



WEBINAR 31/05/2021

Mohammed EL ATMANI

Alumni ISG ; Renewables energies finance manager @ ENGIE SA

Les énergies renouvelables : une vraie solution à la crise climatique ?

RESTREINT

INTERNE

SECRET

Les énergies renouvelables : une vraie solution à la crise climatique ?

Thème 1 : Le contexte énergétique et climatique

Thème 2 : L'équation de KAYA, les leviers d'action, les limites

Thème 3 : Une énergie 100% renouvelable en 2050, c'est possible ?

1

Le contexte énergétique et climatique

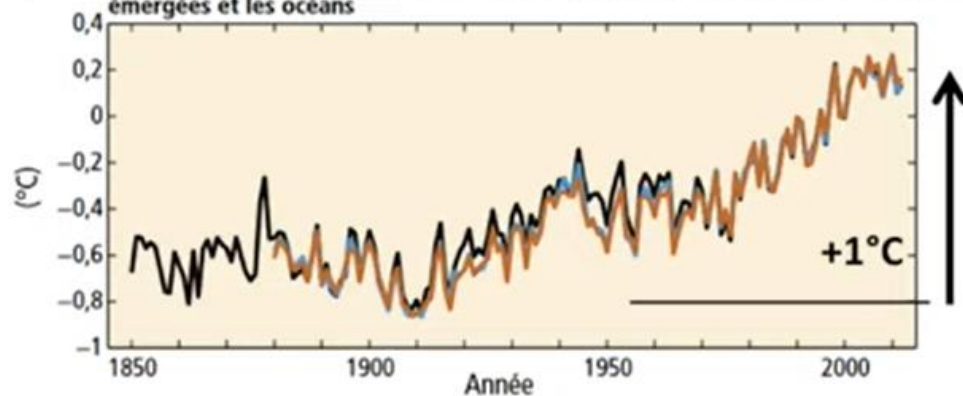
Le glacier MUIR, ALASKA : 2004 vs 1941



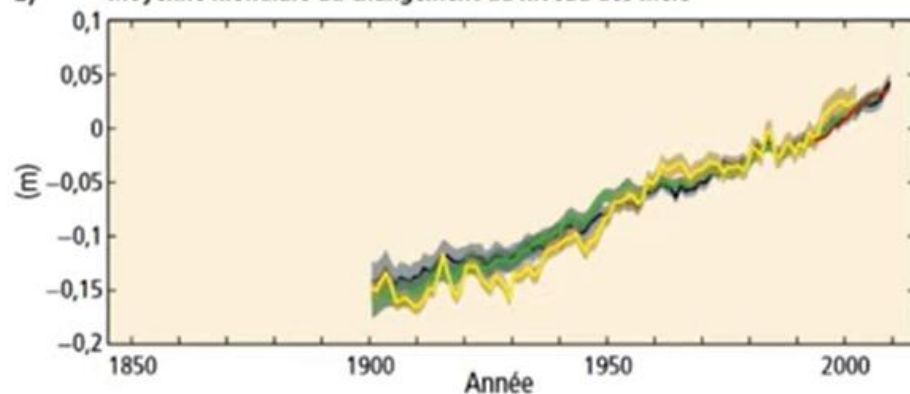
Le glacier Muir en Alaska, en 1941, puis en 2004. (Photos : Ulysses William O. Field/Bruce F. Molnia)

Les activités humaines et l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère

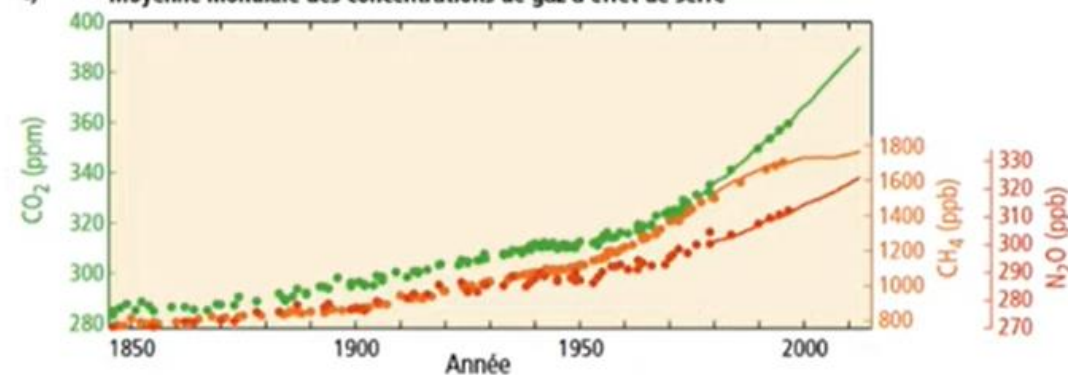
a) Moyenne mondiale des anomalies de la température en surface, combinant les terres émergées et les océans



b) Moyenne mondiale du changement du niveau des mers

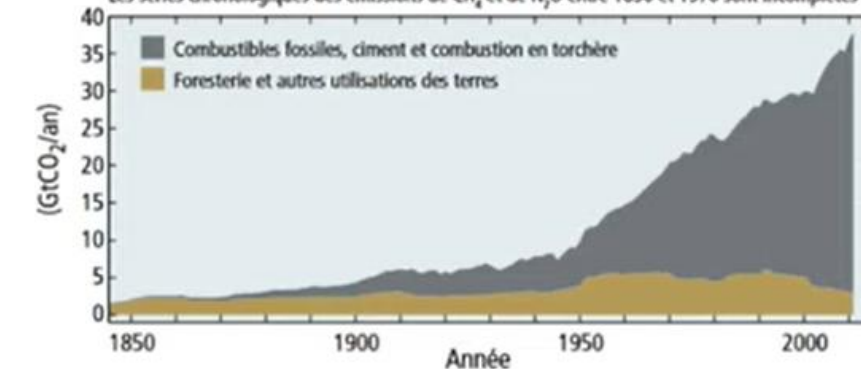


c) Moyenne mondiale des concentrations de gaz à effet de serre

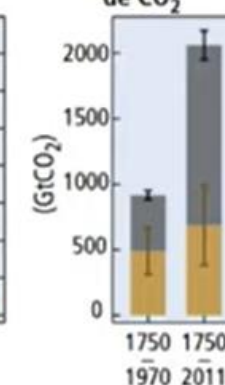


d) Émissions anthropiques mondiales de CO₂

Les séries chronologiques des émissions de CH₄ et de N₂O entre 1850 et 1970 sont incomplètes

