



Transition énergétique :

Quelques chiffres et notions clés.

Laurent Zimmer CNRS, CentraleSupélec, Université Paris Saclay

20 septembre 2022

SOMMAIRE

Introduction

Quelques unités à comprendre

Quelques chiffres clés

Production d'énergie

Stockage d'énergie

Utilisation de l'énergie

Conclusions

Objectifs :

- Permettre de comprendre les unités utilisées en énergétique
- Avoir une connaissance sur la production / consommation au niveau national, européen et mondial
- Comprendre le principe physique de fonctionnement des différentes sources d'énergie

Energie :

Grandeur caractérisant un système physique, gardant la même valeur au cours de toutes les transformations internes du système (**loi de conservation**) et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction. (Unité SI le **joule**.) (Larousse)

Caractère d'un système matériel capable de produire du **travail**. Les formes de l'énergie : **énergie mécanique, électrique, thermique, chimique, nucléaire**. Énergies renouvelables, provenant de sources naturelles non épuisables (soleil, vent, marée...). Énergies non renouvelables (ENR). Énergie verte : transformation de l'énergie solaire par les plantes. Énergies fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole). (Le petit Robert)

Capacité qu'a un corps, un système, de produire un travail. Les différentes formes d'énergie. Énergie mécanique, chimique, électrique, nucléaire. Le débit d'énergie des étoiles et des galaxies est principalement dû aux réactions thermonucléaires. Dans le système international, l'unité de mesure de l'énergie est le joule. Énergie cinétique, que peut fournir un corps, un système en mouvement, du fait même de ce mouvement. Énergie potentielle, qui est en puissance dans un système et peut être libérée par un changement d'état. Principe de conservation de l'énergie, principe selon lequel **l'énergie totale d'un système isolé reste constante**. (Dictionnaire de l'Académie Française)



COLLÈGE
DE FRANCE
—1510—

CHAIRE INTERNATIONALE DE PALÉOANTHROPOLOGIE
Année académique 2017-2018

Jean-Jacques HUBLIN

Professeur invité du Collège de France
Directeur au Max Planck Institut for Evolutionary Anthropology

TRAITS DE VIE ET CONTRAINTES ÉNERGÉTIQUES
AU COURS DE L'ÉVOLUTION HUMAINE

Cours les mardis de 17h à 18h30,
(ouverture 10 octobre 2017).



Energie :

Dans le domaine de la vie

Jean-Jacques HUBLIN, Traits de vie et contraintes énergétiques au cours de l'évolution humaine, cours du collège de France 2017-2018, *chaire de Paléoanthropologie*

Les contraintes **énergétiques** représentent un enjeu majeur pour l'adaptation des organismes qui doivent extraire de **l'énergie** de leur environnement en quantité suffisante, sous la forme de nourriture pour les animaux. Cette **énergie** doit ensuite être allouée aux différentes fonctions vitales. Le coût de ces fonctions varie selon les organes impliqués et d'une espèce à l'autre. L'acquisition des aliments et leur digestion elles-mêmes représentent un coût **énergétique** important.

Dans les sciences appliquées

Objectif du cours

Dans la société



05 janvier > 23 février 2022

Christian GOLLIER

CHAIRE AVENIR COMMUN DURABLE
(CHAIRE ANNUELLE 2021-2022)

**Fin du mois et fin du monde :
comment concilier économie et écologie ?**

Cours & séminaires

Les cours auront lieu les mercredis de 10h00 à 11h00.

Ils seront suivis par les séminaires de 11h15 à 12h15

Amphithéâtre Maurice Halbwachs

Les cours et séminaires sont gratuits, en accès libre, sans inscription préalable.

Passe sanitaire requis, masque obligatoire

05 janvier 2022

Du sang, des larmes et de la sueur :
les coûts de la transition énergétique

SOMMAIRE

Introduction

Quelques unités à comprendre

Quelques chiffres clés

Production d'énergie

Stockage d'énergie

Utilisation de l'énergie

Conclusions

Quelques unités à comprendre

Unités de base

Longueur	m	mètre
Masse	kg	kilogramme
Durée	s	seconde
Température	K	Kelvin
Quantité de matière	mol	mole
Courant électrique	A	Ampère
Intensité lumineuse	cd	candela

Définition du mètre

L'étalon pour la longueur n'a cessé d'être modifié tout au long de l'histoire de l'humanité. Dans un premier temps, les longueurs étaient définies par rapport à des concepts concrets et quotidiens. Le mètre a connu plusieurs définitions depuis sa première introduction le 26 mars 1791. A l'époque, il est défini comme étant égal à la dix millionième partie du quart du méridien terrestre (cette distance correspond au cercle complet et non à un demi-cercle).

Les dernières définitions sont relativement récentes et concernent moins des objets concrets et facilement concevables.

En 1960, il était défini comme étant fondé sur la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86.

Actuellement, et ce depuis la 17^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures (1983), il correspond à la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299792458$ de seconde.

On peut constater que cette définition n'est pas intrinsèque malheureusement, car elle fait apparaître la notion de temps

En 1997, la **définition de la seconde** se réfère à un atome de Césium 133 non perturbé, $\Delta\nu$, à une température de 0 K, c'est-à-dire au zéro absolu. Sa fréquence est égale à 9 192 631 770 [Hz] pour déterminer la seconde de façon aisément reproductible et précisément mesurable. Cela nécessite donc la définition de la température pour avoir accès à une définition du temps. Le fait d'imposer une transition à 0 [K] souligne le fait qu'à 300 [K], la transition en question subit un déplacement par rapport à sa valeur théorique. Cette correction a été apportée aux étalons primaires de fréquence et donc au Temps atomique international (TAI) à partir de 1997, quand elle a cessé d'être négligeable par rapport aux autres sources d'incertitude.

Depuis le 20 mai 2019, le **kilogramme** est défini en fixant la valeur numérique de la constante de Planck, h , égale à $6,62607015 \times 10^{-34}$ [J.s], unité égale à $[\text{kg.m}^2 . \text{s}^{-1}]$. Le mètre et la seconde doivent donc être définis auparavant. Il est intéressant de noter que quatre des sept unités de base du Système international sont définies par rapport au kilogramme, donc sa stabilité et sa définition sont importantes.

Depuis le 20 mai 2019, la valeur du **Kelvin** est définie en fixant la valeur numérique de la constante de Boltzmann à exactement $1,380649 \times 10^{-23}$ [J.K⁻¹].

Force en Newton [N]

Une force **F** est
une action physique exercée par un objet sur un autre
capable d'imposer une accélération induisant la modification du vecteur vitesse.

Cette notion permet de relier directement la somme des forces exercées sur un objet et son accélération par le principe fondamental de la dynamique.

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

où $\vec{a}$ correspond à l'accélération de l'objet étudié, de masse m .

La grandeur de base de la force est ainsi une masse $\times$ une accélération.

Elle est donc homogène à des $[\text{kg.m.s}^{-2}]$ et s'exprime en Newton [N].

Energie en Joule [J]

Un Joule correspond au travail d'une force motrice d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force.

$$1 \text{ [J]} = 1 \text{ [N]} \times 1 \text{ [m]}$$

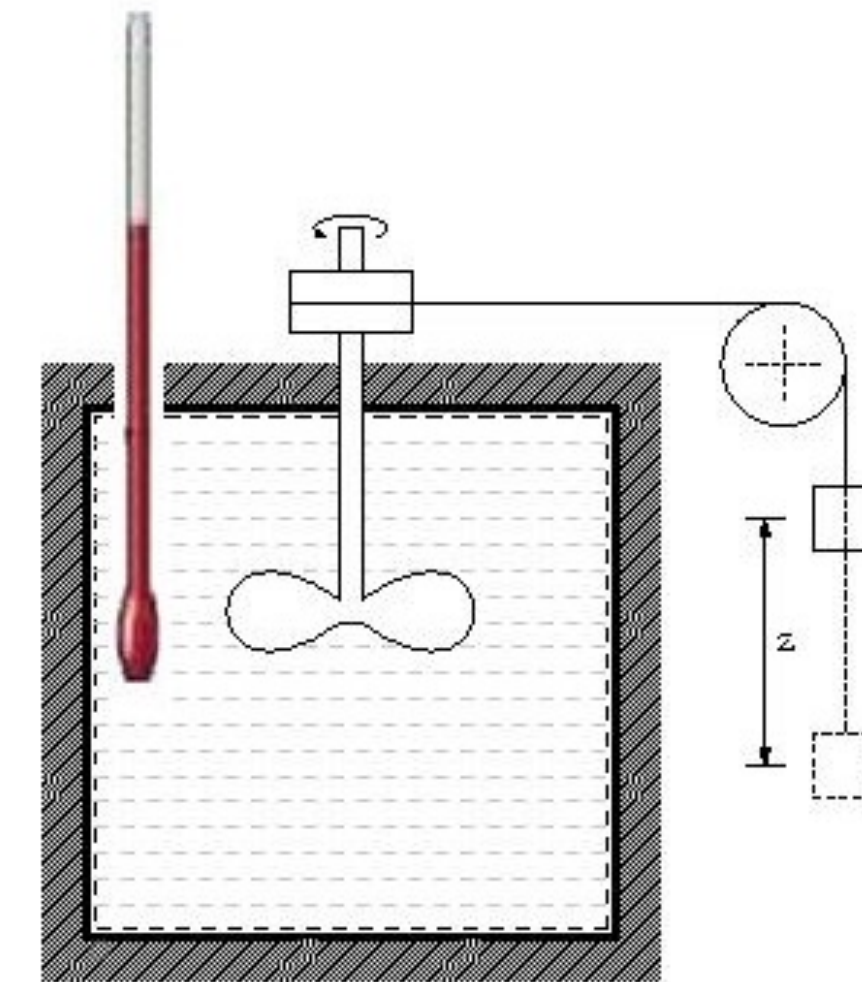
$$1 \text{ [J]} = 1 \text{ [kg.m.s}^{-2}] \times 1 \text{ [m]}$$

$$1 \text{ [J]} = 1 \text{ [kg.m}^2 \text{.s}^{-2}]$$

Expérience de Joule [J]

Le Joule a été utilisé en hommage à James Prescott JOULE (1818-1889) qui a démontré l'équivalence rigoureuse entre le travail mécanique (Force X longueur) et la chaleur.

L'expérience historique de Joule (1843) consiste à **chauffer de l'eau** dans une enceinte isolée thermiquement, par la **rotation d'une hélice**, entraînée par la chute d'un objet relié par un fil à une poulie. Un thermomètre permet de mesurer l'élévation de la température. Joule montra que la chaleur reçue par le liquide est égale, aux pertes près, au travail mécanique de la masse.



Expérience de Joule [J]

Le Joule a été utilisé en hommage à James Prescott JOULE (1818-1889) qui a démontré l'équivalence entre le travail mécanique (Force X longueur) et la chaleur.

[61]

On the Mechanical equivalent of Heat

III. *On the Mechanical Equivalent of Heat.* By JAMES PRESCOTT JOULE, F.C.S., Sec. Lit. and Phil. Society, Manchester, Cor. Mem. R.A., Turin, &c. Communicated by MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S., Foreign Associate of the Academy of Sciences, Paris, &c. &c. &c.

Received June 6,—Read June 21, 1849.

"Heat is a very brisk agitation of the insensible parts of the object, which produces in us that sensation from whence we denominate the object hot; so what in our sensation is *heat*, in the object is nothing but *motion*."—LOCKE.

"The *force* of a moving body is proportional to the square of its velocity, or to the height to which it would rise against gravity."—LEIBNITZ.

