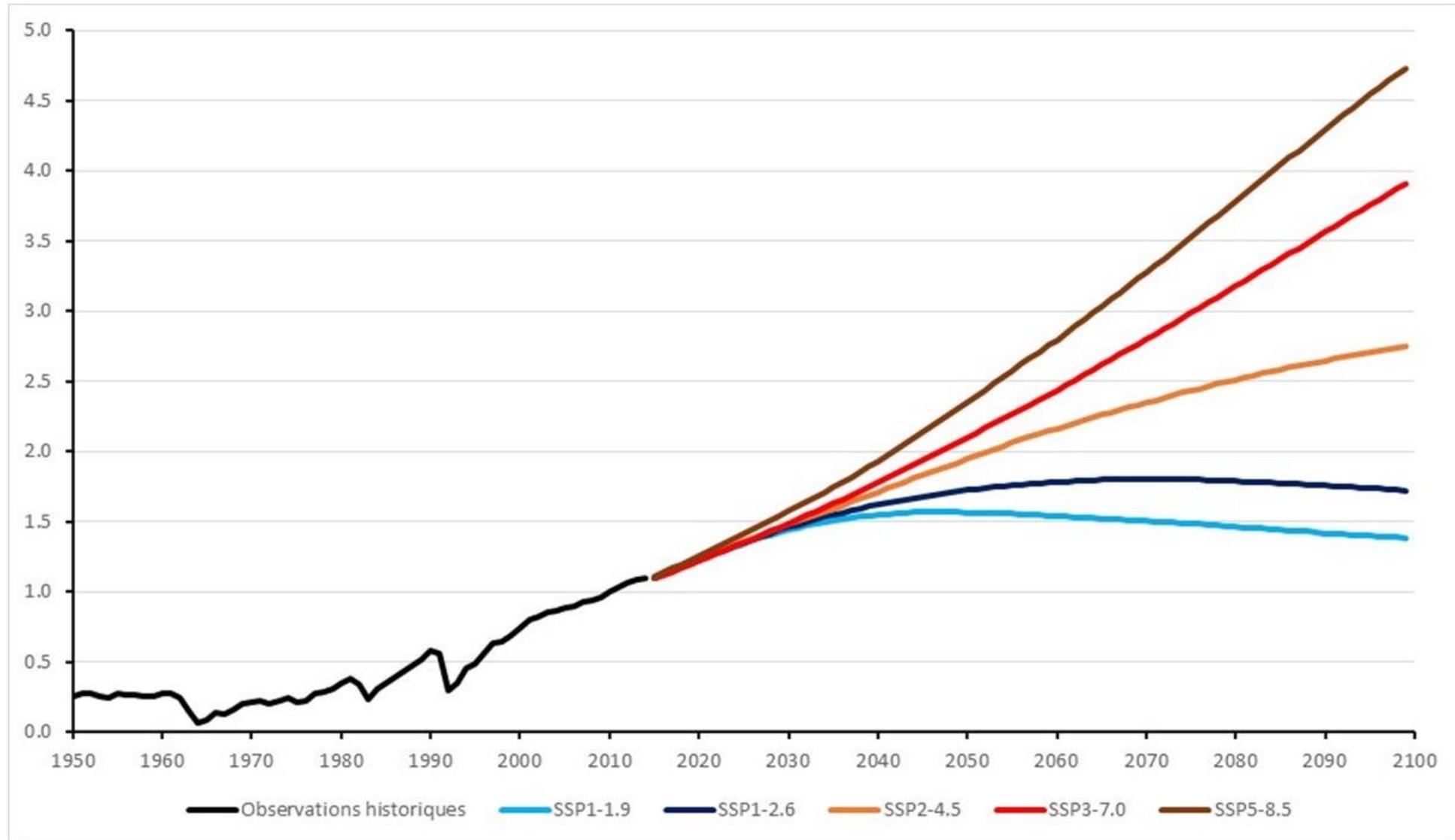


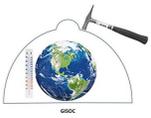
Emissions de gaz à effet de serre suivant les scénarios du GIEC en milliards de tonnes





Températures suivant les scénarios du GIEC





Un premier constat

- Bien que de nombreuses études tablent depuis dix ans déjà sur une réduction de la consommation énergétique, **l'évolution est à la croissance**.
- En effet, il est plus facile d'augmenter son empreinte énergétique que de la réduire sachant, d'une part, que les nouveaux besoins continuent de se multiplier, et d'autre part, que les pays en voie de développement vont accéder à une vie fondée sur une consommation accrue d'énergie. Le GISOC entrevoit une croissance mondiale des besoins en énergie d'un **facteur 3 à 4 d'ici 2060** en prenant en compte les pays en développement.
- La croissance est **encore plus forte pour la consommation électrique** destinée à remplacer une large partie des fossiles du chauffage, de l'industrie (Aciéries par exemple) et du transport.