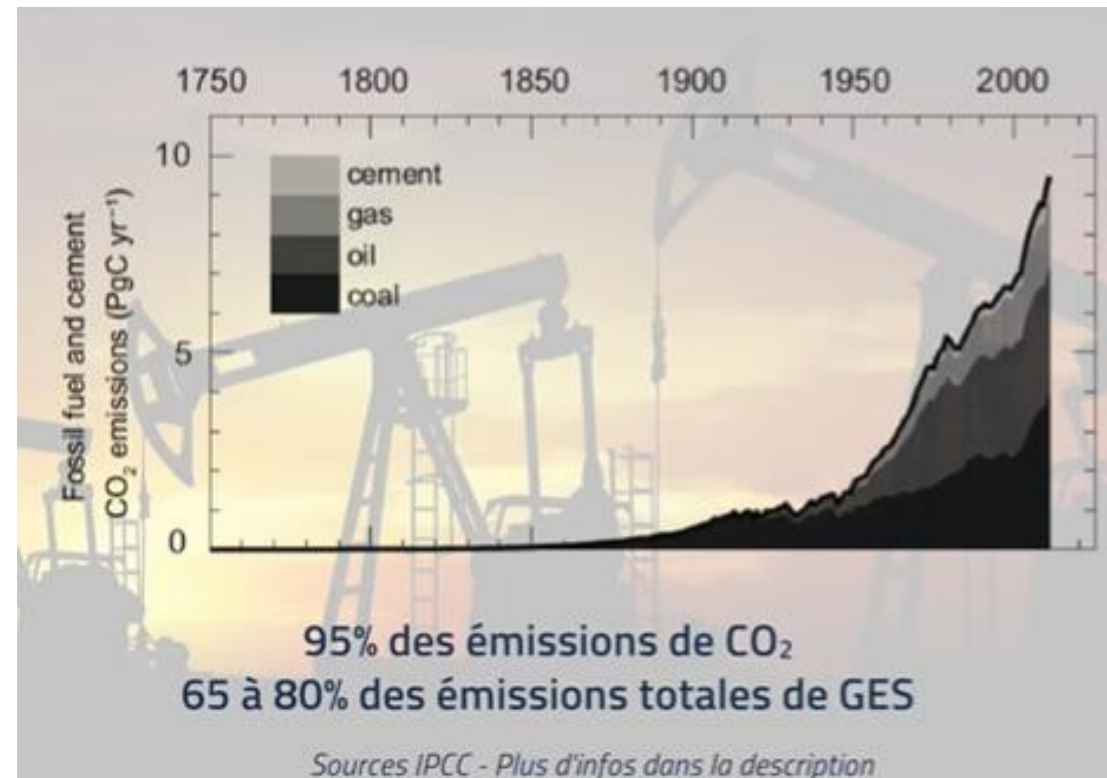


Cumul des émissions de CO₂

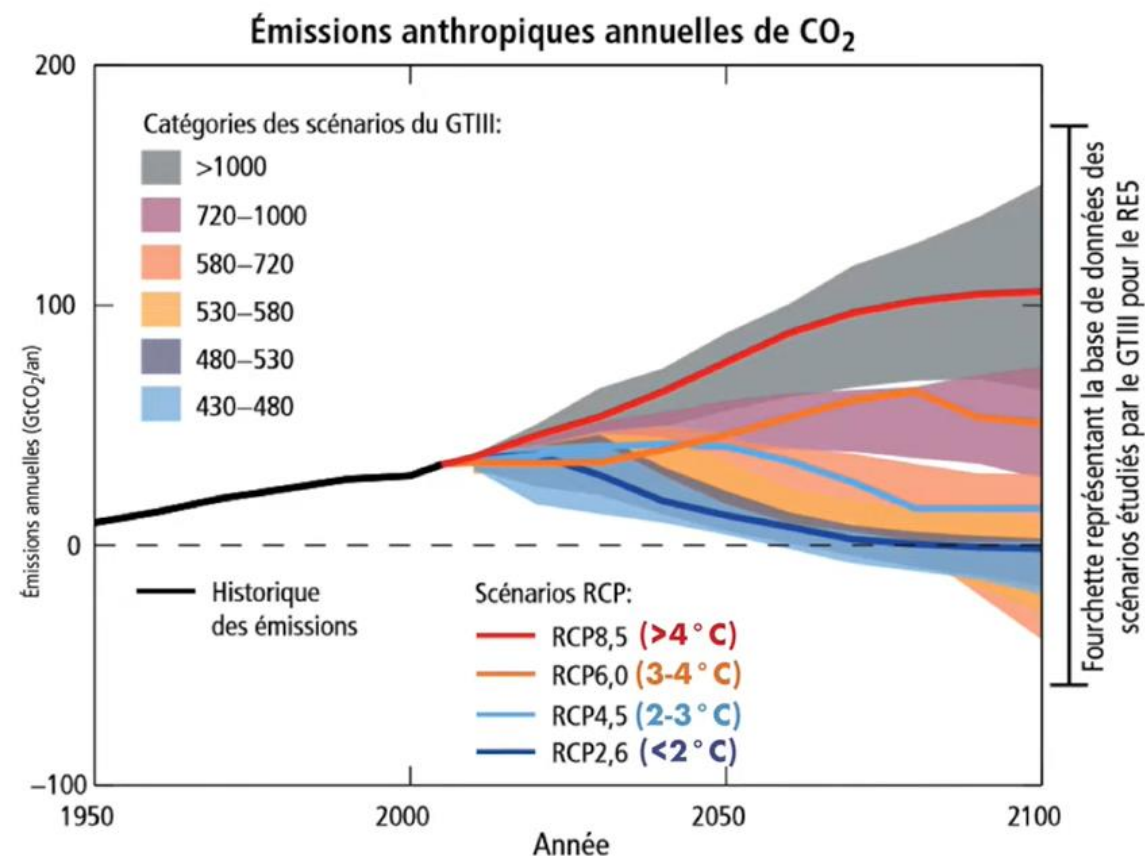


Sources IPCC - Plus d'infos dans la description

Evolution de l'utilisation des énergies fossiles depuis l'air préindustrielle

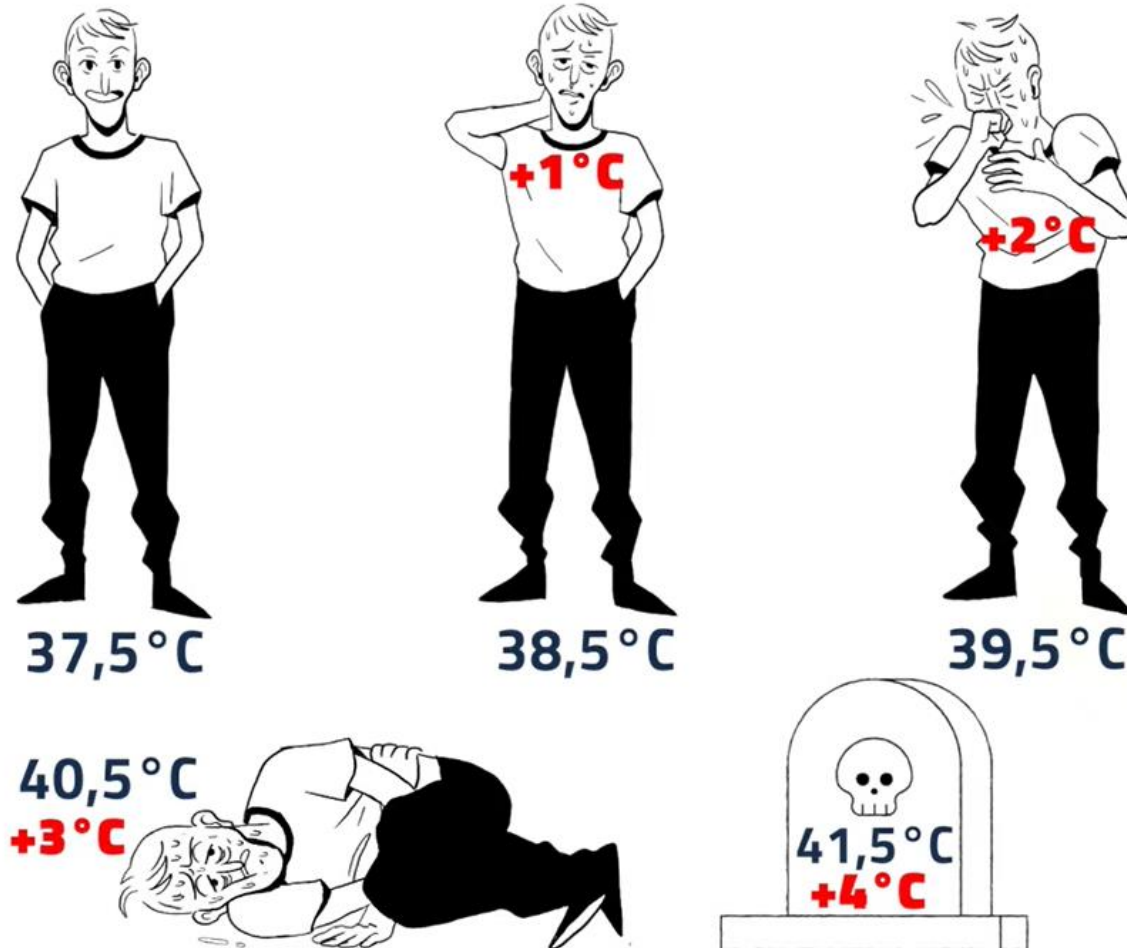


Les scénarios de réduction des émissions de CO₂ vs °C



Sources IPCC - Plus d'infos dans la description

Le réchauffement climatique : et alors ?