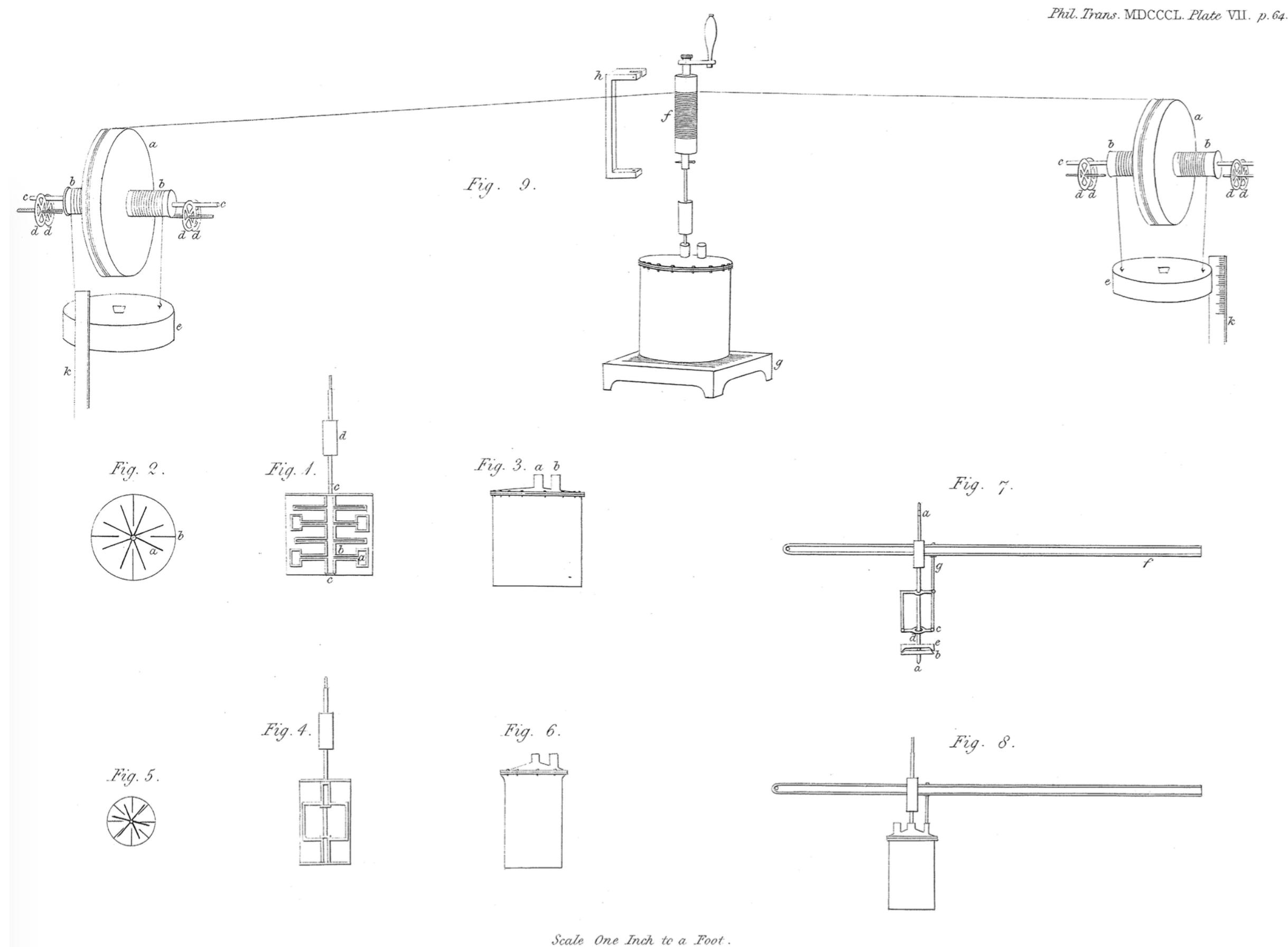
IN accordance with the pledge I gave the Royal Society some years ago, I have now the honour to present it with the results of the experiments I have made in order to determine the mechanical equivalent of heat with exactness. I will commence with a slight sketch of the progress of the mechanical doctrine, endeavouring to confine myself, for the sake of conciseness, to the notice of such researches as are immediately connected with the subject. I shall not therefore be able to review the valuable labours of Mr. FORBES and other illustrious men, whose researches on radiant heat and other subjects do not come exactly within the scope of the present memoir.

For a long time it had been a favourite hypothesis that heat consists of "a force or power belonging to bodies*," but it was reserved for Count RUMFORD to make the first experiments decidedly in favour of that view. That justly celebrated natural philosopher demonstrated by his ingenious experiments that the very great quantity of heat excited by the boring of cannon could not be ascribed to a change taking place in the calorific capacity of the metal; and he therefore concluded that the motion of the borer was communicated to the particles of metal, thus producing the phenomena of heat:—"It appears to me," he remarks, "extremely difficult, if not quite impossible, to form any distinct idea of anything, capable of being excited and communicated, in the manner the heat was excited and communicated in these experiments, except it be motion†."

One of the most important parts of Count RUMFORD's paper, though one to which

* Crawford on Animal Heat, p. 15.

† "An Inquiry concerning the Source of the Heat which is excited by Friction." Phil. Trans. Abridged, vol. xviii. p. 286.



M. Joule on the Mechanical Equivalent of Heat.

J. Basire sc.

The first mention, so far as I am aware, of experiments in which the evolution of heat from fluid friction is asserted, was in 1842 by M. Mayer who states that he has raised the temperature of water from 12°C. to 13°C., by agitating it, without however indicating the quantity of force employed, or the precautions taken to secure a correct result.

Expérience de Joule [J]

Données du problème

Masse de l'objet : $m = 29 \text{ lbs}$ (13,15 kg)

Volume d'eau équivalent à **974,702 g**

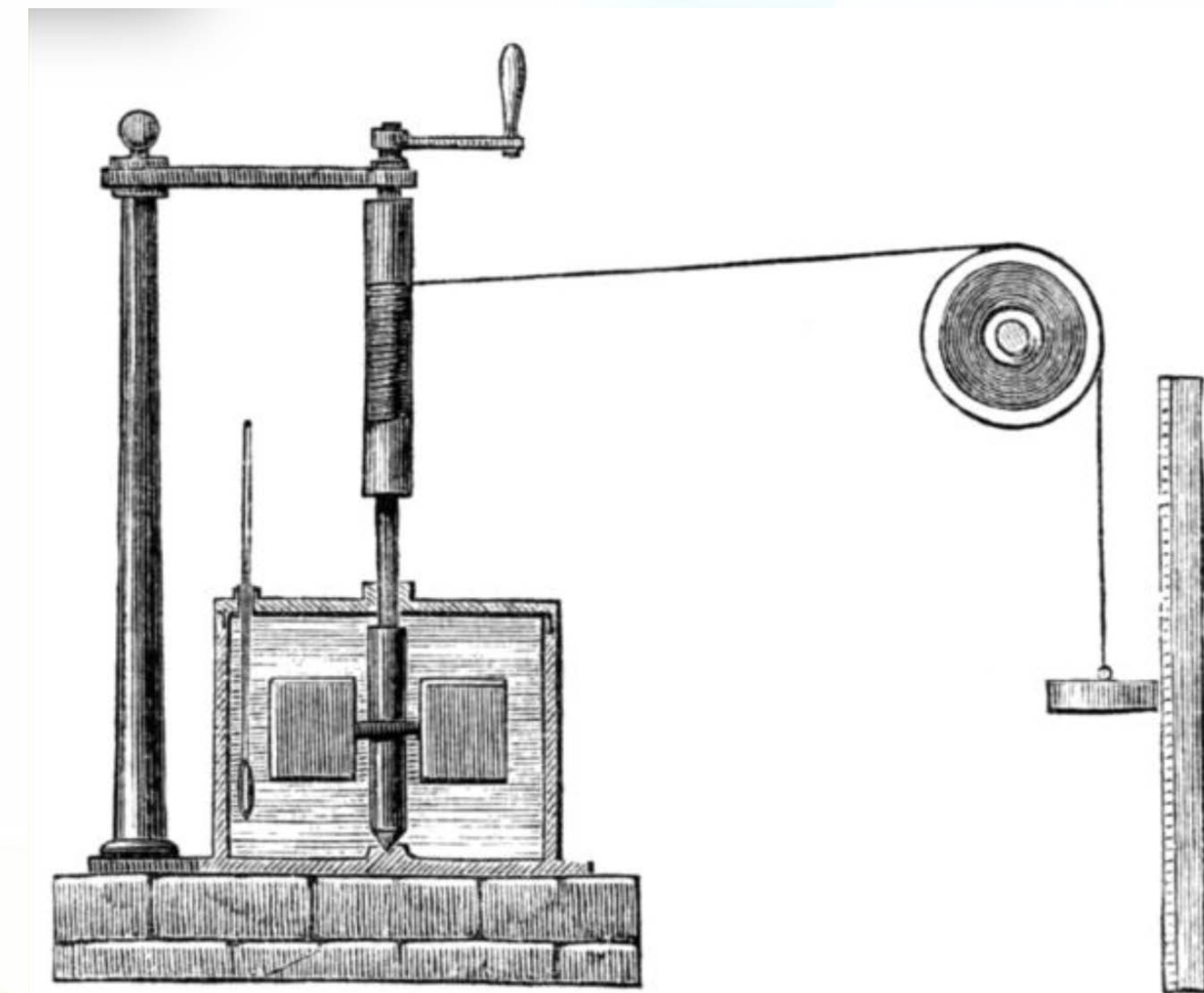
Chute totale de la masse : **31,92 m**

$$E = mg\Delta h = 13,15 \times 9,81 \times 31,92 \simeq 4118 \text{ [J]}$$

Quelle élévation de température (K)?

And since constant practice had enabled me to read off with the naked eye to 1/20th of a division, it followed that 1/200th of a degree FAHR was an appreciable temperature.

Pestre, D. (1994). La pratique de reconstitution des expériences historiques, une toute première réflexion. In C. Blondel & M. Dörries (Eds.), *Restaging Coulomb: Usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion* (pp. 17–30). Firenze: Leo S. Olschki.



Energie en calorie [cal]

Auparavant, d'autres unités étaient utilisées pour déterminer des quantités d'énergie : la calorie.

Celle-ci ne s'intéressait qu'à une forme particulière de l'énergie : la chaleur (*calor*).

1 calorie correspond à l'énergie nécessaire à élever 1g d'eau de 14,5°C à 15,5°C.

$$1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$$

La valeur de l'électronvolt est définie comme étant l'**énergie cinétique** acquise par un **électron** accéléré depuis le repos par une **différence de potentiel** d'un **volt**

Symbole	Dénomination	Equivalence [J]	Domaine d'application usuelle
[ev]	électron-Volt	$1,602 \cdot 10^{-19}$	Physique fondamentale.
[erg]	[erg]	10^{-7}	Unité d'énergie constitutive d'un système différent du Système international, appelé CGS (dont les unités de base sont le centimètre, le gramme et la seconde).

Puissance en Watt [W]

Un Watt correspond à l'utilisation d'une énergie de **1 Joule** par seconde.

$$1 \text{ [W]} = \frac{1 \text{ [J]}}{1 \text{ [s]}}$$

$$1 \text{ [J]} = 1 \text{ [kg.m}^2 \text{ . s}^{-2}\text{]}$$

$$1 \text{ [W]} = 1 \text{ [kg.m}^2 \text{ . s}^{-3}\text{]}$$

Ordres de grandeurs

yotta	Y	10^{24}		micro	μ	10^{-06}
zetta	Z	10^{21}		nano	n	10^{-09}
exa	E	10^{18}		pico	p	10^{-12}
péta	P	10^{15}		femto	f	10^{-15}
téra	T	10^{12}		atto	a	10^{-18}
giga	G	10^{09}		zepto	z	10^{-21}
méga	M	10^{06}		yocto	y	10^{-24}

D'autres unités usuelles d'énergie

- La tonne équivalent pétrole (TEP ou TOE en anglais) est une unité d'énergie définie comme la quantité d'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole brut.
 - 1 [toe] = 41,868 [GJ] (~100g d'Uranium)
- L'énergie dissipée par une puissance de 1 [kW] pendant 1 [h]
 - 1 [kWh] = 3,6 [MJ]
- Beaucoup de rapports récents utilisent le [TWh] comme unité de référence
 - 1 [TWh] = $3,6 \times 10^{15}$ [J]
 - 1 [TWh] = 3,6 [PJ]

Que représente 1 [TWh] ?

- Comment générer 1 [TWh] :
 - 1 réacteur nucléaire de 900 [MW] fournit une énergie d'environ 1 [TWh] en 2 mois.
 - 1 éolienne de 2 [MW] bien située fournit environ 4 [GWh] par an. Il faut donc 250 éoliennes de 2 [MW] pour générer 1 [TWh].
 - 1 installation photovoltaïque de taille moyenne produira annuellement 3 [MWh]. Il faudra donc 300 000 installations pour obtenir 1 [TWh].
 - 1 milliard de mètre cube de gaz naturel (pression atmosphérique / 0 °C)
~400 000 piscines olympiques