Passons en revue les principaux émetteurs de CO₂

Emissions en 2019 en Mt CO₂

Chine	11 535	30.3%
États-Unis	5 107	13.4%
UE à 27	2 939	7.7%
Inde	2 597	6.8%
Russie	1 792	4.7%
Japon	1 154	3.0%

Total	25 125	66.1%
--------------	--------	-------

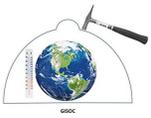
Monde	38 017	100.0%
--------------	--------	--------

Electricité venant du charbon

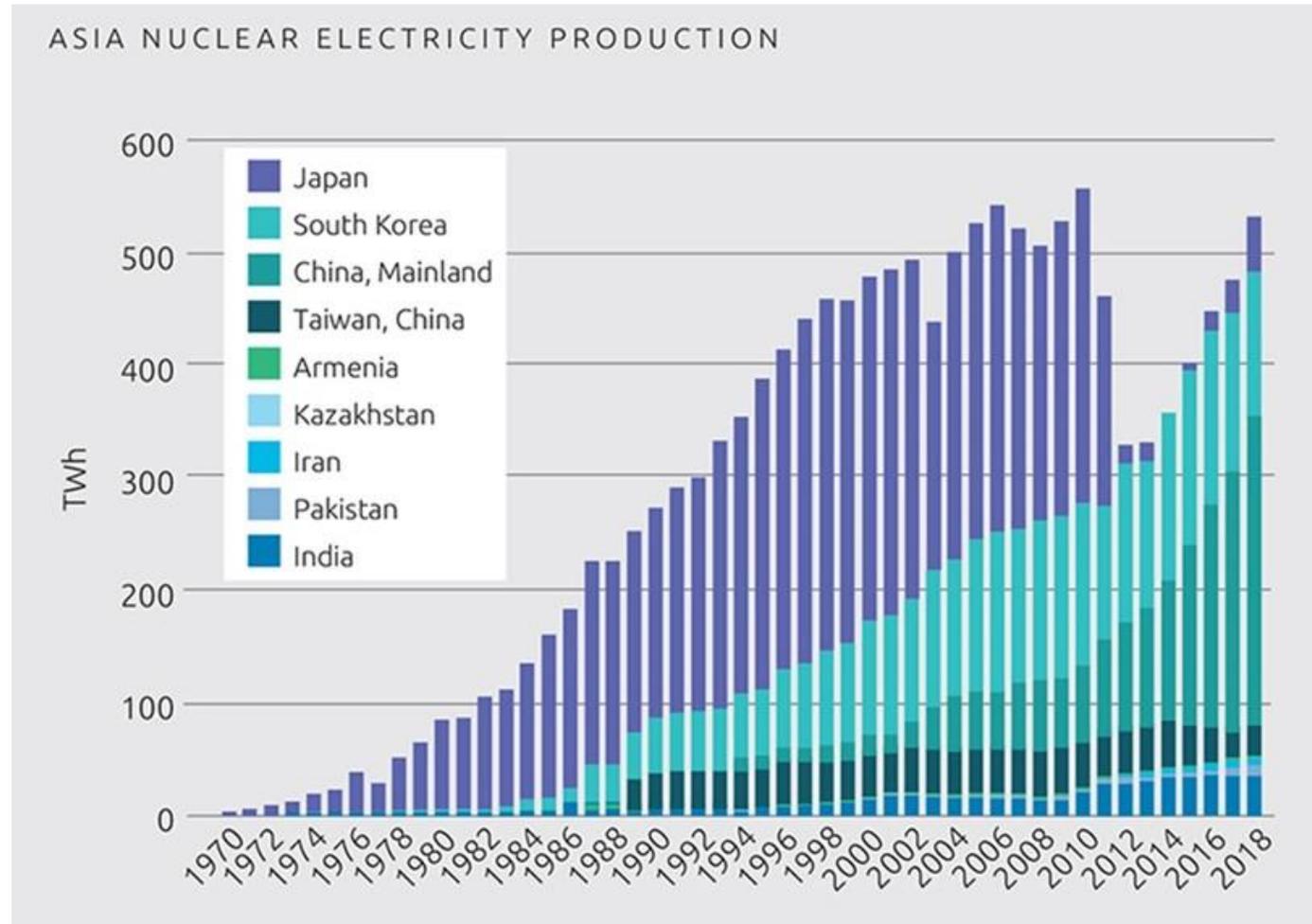
10000 TWh	16 000	42.1%
------------------	--------	-------

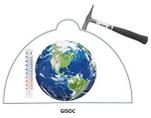
Evolution de l'infrastructure nucléaire (GWe)