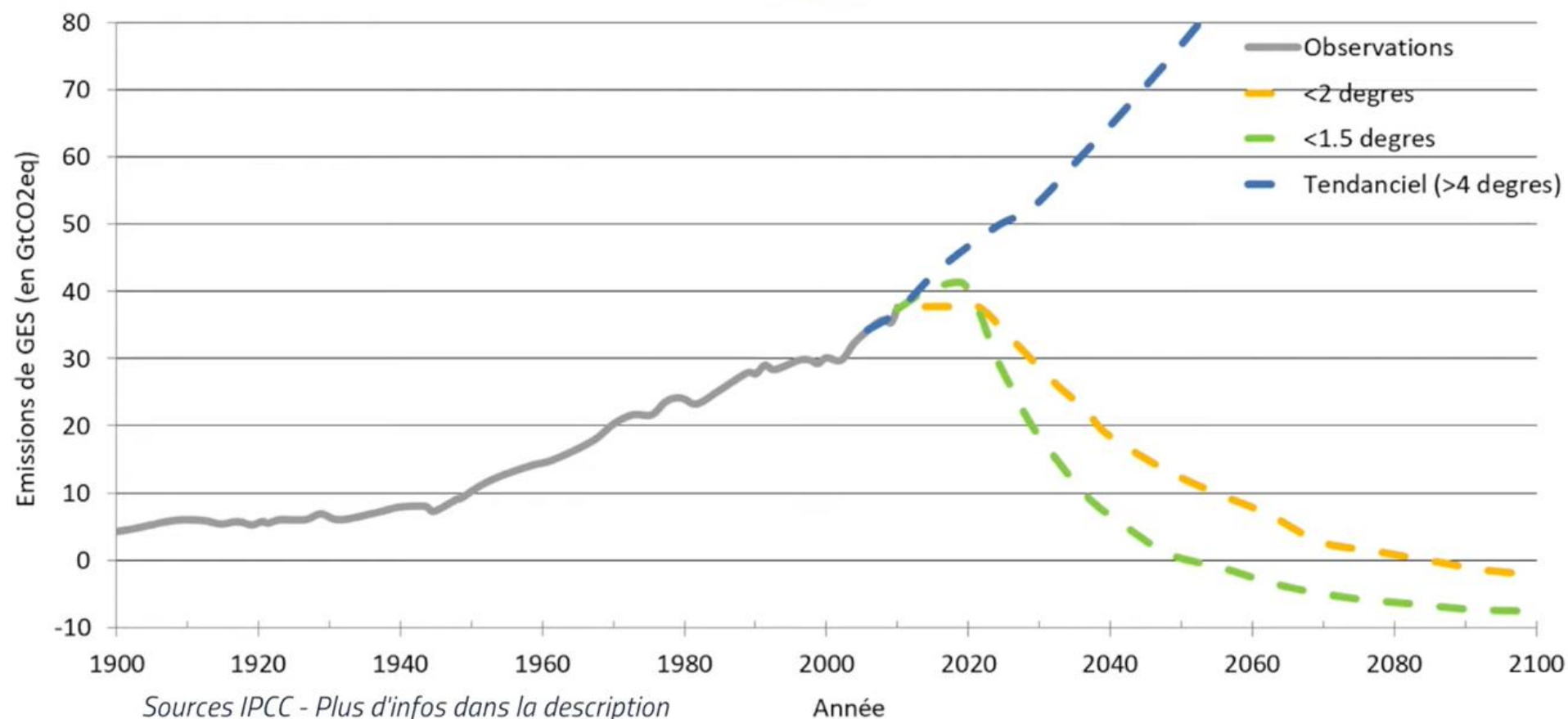


Le réchauffement climatique : et alors ?



Que faire par rapport aux enjeux ?

Les émissions de GES doivent être réduites de ~50% d'ici 2030 pour limiter le réchauffement climatique à 1.5°C (2040 pour 2°C)



2

Résoudre l'équation de KAYA

L'équation de KAYA, 1997



Professeur Yoichi Kaya

$$\text{CO}_2 = \text{POP} \times \frac{\text{PIB}}{\text{POP}} \times \frac{\text{NRJ}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{NRJ}}$$

Population

Niveau de vie

Intensité
énergétique

Contenu en CO₂
de l'énergie



Education &
développement



Sobriété



Efficacité



Energies
décarbonées

Les leviers d'action

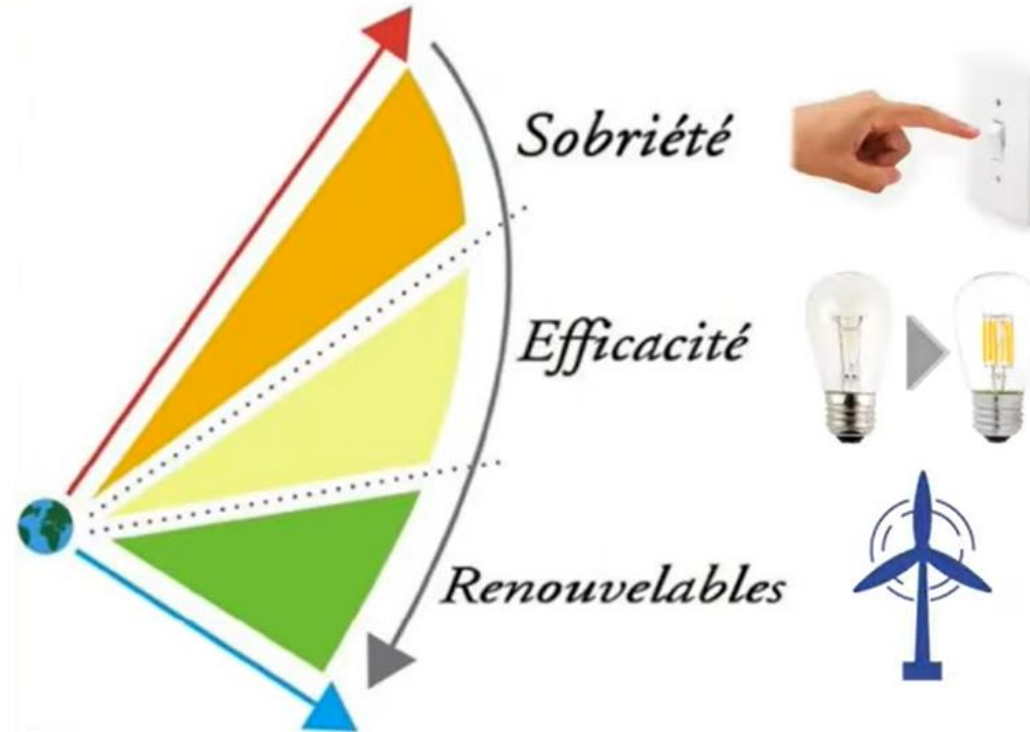
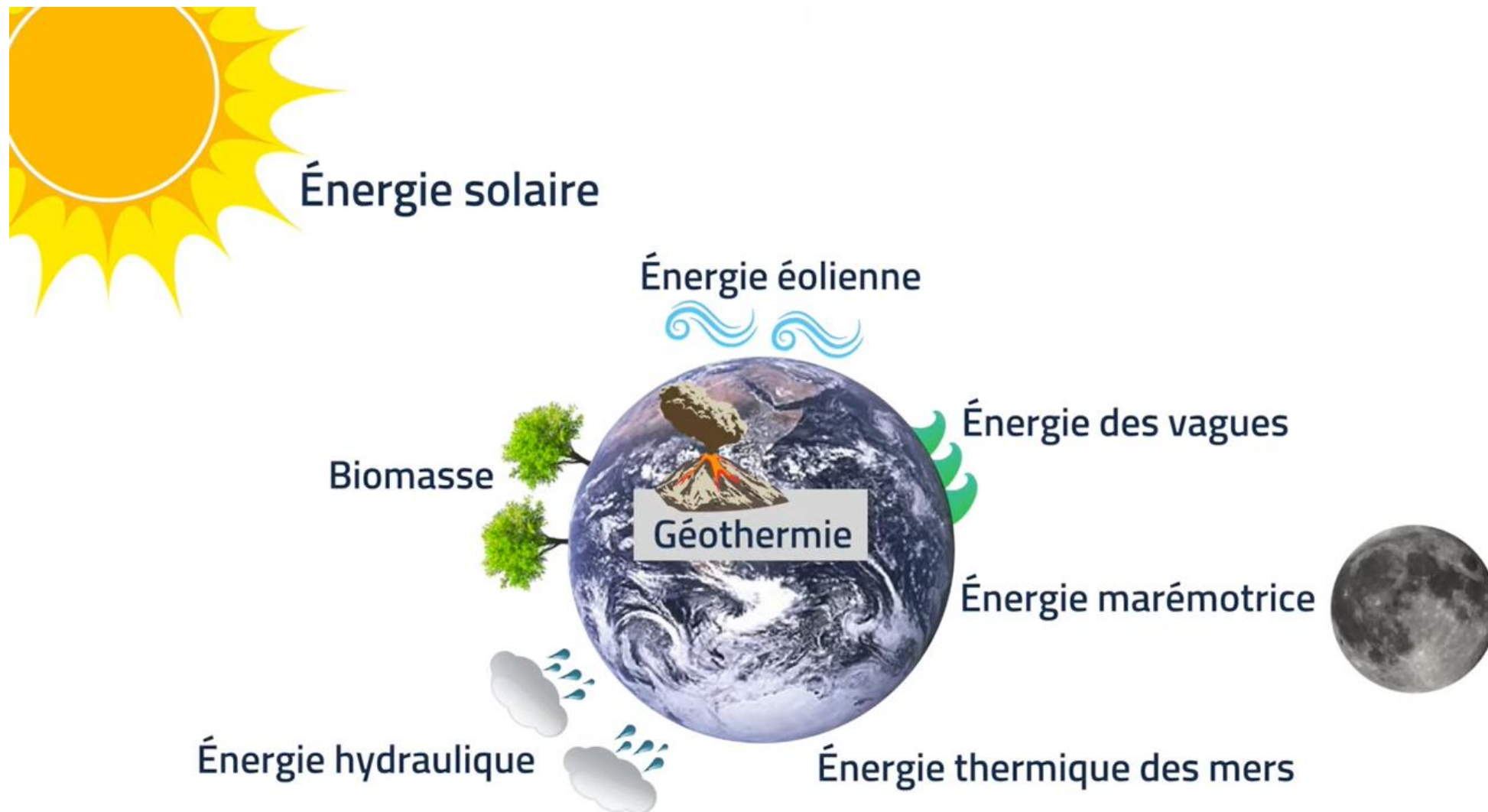