SOMMAIRE

Introduction

Quelques unités à comprendre

Quelques chiffres clés

Production d'énergie

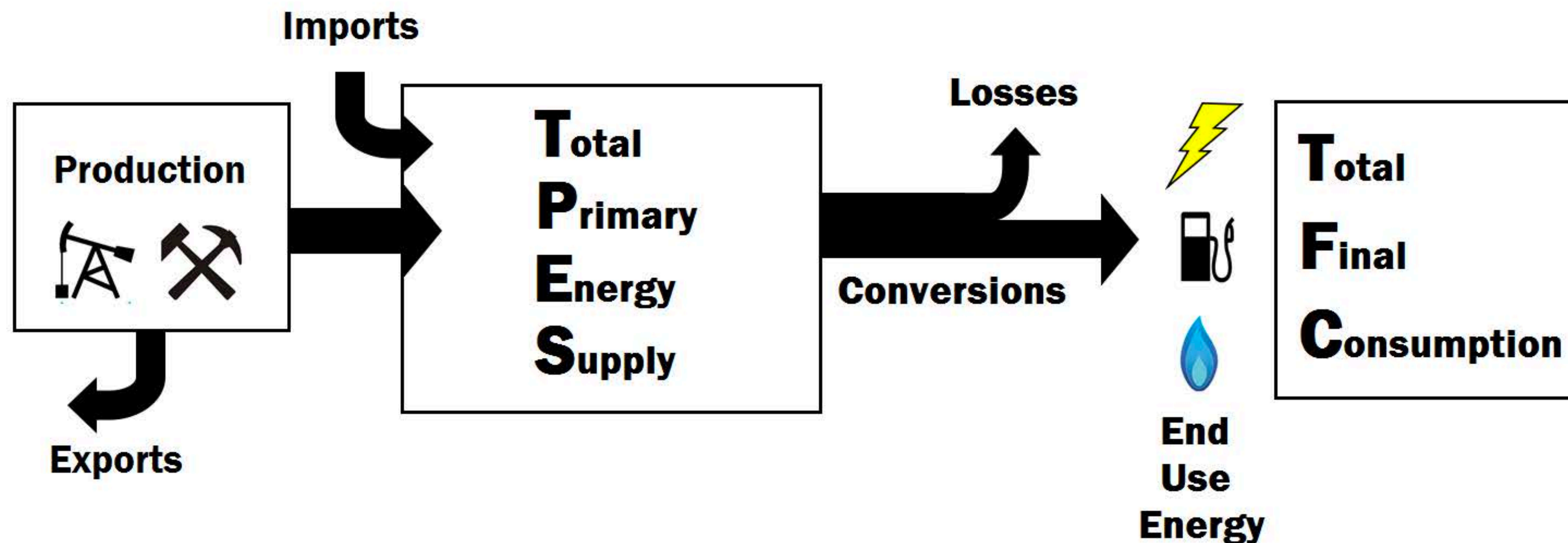
Stockage d'énergie

Utilisation de l'énergie

Conclusions

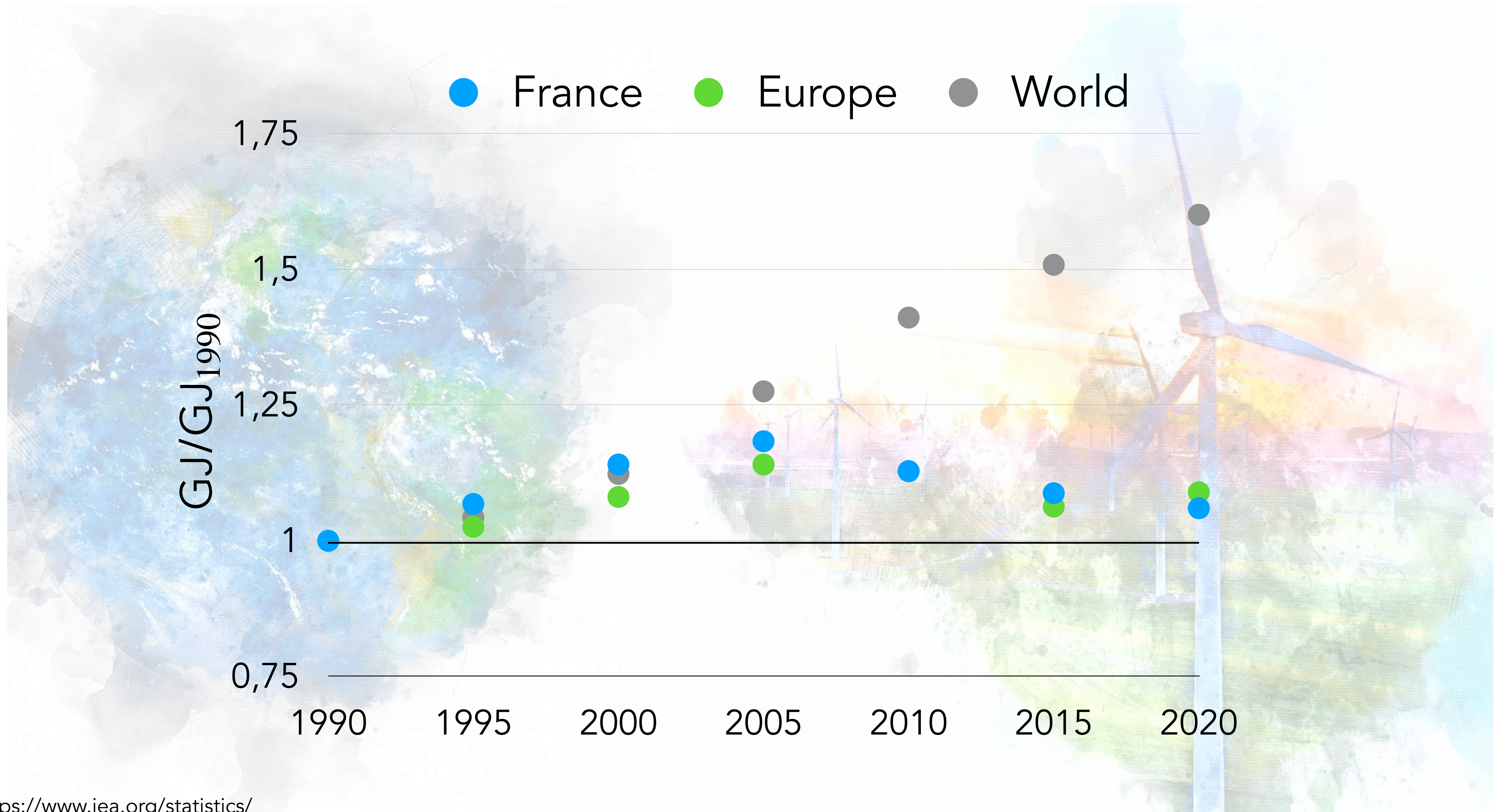
Quelques chiffres clés

Country's Energy Flows



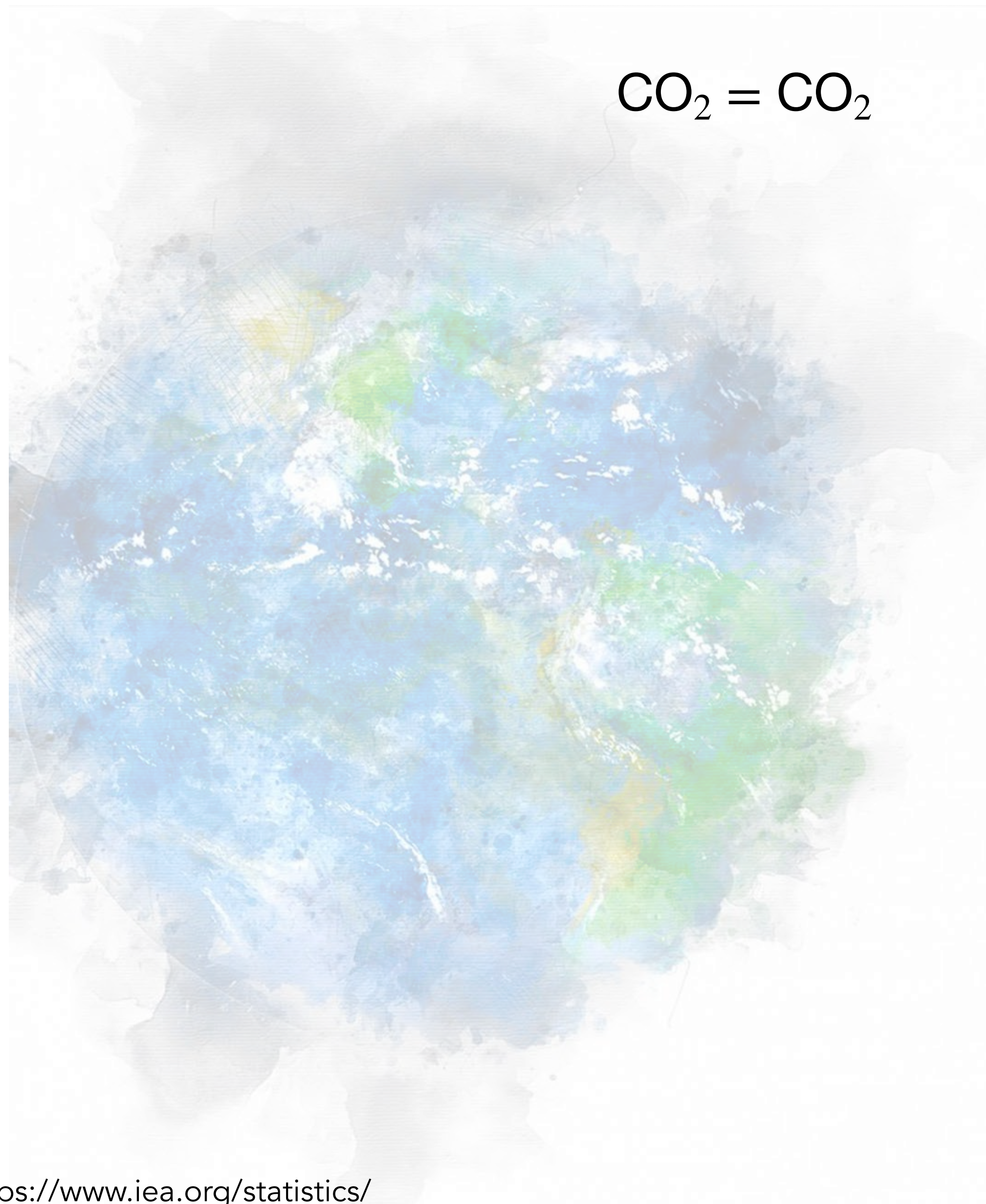
Le TPES représente donc l'ensemble des ressources énergétiques destinées à la **consommation intérieure**.