Pays	En exploitation	En construction	Planifiés	Total	Equivalent en CO ₂ évité (Mt/an)
Chine	50,8	20,9	38,1	109,8	1100
Inde	6,9	6,7	8,4	22	220
Corée du Sud	23,2	5,6	?	28,8	290
Japon	10	2	1	13	130
Canada	13,5	0	0	13,5	135
USA	95,5	2,2	0	97,7	100
France	61,4	1,6	10	73	730
Grande-Bretagne	6,8	3,2	3,2	13,2	130
Russie	27,5	2,5	0	30	300
Ukraine	13	0	0	13	130
Total Monde	390	55	100	558	5600 (Max: 14% du CO ₂ de 2019)



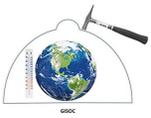
Production d'électricité nucléaire en Asie





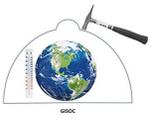
La situation mondiale actuelle évolue 1/5

- Les besoins en énergie explosent en Chine (x5), en Inde (x10), en Amérique latine, en Afrique et ne se réduisent que modérément dans les pays développés durant les 40 années à venir.
- La Chine qui veut atteindre le net zéro en 2060 prévoit cependant toujours 75% de fossile en 2040 et envisage de multiplier par cinq le nombre de réacteurs nucléaires prévus tout en considérant l'éolien et le solaire, mais également le gaz (russe). L'électricité assurerait plus que le pétrole dans la production énergétique en 2040 mais la moitié d'icelle serait encore tributaire des fossiles. Par ailleurs, la Chine propose des centrales au charbon clef en main en Afrique.



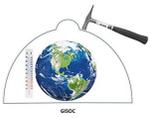
La situation mondiale actuelle évolue 2/5

- L'Inde n'envisage pas de net zéro avant 2070. En pratique, l'Inde dépend quasi exclusivement du charbon dont elle importe plus de 25% (250 Mt) pour une production intérieure de l'ordre de 800 millions de tonnes. 80% de son électricité vient du charbon.
- Elle fait face au besoin d'amener sa population dans le 21ème siècle tout en gérant ses ressources et surtout ses imports. L'uranium est peu présent dans le pays qui regorge toutefois de thorium. Le cycle du thorium n'existe pas, tout est à construire. L'Inde espère beaucoup du solaire et de l'éolien mais le climat n'est pas encore sa priorité. Cela pèsera sur le volume de CO2 émis annuellement dans le monde.



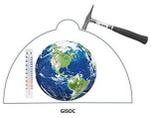
La situation mondiale actuelle évolue 3/5

- En Amérique latine, les plus longues périodes de sécheresse impactent sur la production hydroélectrique (notamment au Brésil) et les pays doivent reconsidérer la construction de réacteurs nucléaires pour alimenter la population, en partant quasiment de rien (6 réacteurs pour 650 millions d'habitants).
- L'énergie solaire et éolienne est considérée en complément de l'hydraulique là où cela est possible. La précarité électrique se traduit pour certains pays à un recours au charbon pourtant encore très minoritaire pour la région (7% -- malgré de grandes variations : 0% en Bolivie et 37% au Chili).



La situation mondiale actuelle évolue 4/5

- En Afrique, il y a seulement 2 réacteurs nucléaires en exploitation en Afrique du sud.
- L'énergie par capita du continent est la plus basse du monde. Comme pour l'Inde, les contraintes climatiques bien que très présentes sont en retrait par rapport aux besoins à satisfaire dans l'immédiat. Le solaire peut jouer un rôle important.
- De nombreux pays considèrent l'accès à l'énergie nucléaire bien que n'ayant pas encore les capacités de financement pour des projets de cette ampleur.
- Le charbon sera, là encore, comme en Inde, très présent.