Schéma: negaWatt

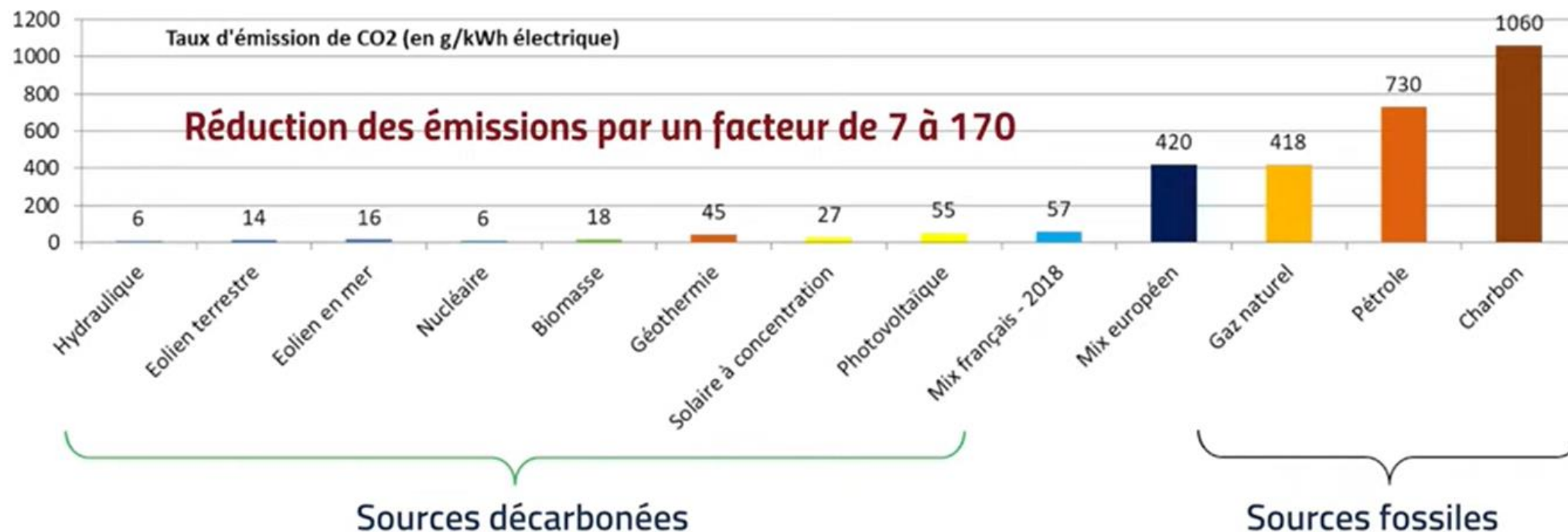
Les principales sources d'ENR sur Terre



Les énergies renouvelables sont-elles vertes ?

Pour la production d'électricité ?

Monde: Environ 40% de la consommation d'énergie primaire - France: Environ 50%

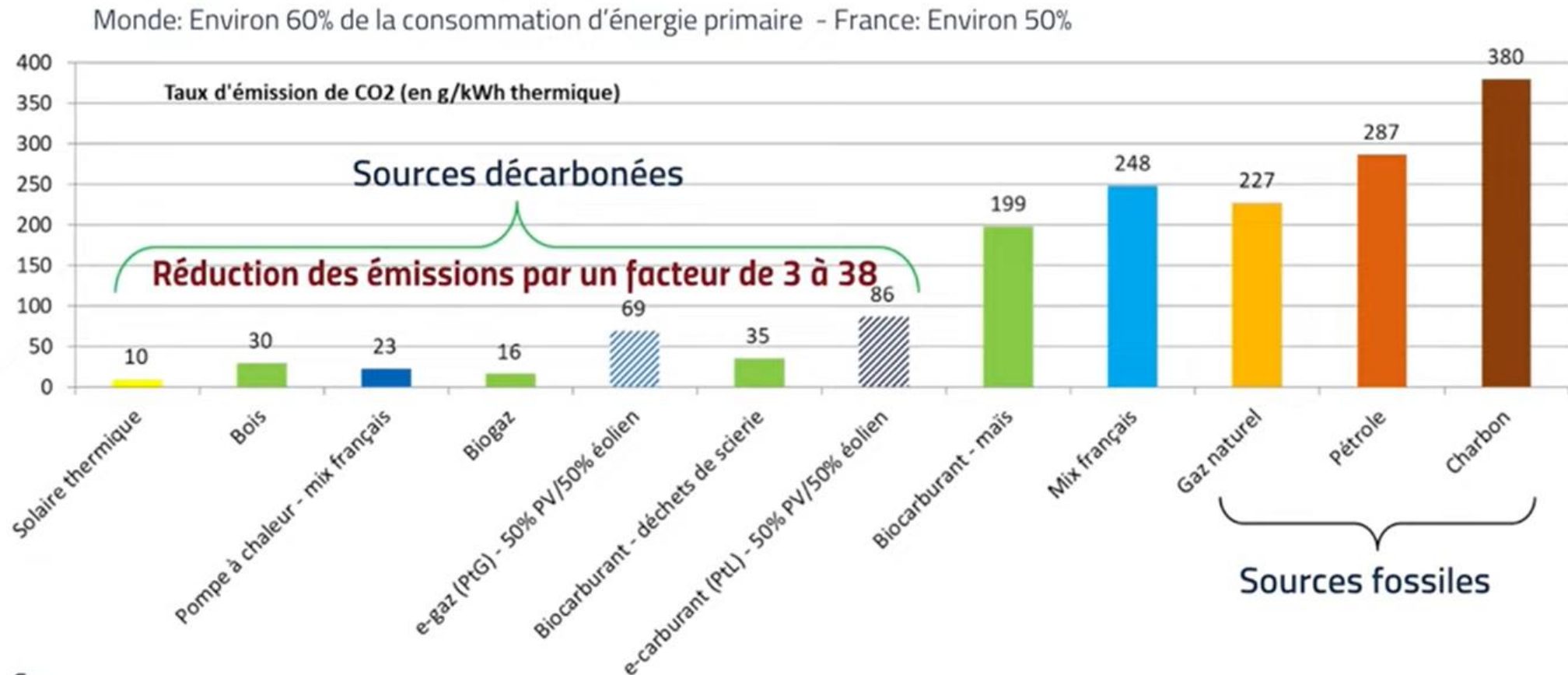


Sources:

Base carbone ADEME (2019) - IEA (2019) - Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2017)

Les énergies renouvelables sont-elles vertes ?