GJ/GJ₁₉₉₀

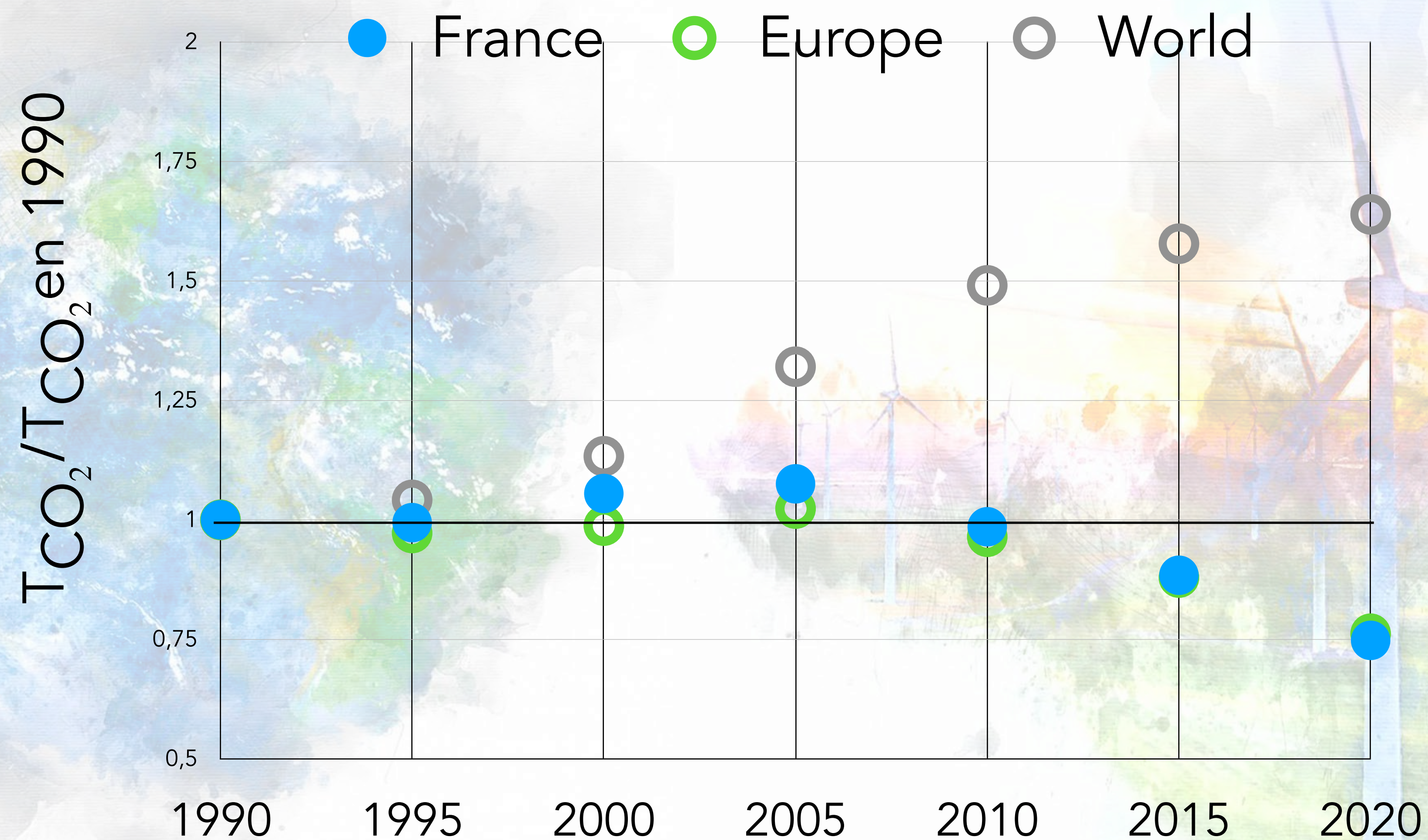


Première analyse

$\text{CO}_2 = \text{CO}_2$



CO₂

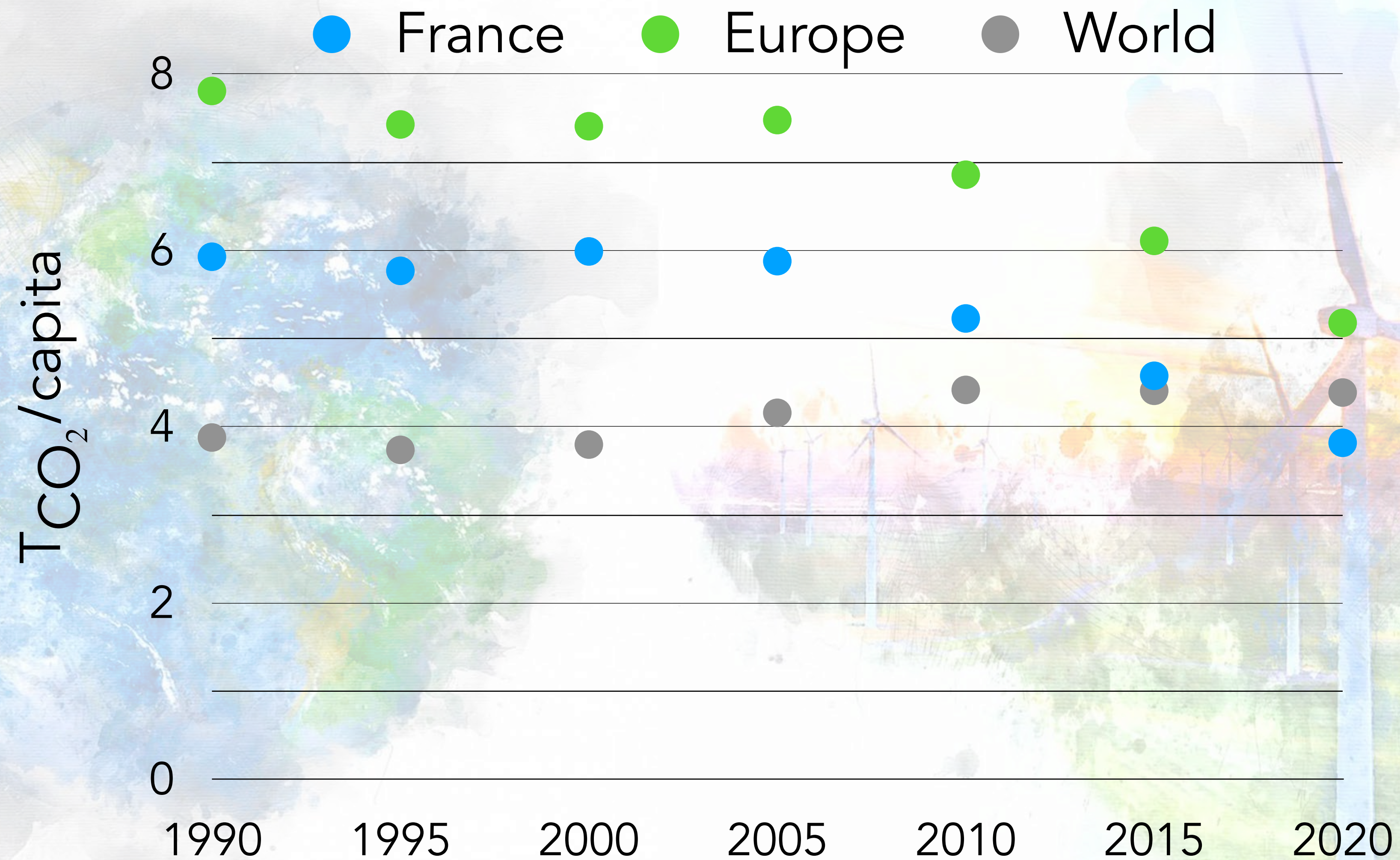


Seconde analyse

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2$$

$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Population}}$$

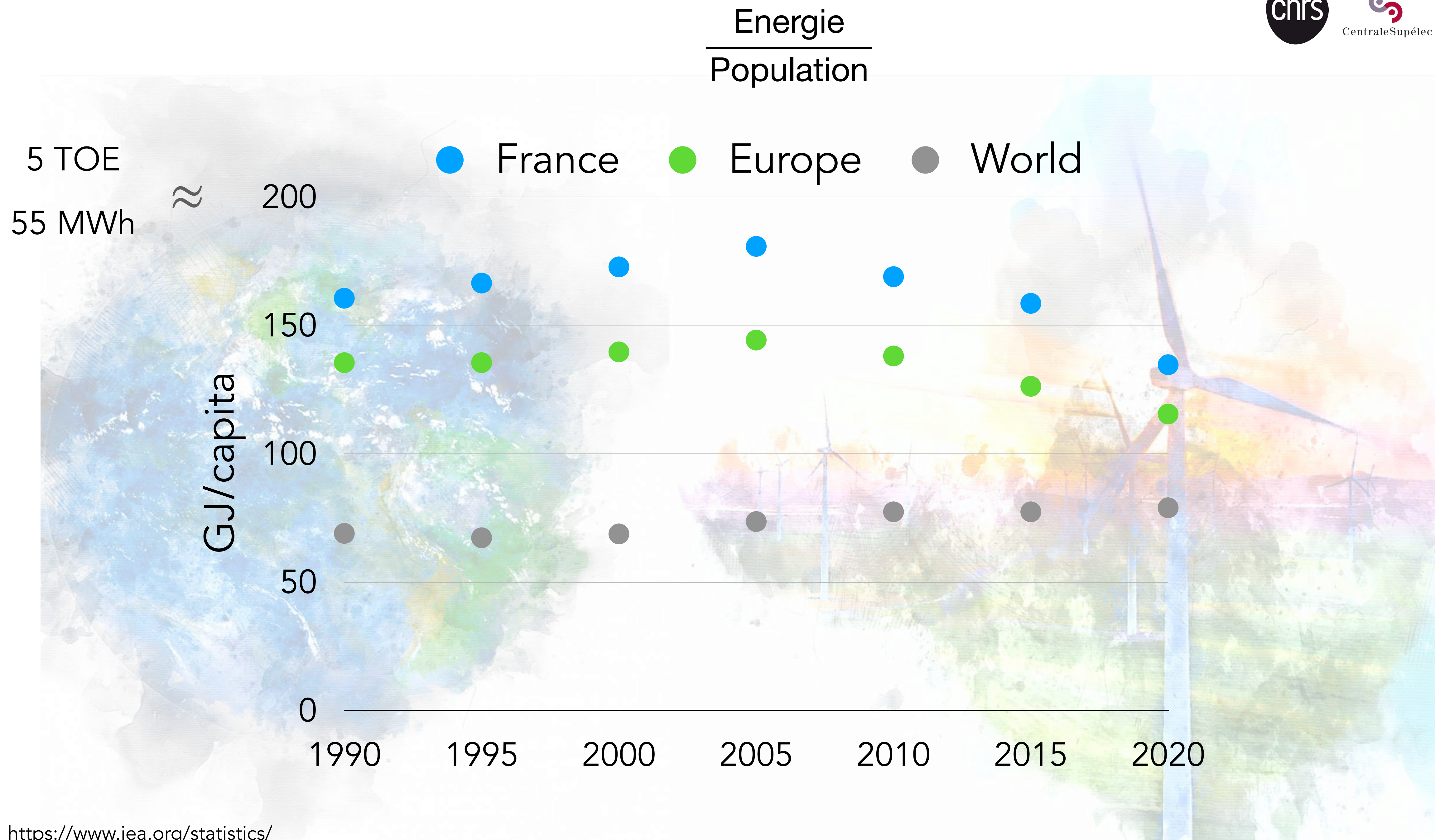
$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Population}}$$



Seconde analyse

Energie = Energie

$$\text{Energie} = \text{Population} \times \frac{\text{Energie}}{\text{Population}}$$



Troisième analyse

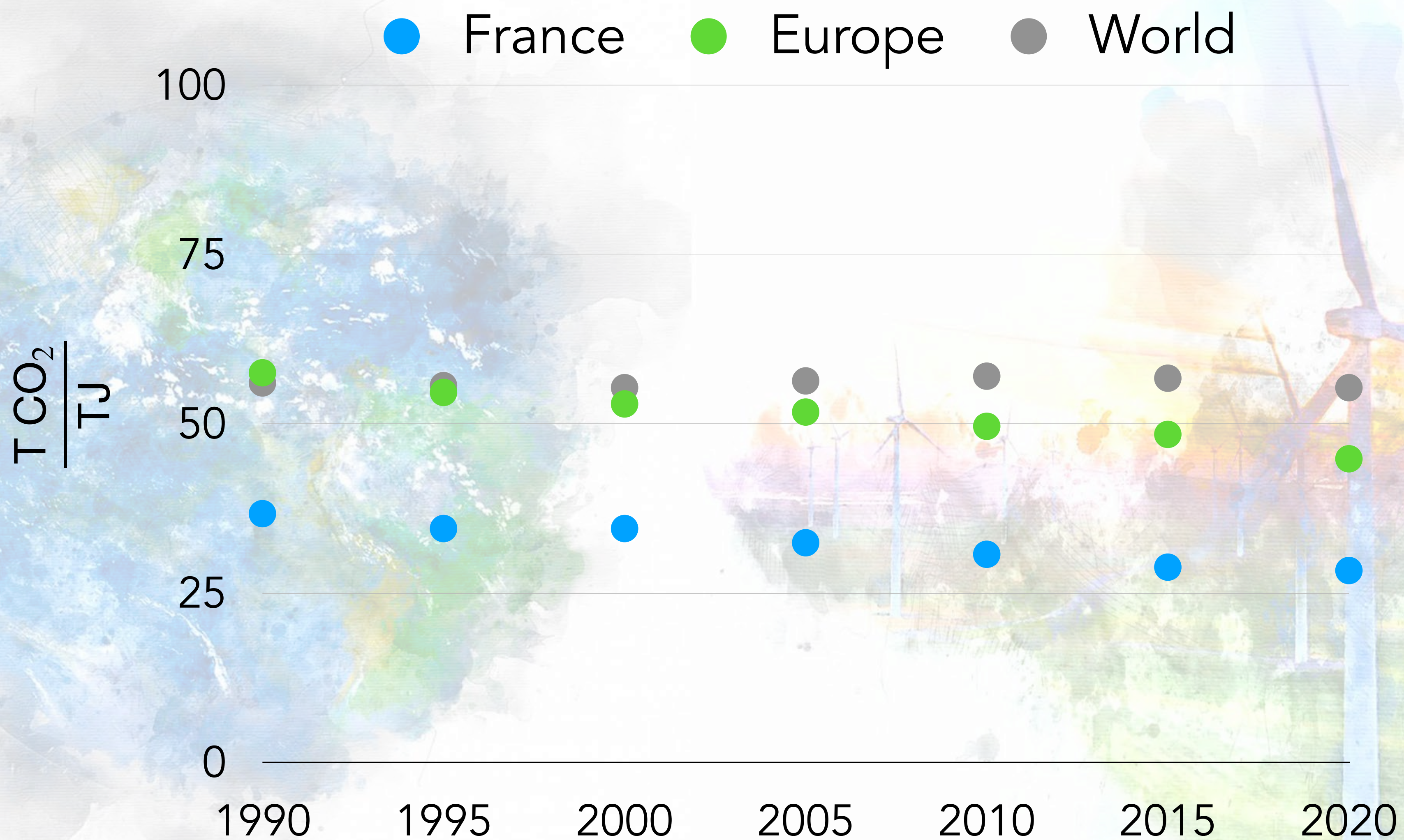
$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2$$

$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Population}}$$

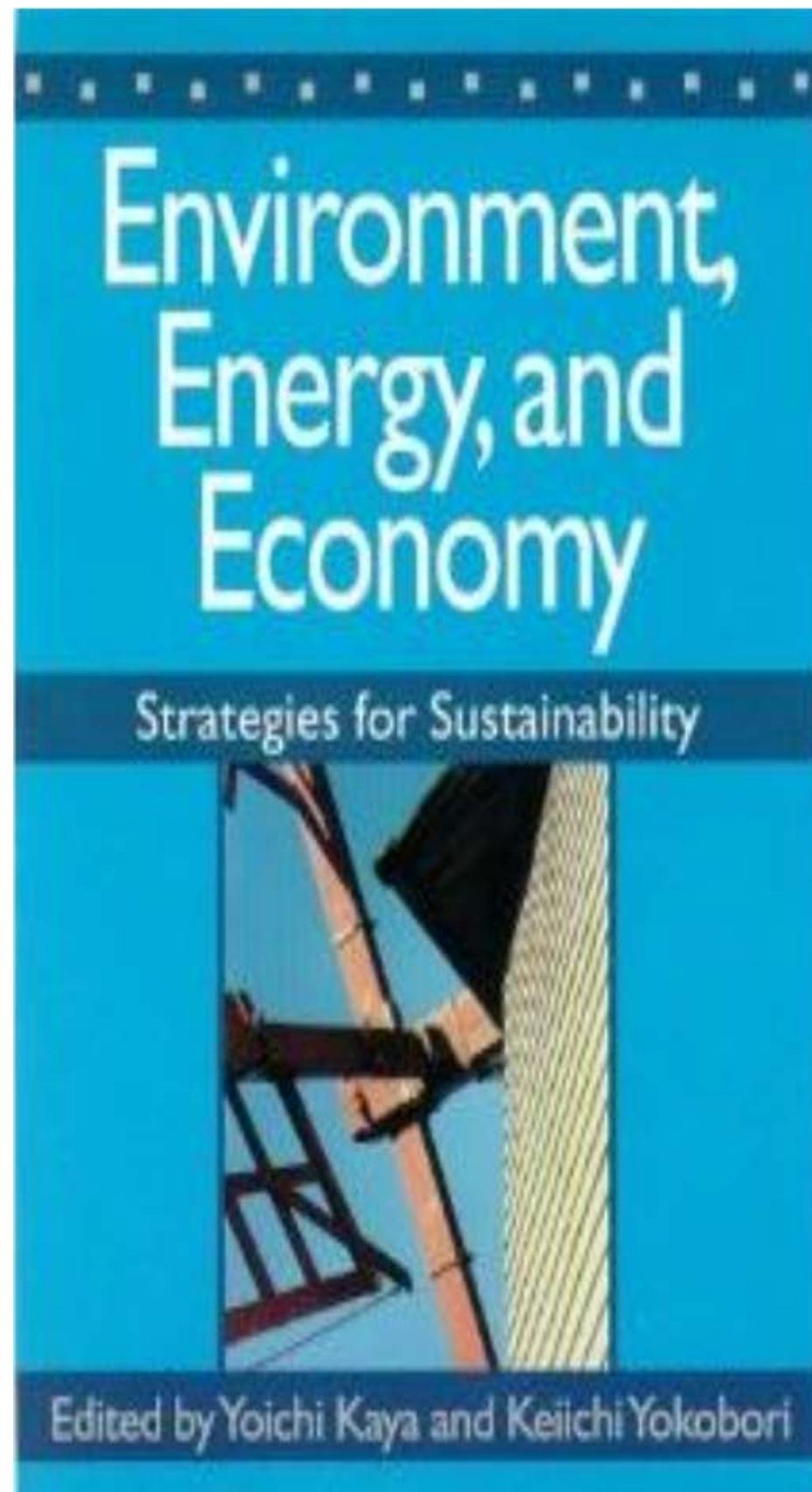
$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{Energie}}{\text{Population}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Energie}}$$