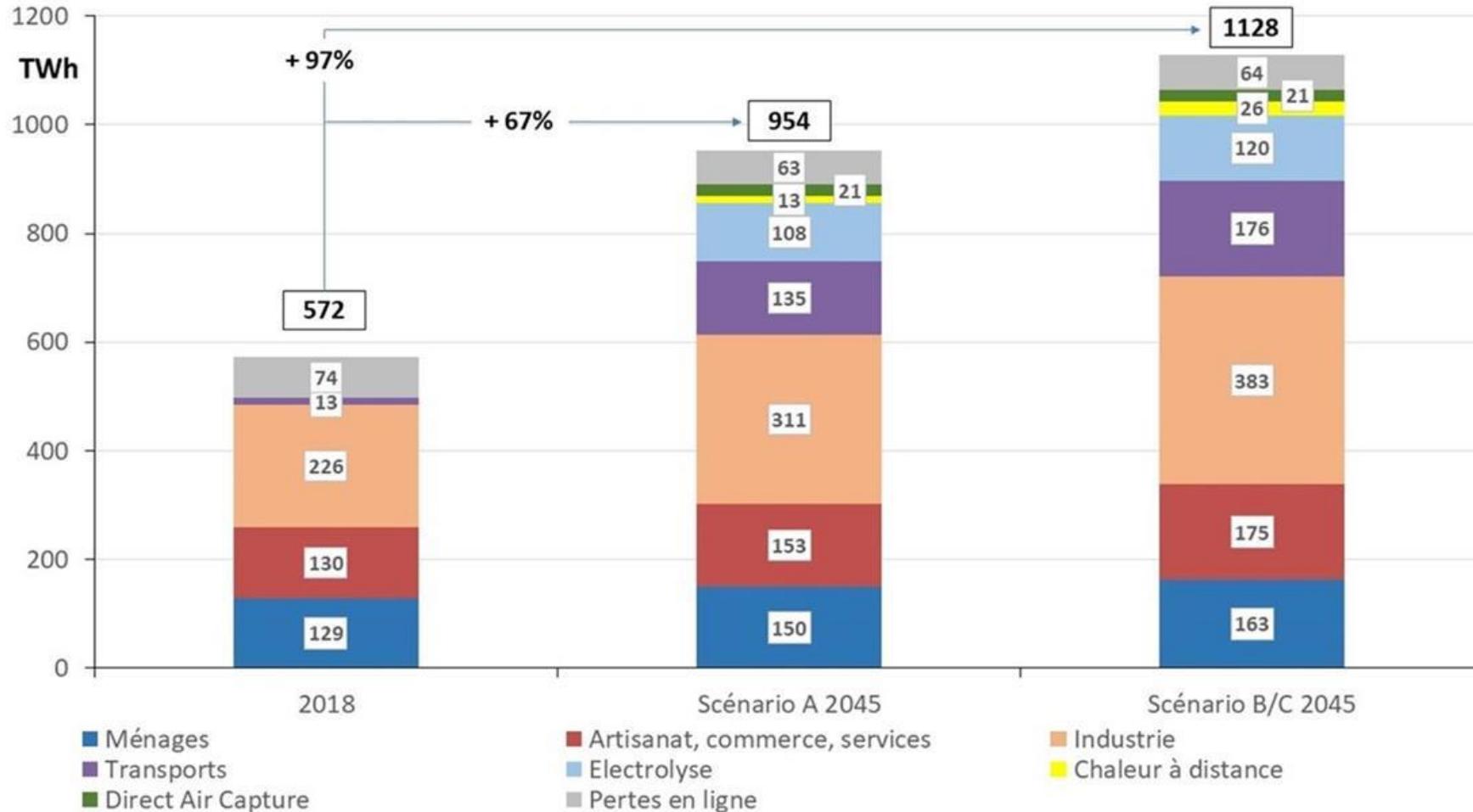


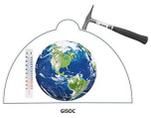
La situation mondiale actuelle évolue 5/5

- Dans les pays développés, la conversion des énergies primaires vers l'électricité s'accompagne usuellement d'une réduction des besoins énergétiques par capita (ces derniers pouvant être biaisés par la délocalisation des productions industrielles électro-intensives ou simplement énergivores comme l'acier).
- Les pays qui dépendent le plus du charbon sont ceux qui ont l'évolution prévisionnelle la plus rapide. Il existe cependant une certaine disparité entre les scénarios qui envisagent des imports et ceux où tout est produit par le pays lui-même.



Evolution de l'électrification en Allemagne





Le nucléaire pour notre empreinte carbone

- Si, comme le propose le GISOC, nous construisons 120 réacteurs par an pendant les 25 prochaines années, nous pouvons réduire à zéro l'émission de CO₂ de l'ensemble des activités humaines et se passer du charbon, du pétrole et du gaz là où ils ne sont pas absolument essentiels. Les surgénérateurs utilisant l'ensemble de la matière nucléaire de l'uranium garantissent une durabilité de la solution jusqu'à un millénaire.
- Ceci libèrerait les fossiles pour les applications où on ne peut s'en passer comme certains aspects de la chimie, de la médecine, etc.
- Un complément par capture du CO₂ est envisageable si la technologie suit et si on sait réduire les débits de fuite des stockages.

Autres références

- <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/faits-charbon/20082>
- <https://www.connaissancedesenergies.org/emissions-mondiales-de-co2-liees-lenergie-2021-annee-de-tristes-records-220309>
- <http://gisoc.srweb.biz/gisoc/gisoc.html>

GISOC

<http://gisoc.srweb.biz/gisoc/gisoc.html>

Merci de votre attention!

ilussro@gmail.com