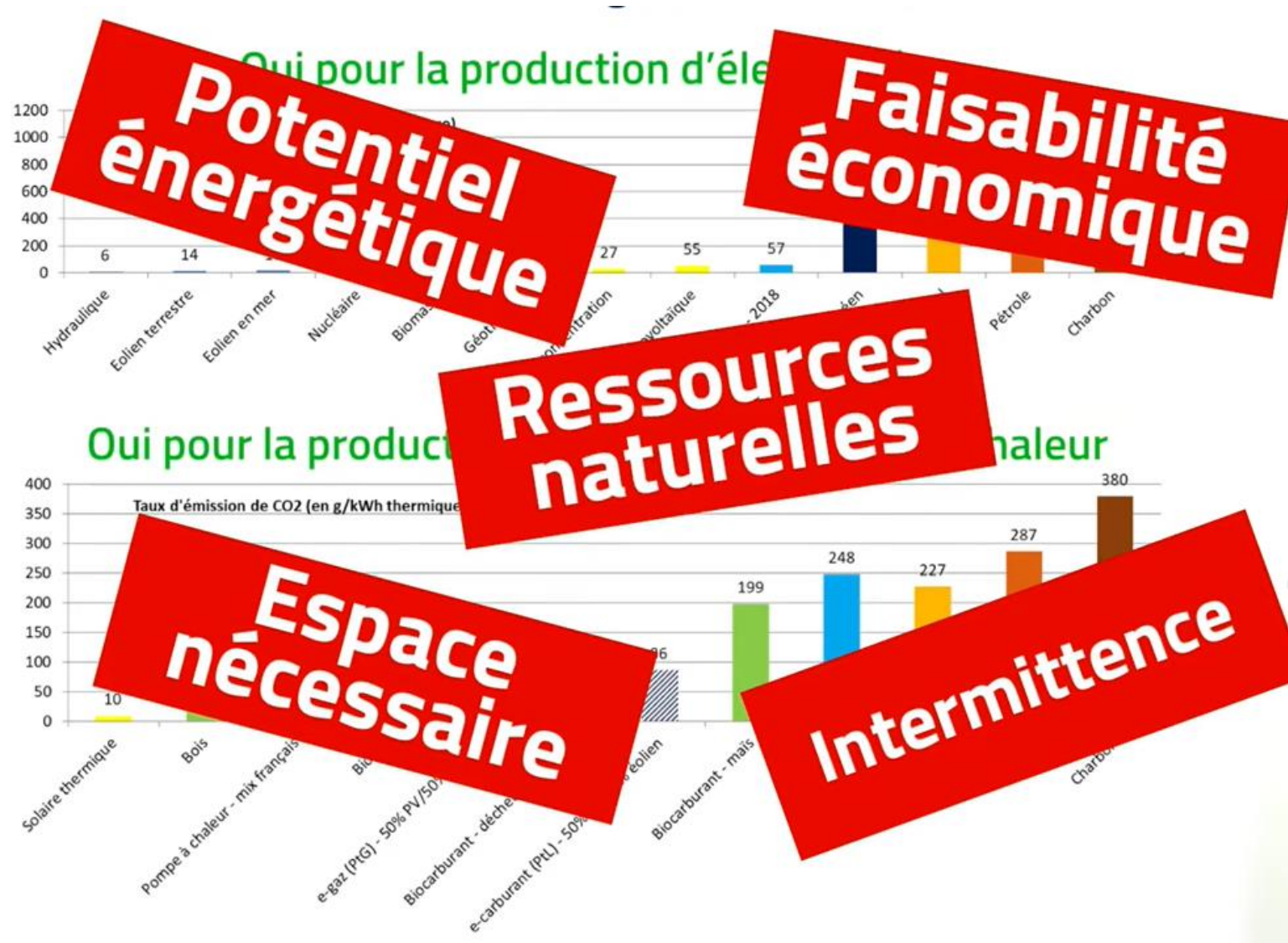
Pour la production de combustible ou de chaleur ?



Sources:

Base carbone ADEME (2019) - IEA (2019) - Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2017) - Datalab climat & calcul de l'auteur