Ce rapport dépend uniquement d'aspect énergétique

$$\frac{T \text{ CO}_2}{\text{Energie}}$$



Equation de Kaya



$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2$$

$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Population}}$$

$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{Energie}}{\text{Population}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Energie}}$$

Ce rapport dépend uniquement d'aspect énergétique

$$\text{CO}_2 = \text{Population} \times \frac{\text{PIB}}{\text{Population}} \times \frac{\text{Energie}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Energie}}$$

Equation de Kaya

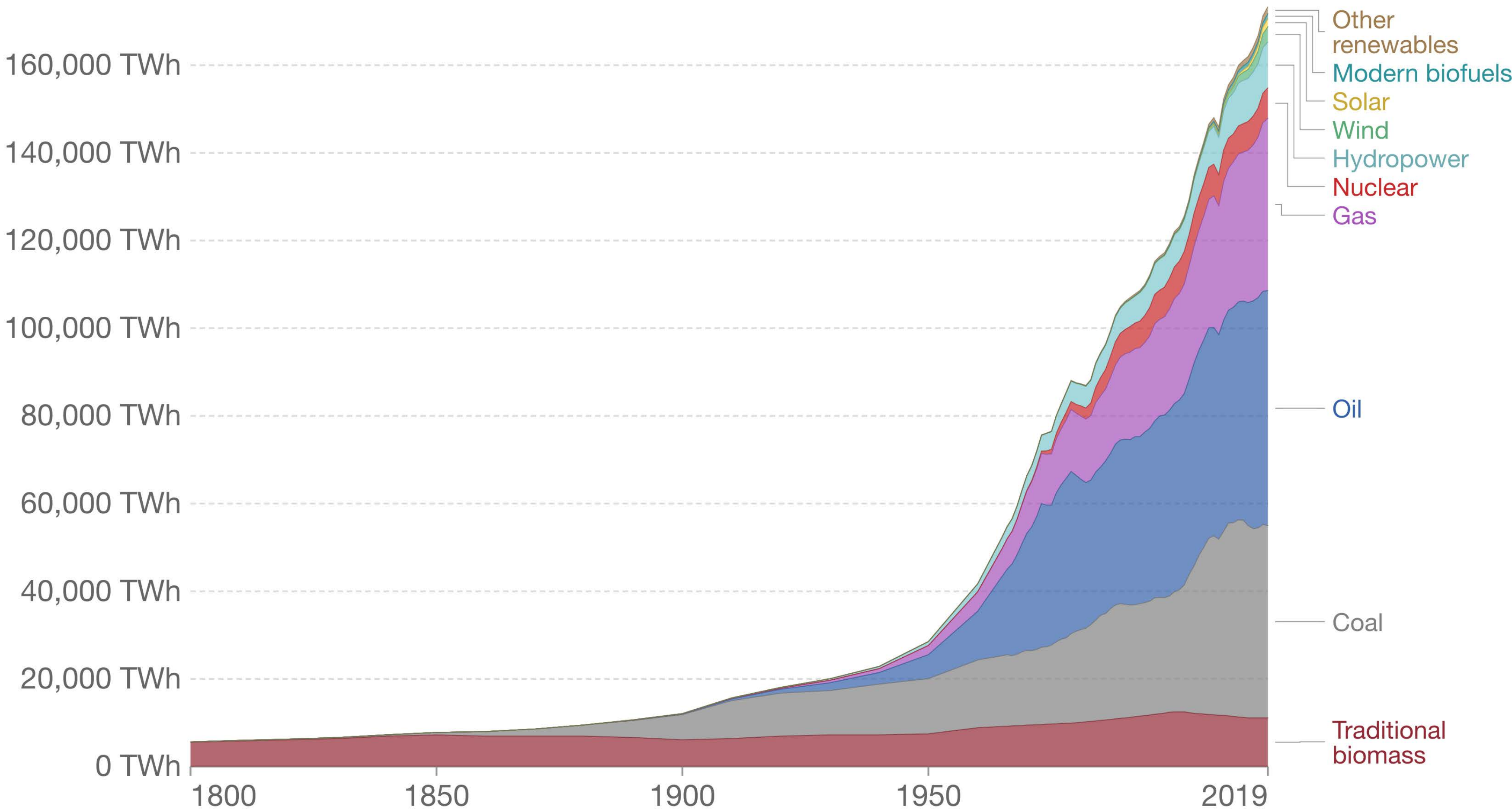
Yamaji, K., Matsushashi, R, Nagata, Y. Kaya. Y. (1991) "An integrated system for CO₂/energy/GNP analysis: Case studies on economic measures for CO₂ reduction in Japan." Paper presented at the Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19-21 March, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Sources d'énergie au niveau mondial (1800-2019)

Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

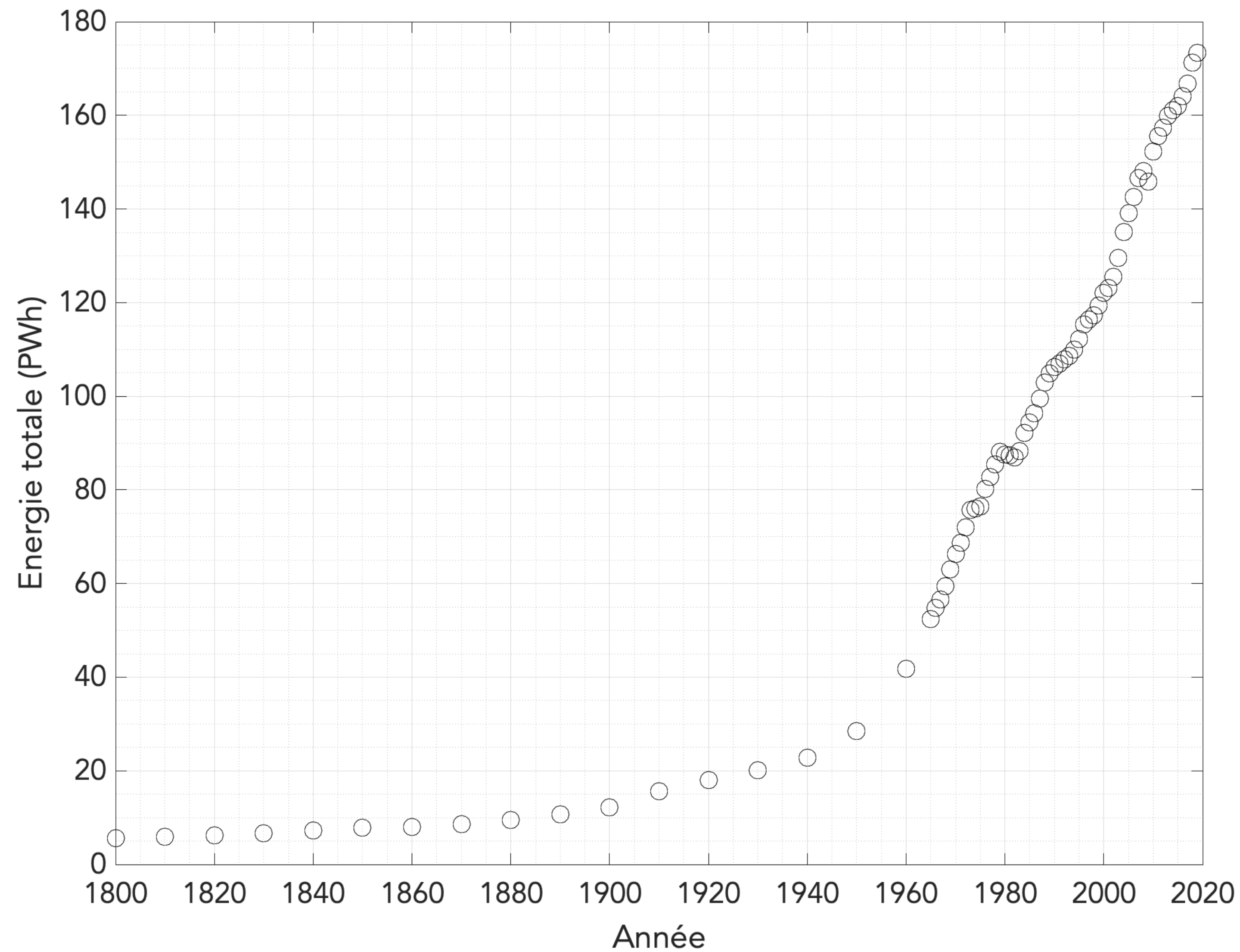
Our World in Data



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Quelques chiffres clés

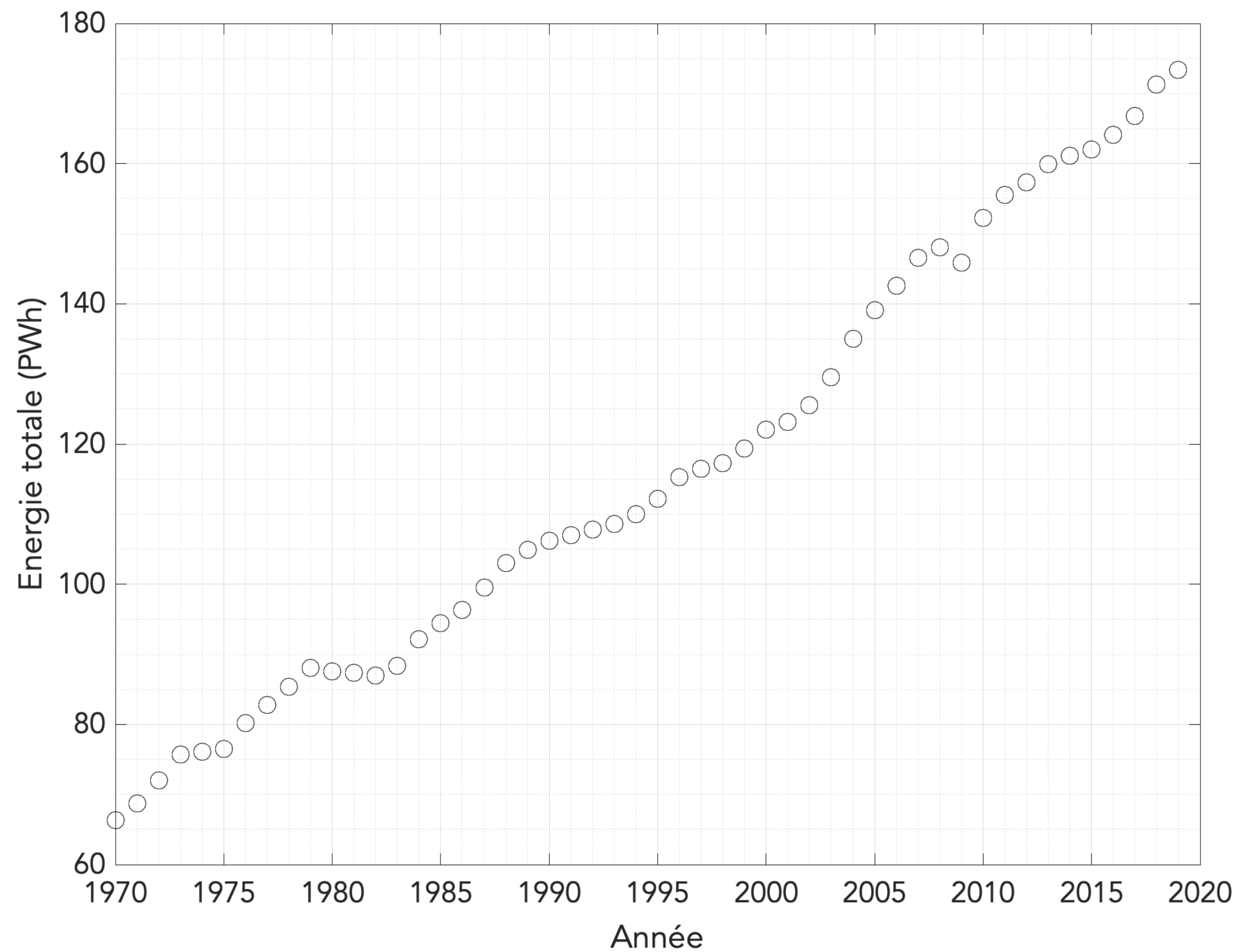


Quadruplement depuis 1960

Triplement depuis 1967

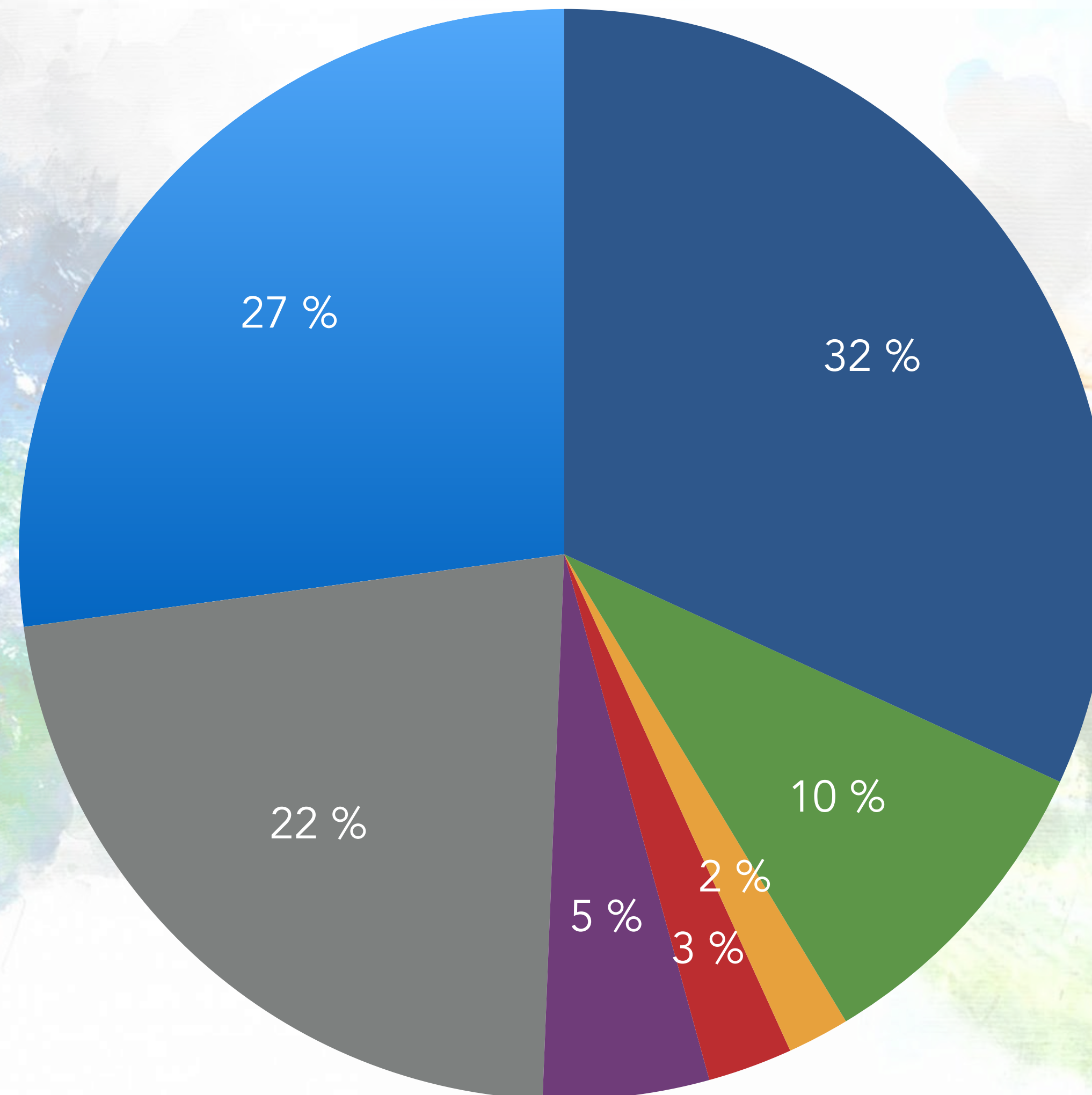
Doublement depuis 1979

Quelques chiffres clés

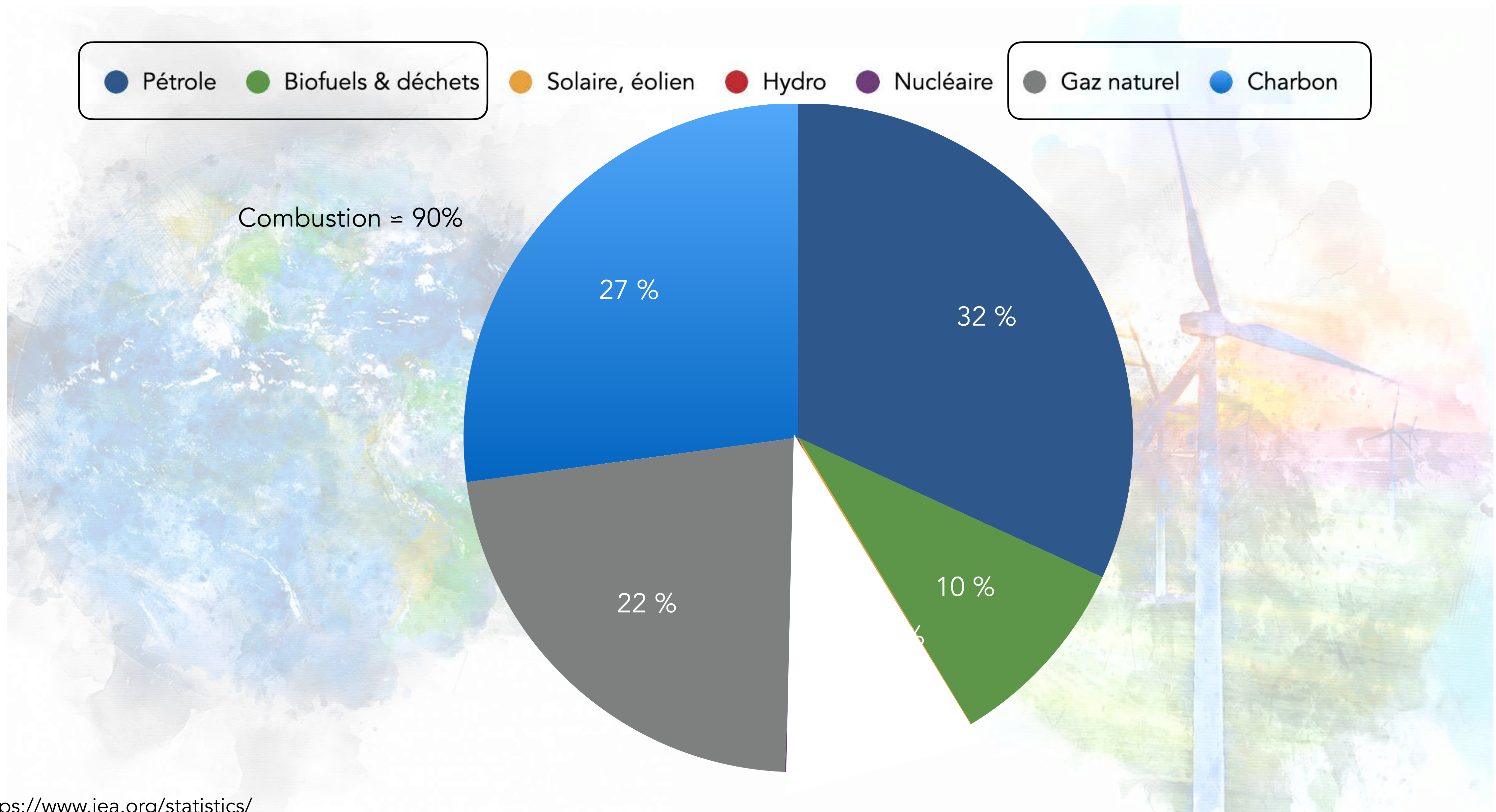


Sources d'énergie au niveau mondial (2017)

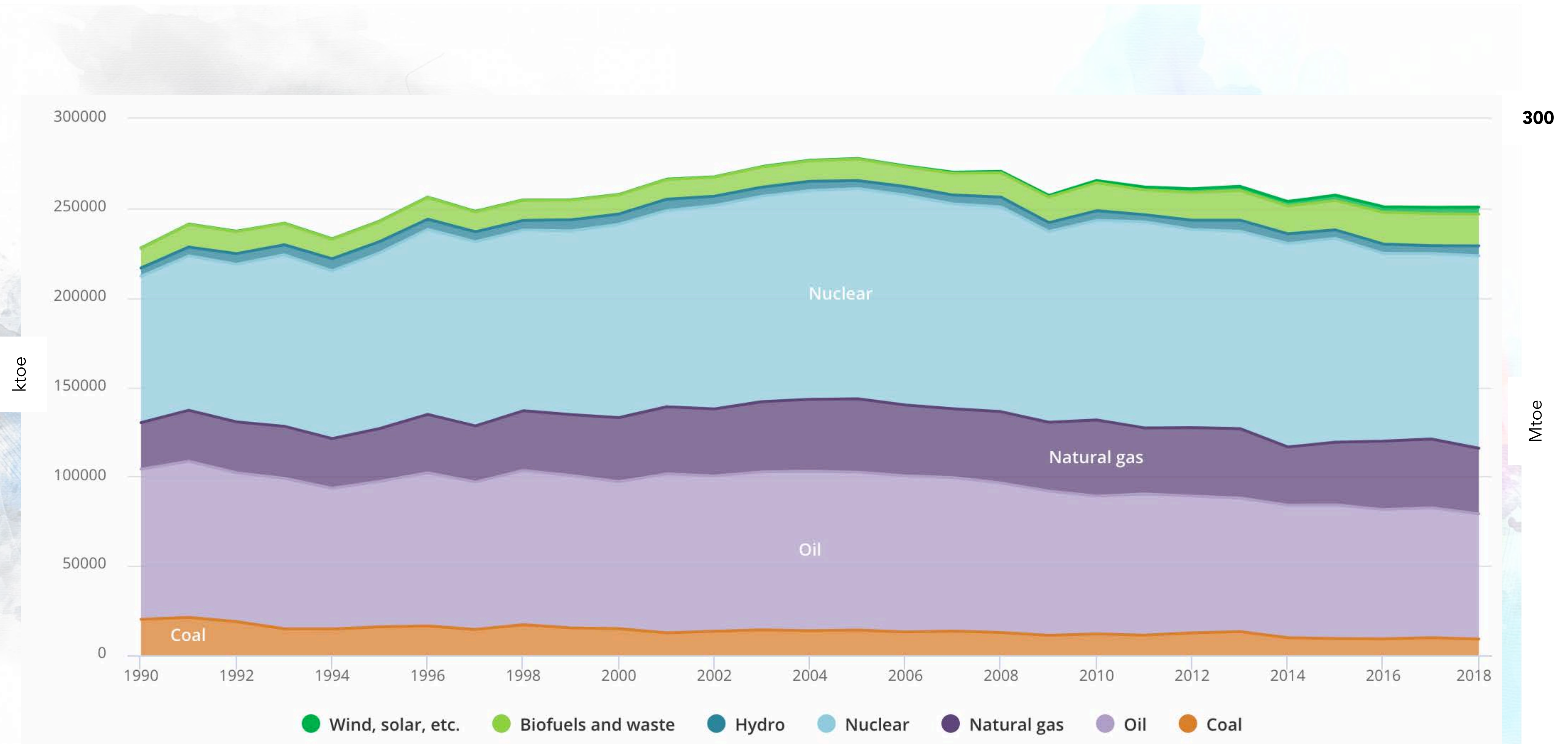
● Pétrole ● Biofuels & déchets ● Solaire, éolien ● Hydro ● Nucléaire ● Gaz naturel ● Charbon



Sources d'énergie au niveau mondial (2017)



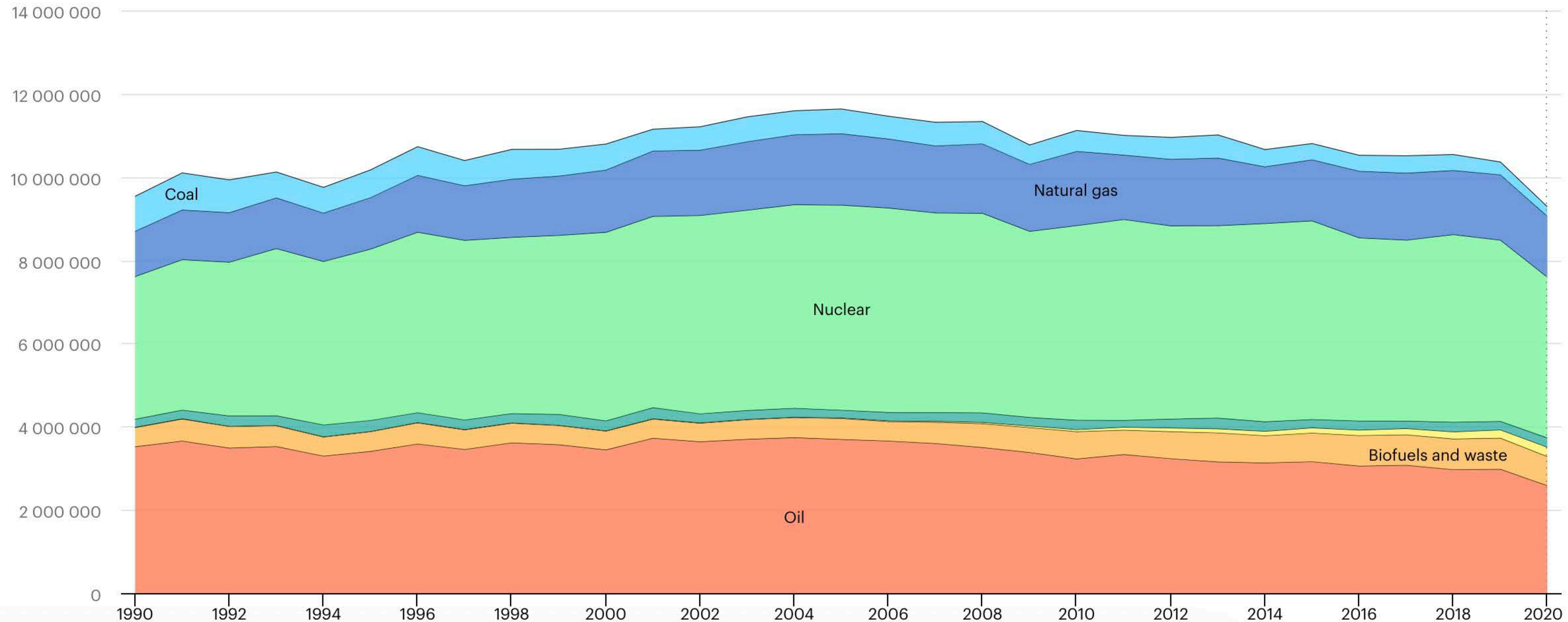
Sources d'énergie au niveau français (2018)



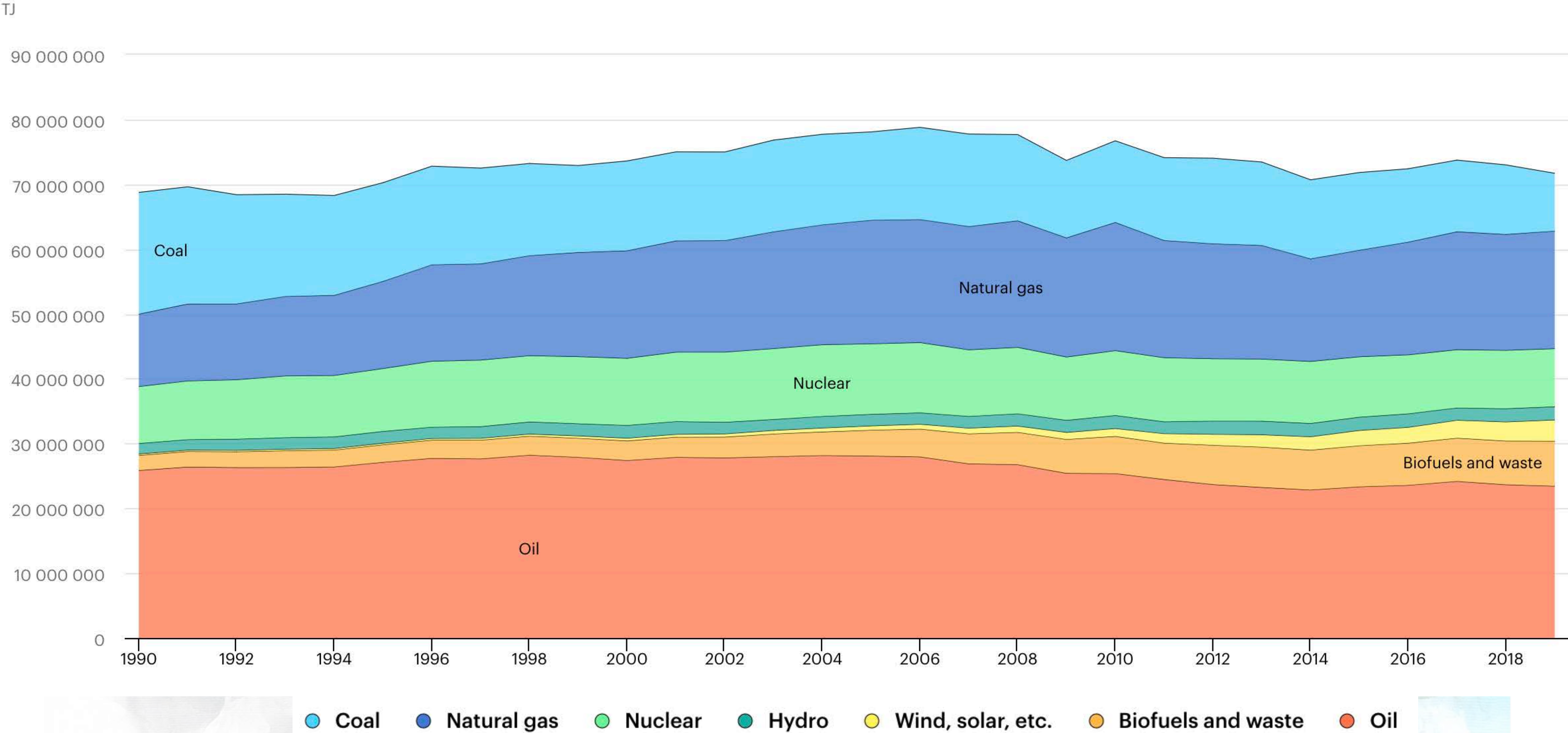
Sources d'énergie au niveau français (2020)