=> Oui, les énergies renouvelables sont vertes, mais **quid de :**



Potentiel énergétique

Faisabilité économique

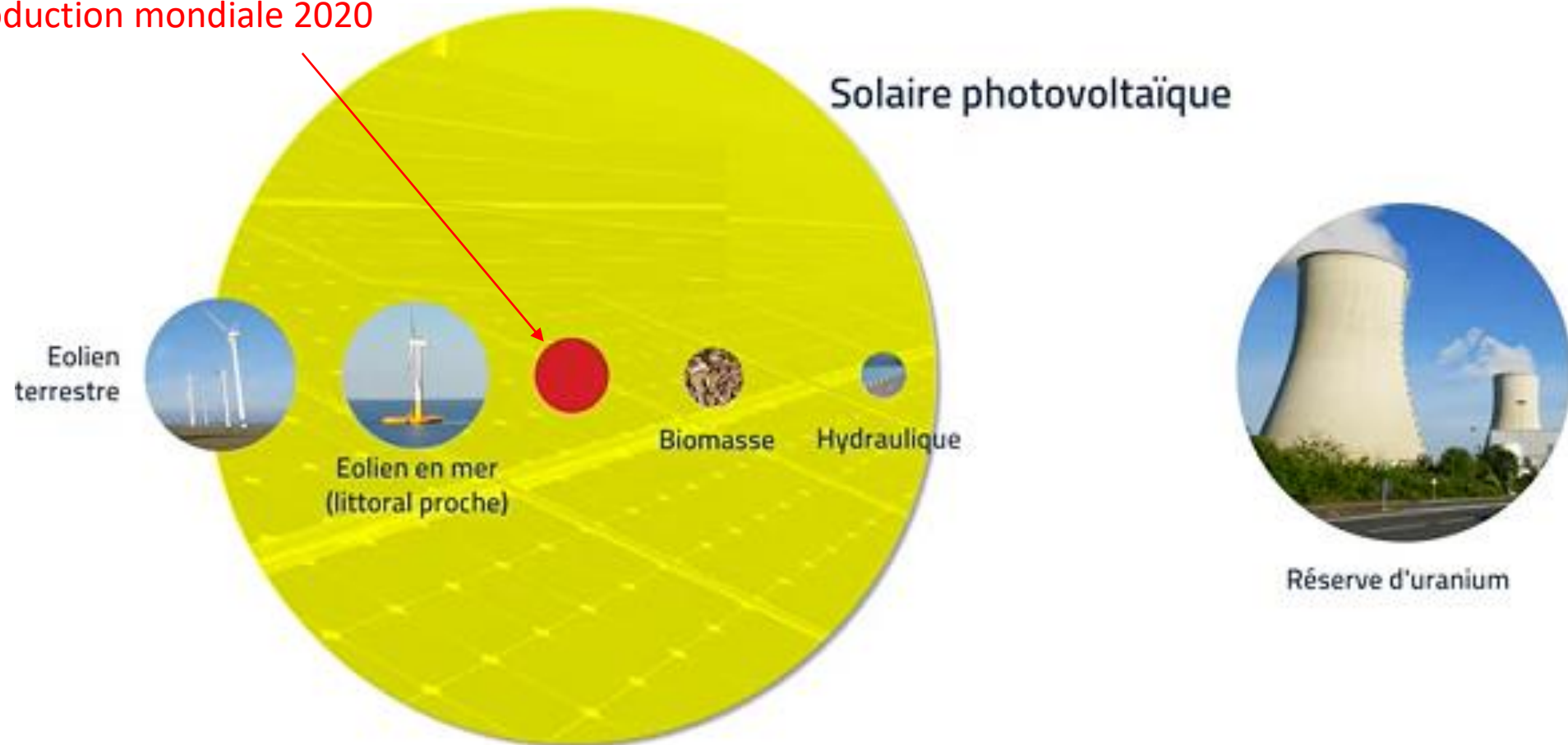
Ressources naturelles

Espace nécessaire

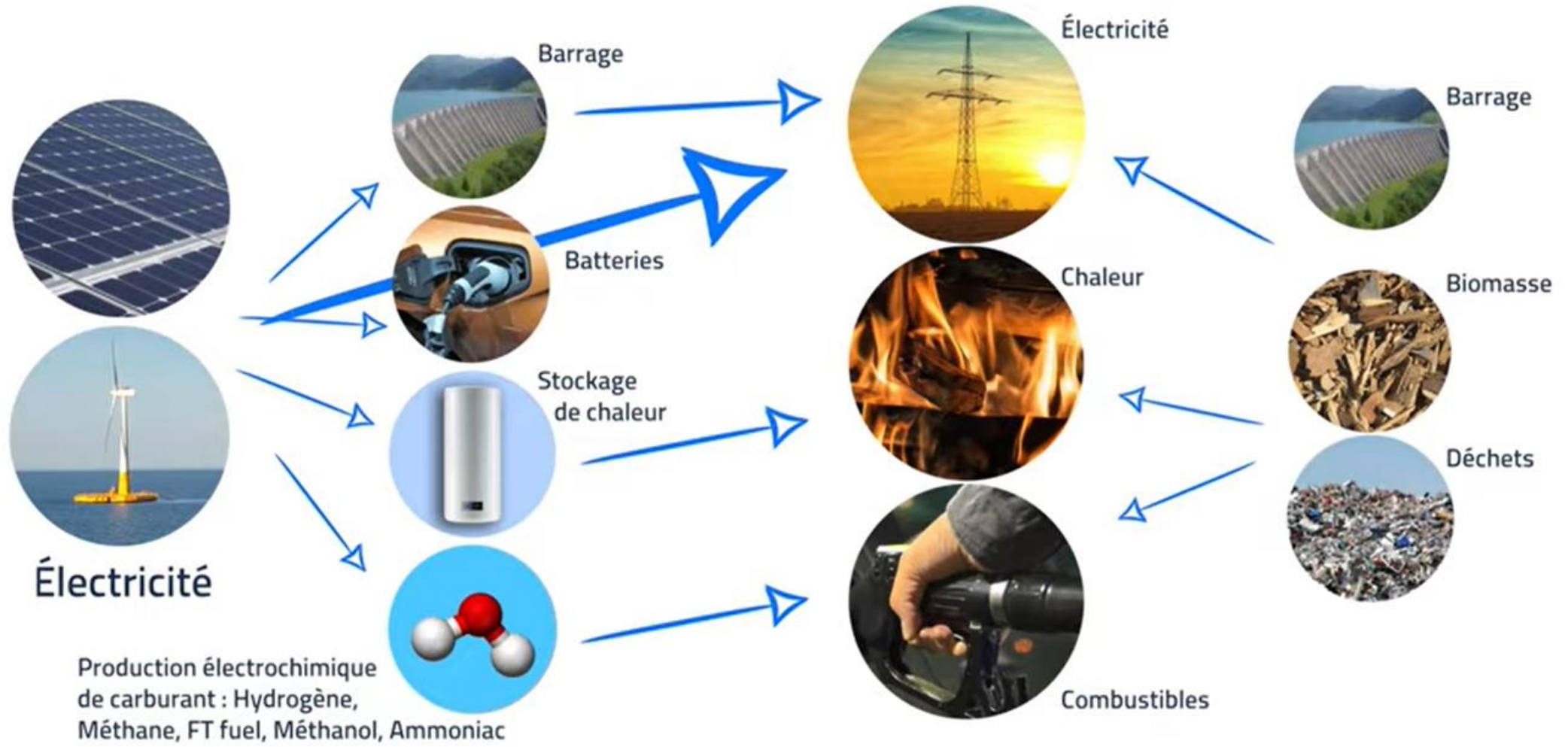
Intermittence

Le potentiel énergétique est-il suffisant ?

Production mondiale 2020



Le couple « Production ; Consommation »



La consommation des terres rares (DATA US DOE 2018) :

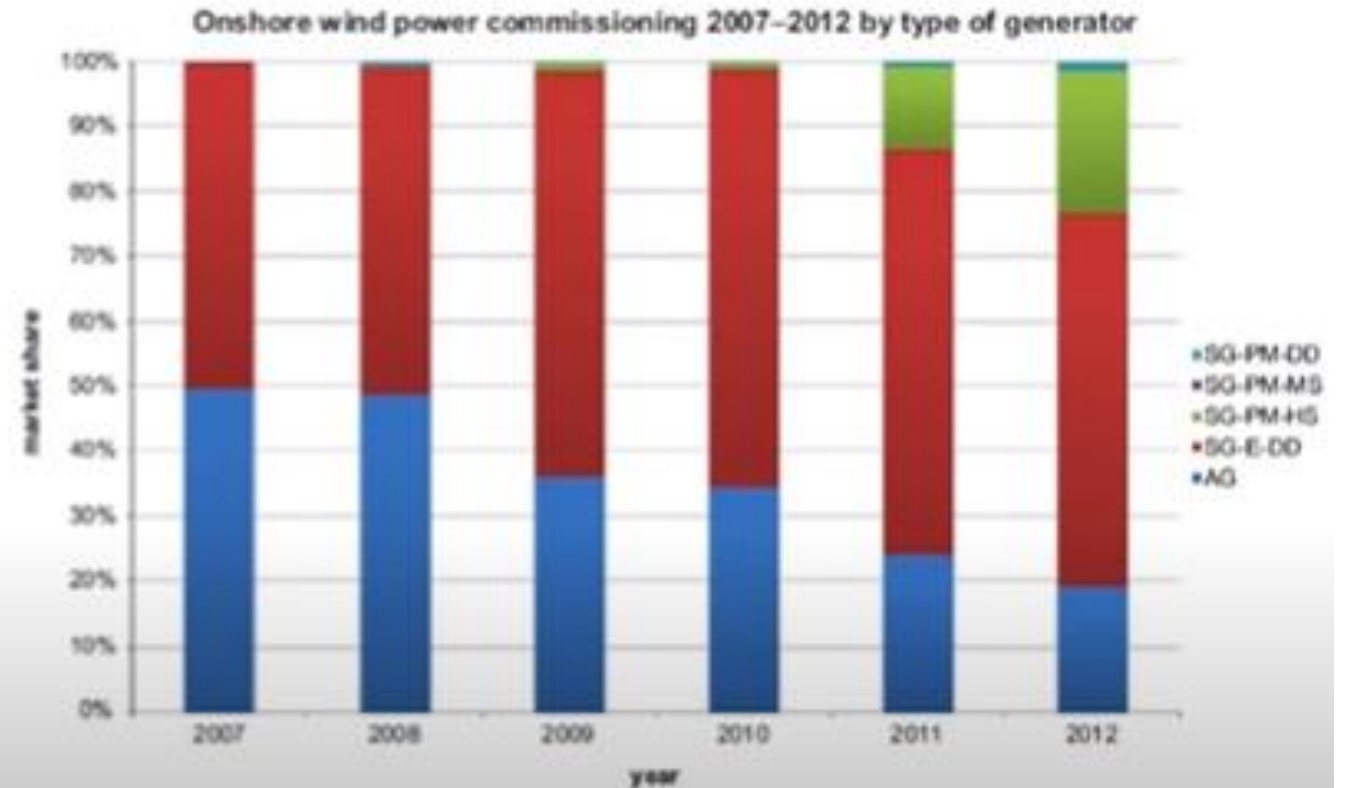
L'éolien

Eoliennes

Les technologies AG et SG-E-DD représentent 75% du marché. Elles contiennent:

- Acier (mat, arbre, structure) : 86t/MWc
- Alliages : 11t/MWc
- Cuivre: ~4t/MWc
- Composites (pales): 10t/MWc
- Béton (fondation): 500t/MWc

Elles ne contiennent **PAS** de terres rares



La consommation des terres rares (DATA US DOE 2018) :

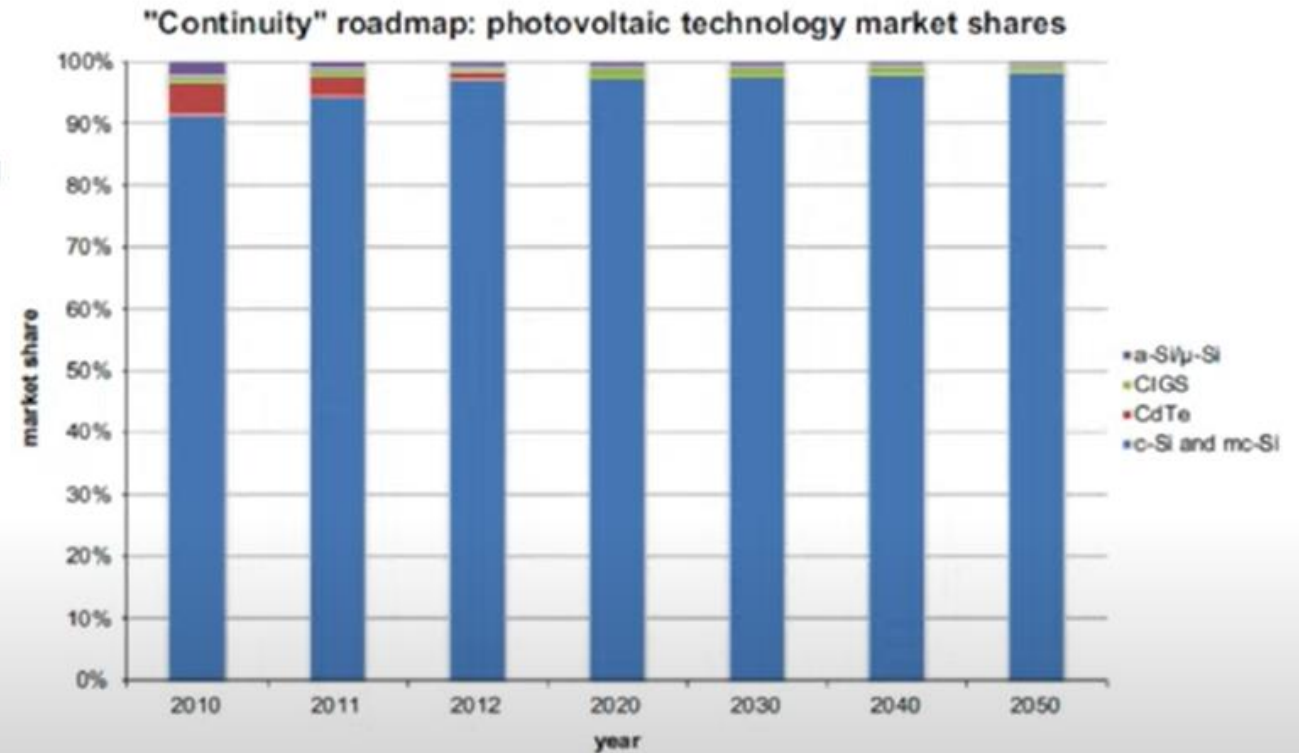
Le photovoltaïque

Photovoltaïque

Les technologies à base de Silicium représentent 95% du marché. Elles contiennent:

- Très majoritairement du silicium (verre de protection ~30g/Wc, cellules ~4g/Wc)
- De l'aluminium (cadre)
- Du plastique (film de protection)
- Du bore & du phosphore (dopage des cellules)
- De l'argent (soudures): ~0.04g/Wc

Elles ne contiennent **PAS** de terres rares



Comparatif des consommations des ressources naturelles par technologie (DATA US DOE 2018) :

Ressource (tonne/TWh)	Charbon	Gaz	Nucléaire	Eolien	Solaire
Aluminium	3	1	0	35	680
Ciment	0	0	0	0	3 700
Béton	870	400	760	8 000	350
Cuivre	1	0	3	23	850
Verre	0	0	5	92	2 700
Fer	1	1	5	120	0
Plomb	0	0	2	0	0
Plastique	0	0	0	190	210
Silicium	0	0	0	0	57
Acier	310	170	160	1 800	7 900
Sous total	1 185	572	935	10 260	16 447

Comparatif des consommations des ressources naturelles par technologie (DATA US DOE 2018) :

Ressource (tonne/TWh)	Charbon	Gaz	Nucléaire	Eolien	Solaire
Aluminium	3	1	0	35	680
Ciment	0	0	0	0	3 700
Béton	870	400	760	8 000	350
Cuivre	1	0	3	23	850
Verre	0	0	5	92	2 700
Fer	1	1	5	120	0
Plomb	0	0	2	0	0
Plastique	0	0	0	190	210
Silicium	0	0	0	0	57
Acier	310	170	160	1 800	7 900
Sous total	1 185	572	935	10 260	16 447
Combustible	429 000	133 000	N/A	0	0
Eau	132 000	66 000	198 000	1 320	26 400
Total	562 185	199 572	198 935	11 580	42 847

Le coût de production de l'électricité (DATA LAZARD 2017) :

\$ / MWh	Europe	USA	Chine	Asie Sud-Est	Inde
Eolien onshore	50-70	32-62	60-83	75-80	60-88
Eolien offshore	99-163	112-173	-	-	-
Solaire	50-90	49-61	55-88	115-140	71-252
Biomasse	81-119	73-115	108-123	-	-
Géothermie	70-220	35-78	-	-	-
Charbon	62-105	61-158	70-82	65-90	120 (moyenne)
Gaz	66-74	48-79	90-101	70-80	-
Nouveau nucléaire	Environ 120 (Hinkley point)				

LCOE EOLIEN / SOLAIRE (DATA LAZARD 2017) :

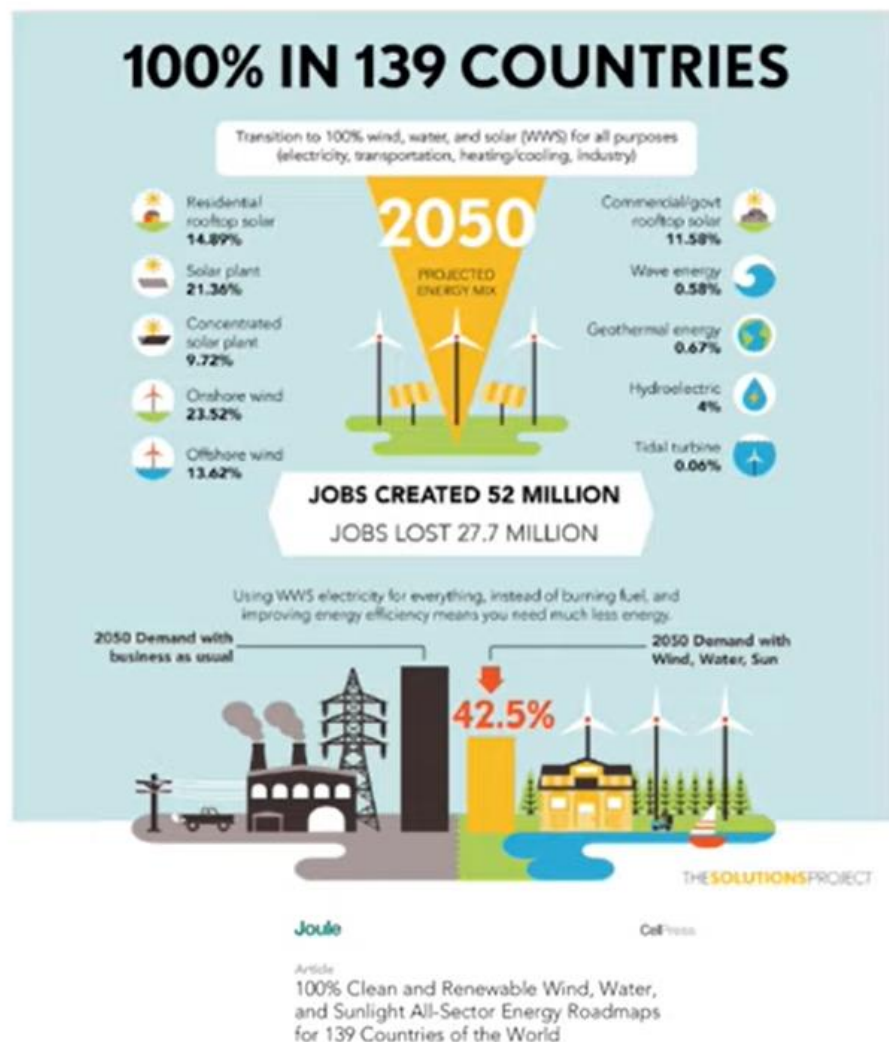


Dynamics of levelized cost of electricity (LCOE) from solar and wind power plants in 2009-2017, USD/MWh.
Source: Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis, version 11.0 [4].

3

**Une énergie 100% renouvelable en 2050,
c'est possible ?**

Hypothèse étude Mark Jacobson, Université de Stanford

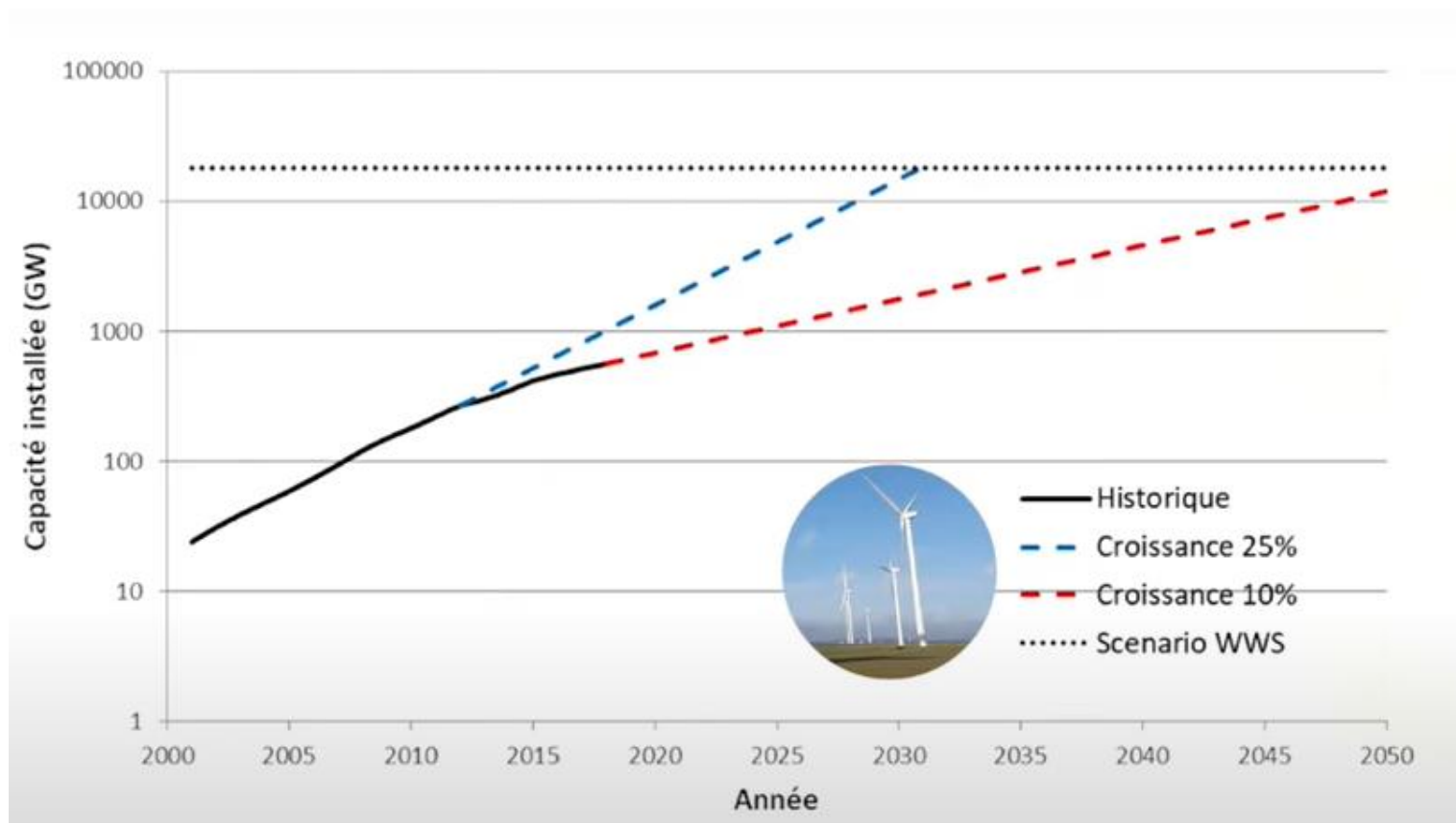


- Echelle planétaire
- Eolien, solaire et hydraulique
- Scénario 1.5 °C
- Electrification massive de tous les secteurs économiques
Réduction de 42.5% de la demande énergétique
- Prise en compte de l'équilibrage entre l'offre et la demande
Stockage de chaleur, de froid, batteries, et pilotage de la demande

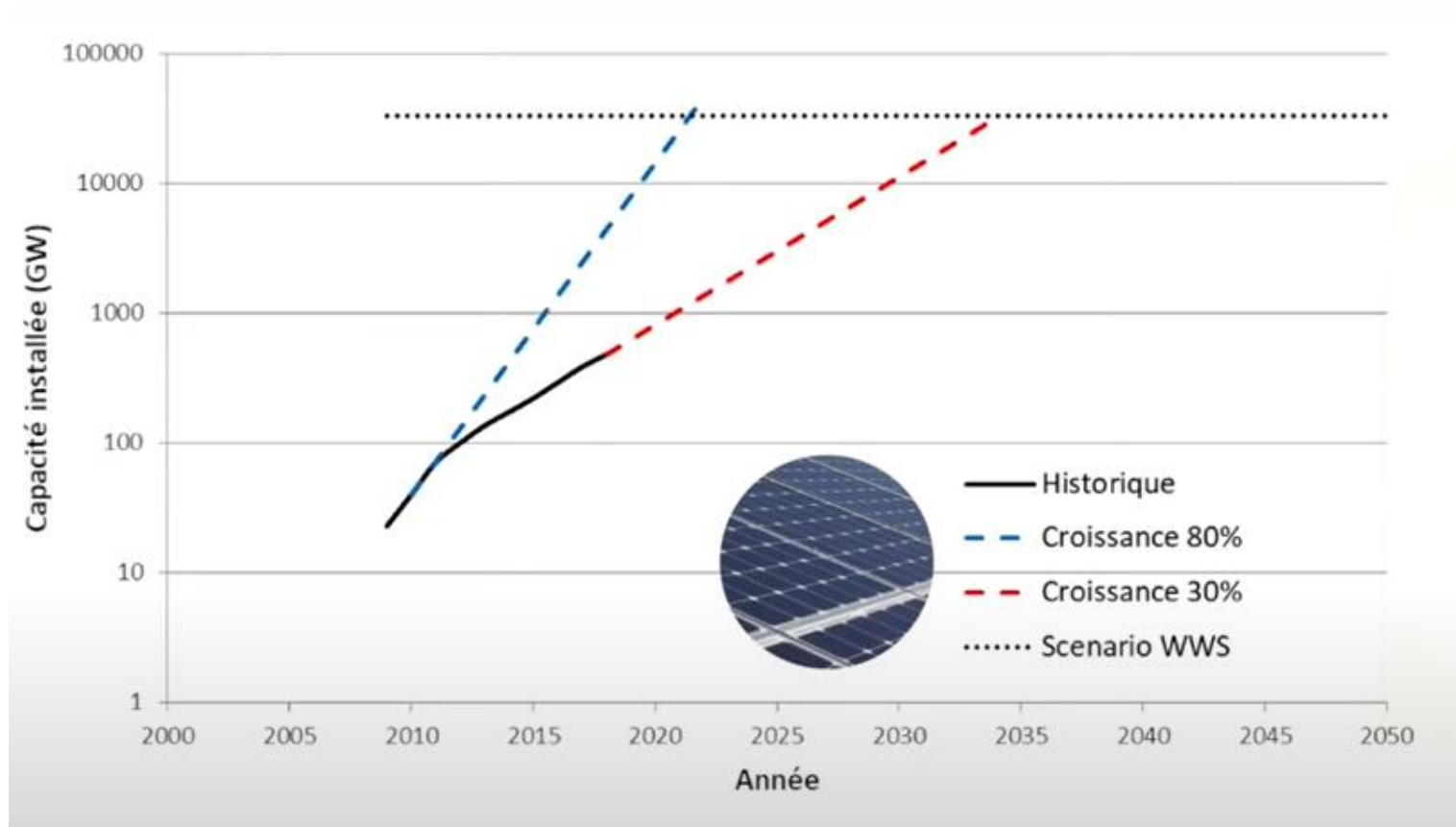
Hypothèse de développement Monde de 2018 à 2050

	2050		2018
Eoliennes			
Capacité (GW)	18 000	x32	563
# (5MW/u)	3 600 000	x10	360 000
Photovoltaïque			
Capacité (GW)	33 000	x70	480
Solaire à concentration			
Capacité (GW)	2 150	x390	5.5
Hydraulique			
Capacité (GW)	1 060	-10%	1 171

Hypothèse de croissance – Timing pour développer les capacités (DATA IRENA 2019) : Eolien



Hypothèse de croissance – Timing pour développer les capacités (DATA IRENA 2019) : Solaire



Y a-t-il assez d'espace sur Terre ?

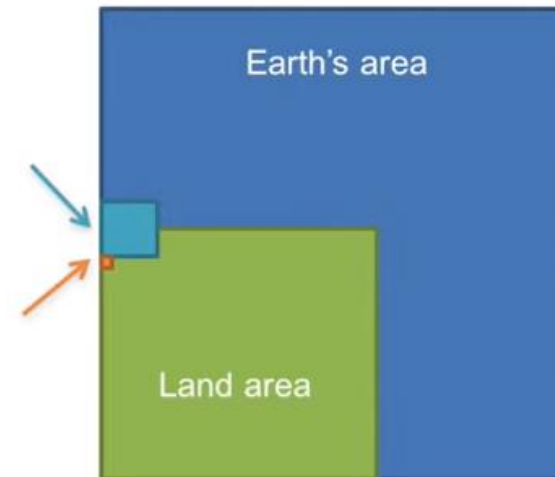
Source	Densité énergétique	Capacité (GW)	Espace nécessaire (kms ²)	Proportion de la surface tdu globe	Proportion des surfaces émergées
Eoliennes	3 MW/km ²	18 000	6 000 000	1.1%	4%
Photovoltaïque	200 W/m ²	33 000	185 500	0.03%	0.1%

Surface de la Terre : 510 100 000 km²

Surfaces émergées : 148 940 000 km²

Surface with turbines

Surface used for solar panels



Q&A