Il est très intéressant de noter le changement de l'unité d'énergie

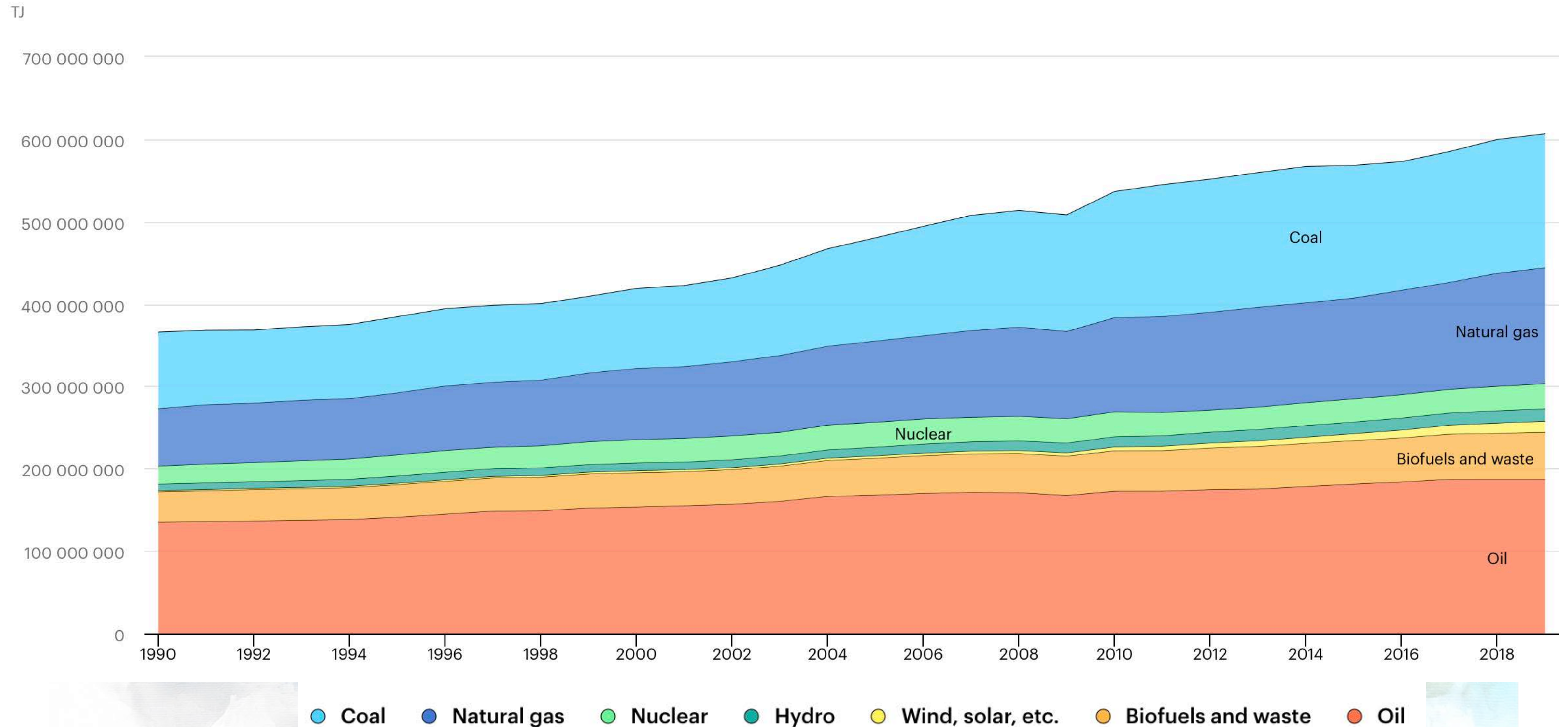
TJ



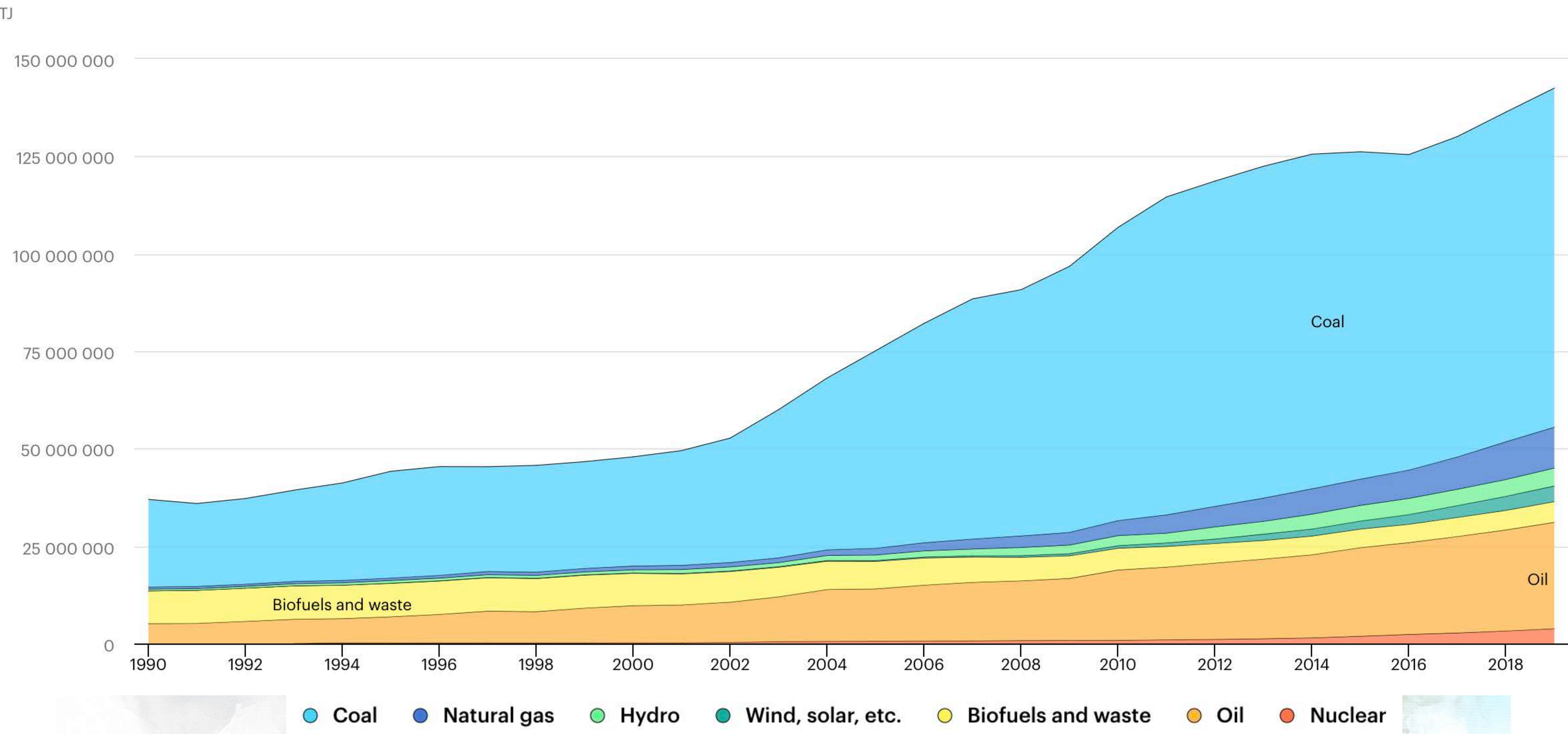
Sources d'énergie au niveau européen



Sources d'énergie au niveau mondial

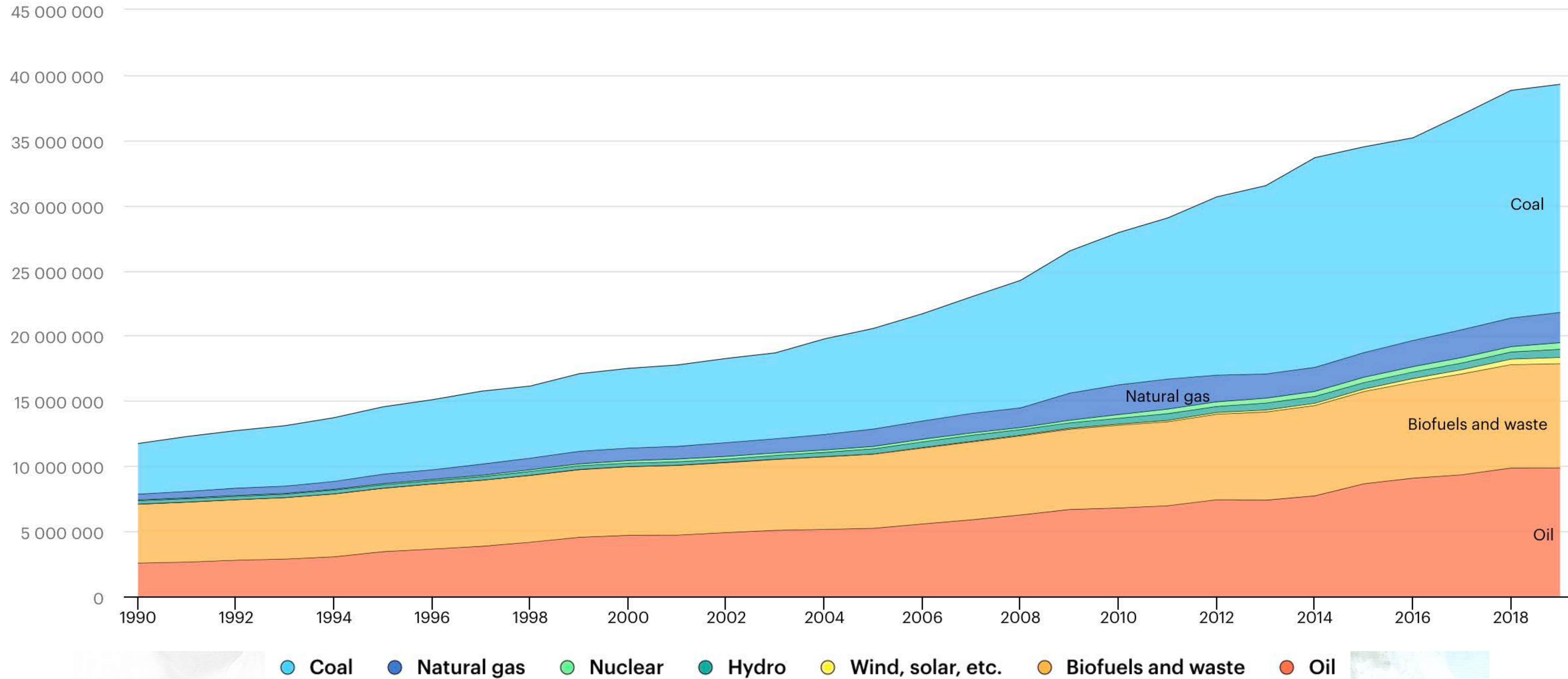


Sources d'énergie au niveau de la Chine

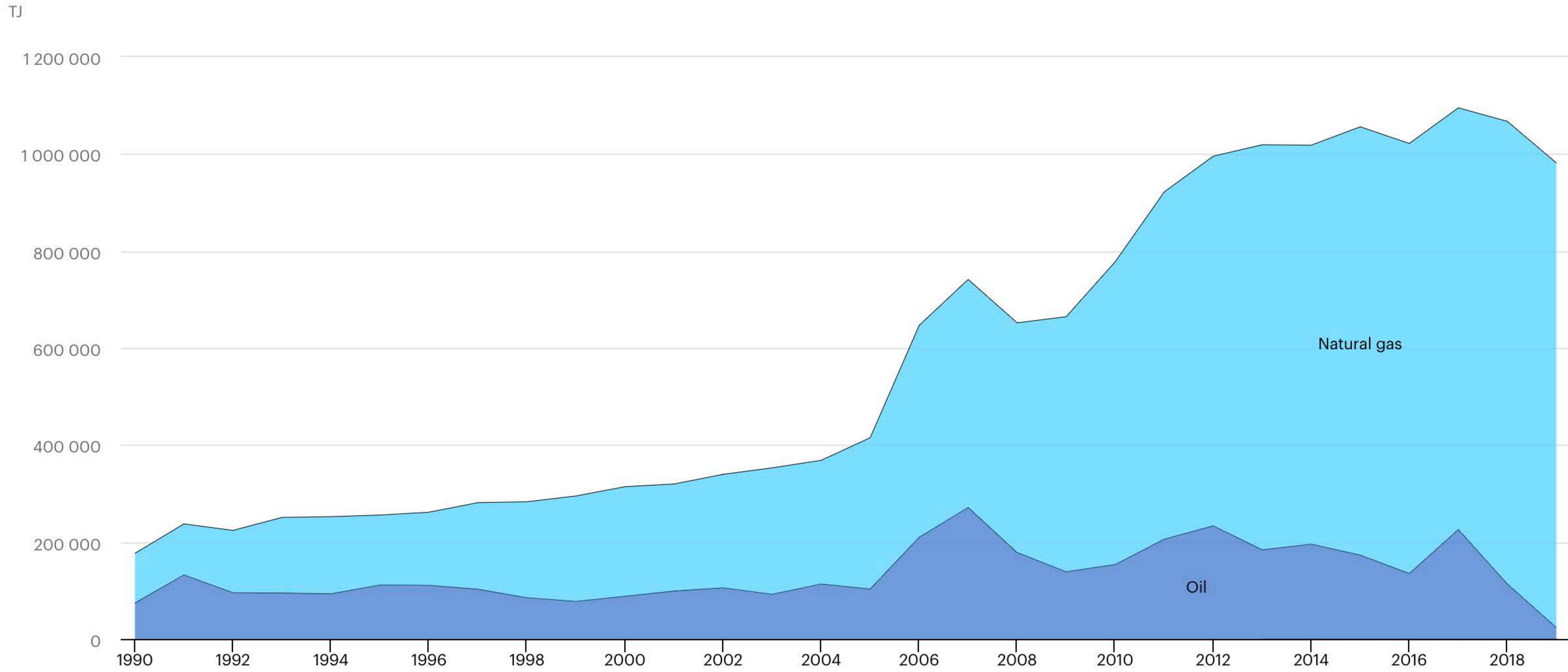


Sources d'énergie au niveau de l'Inde

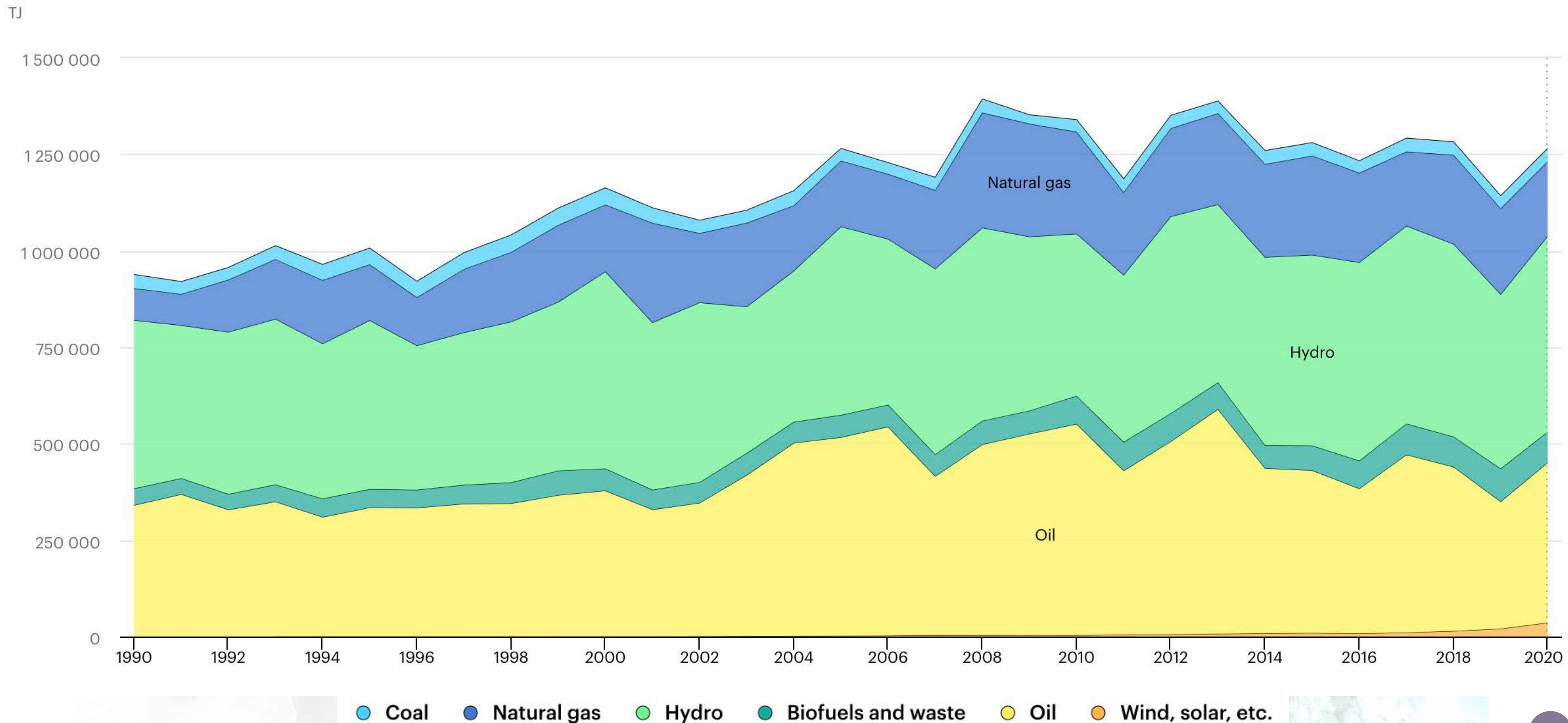
TJ



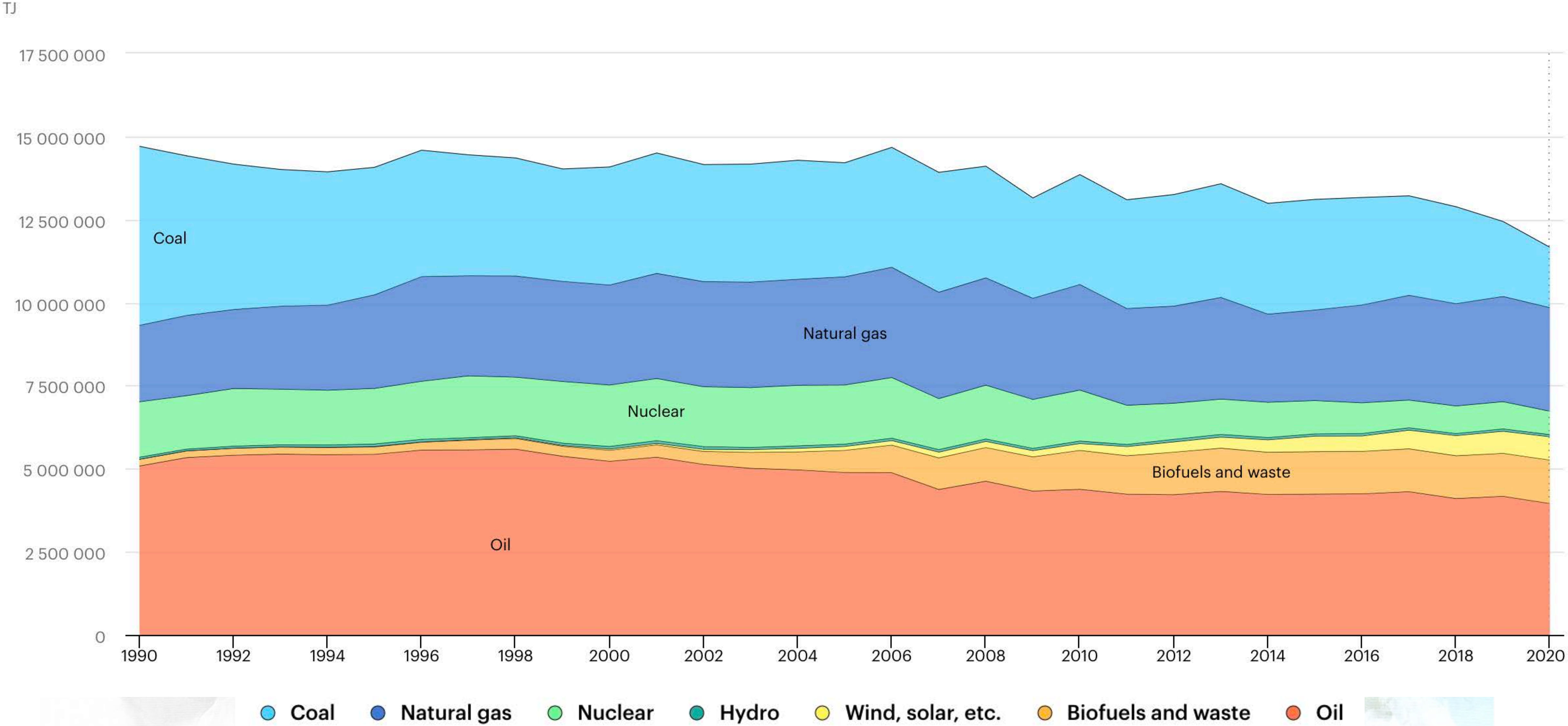
Sources d'énergie au niveau d'Oman



Sources d'énergie au niveau de la Norvège



Sources d'énergie au niveau de l'Allemagne



Pour ceux qui suivront ce cours

Pour la première séance (lundi 24 octobre)

1. Préparer l'évolution énergétique du pays de votre choix
2. Lors du début de la première séance, vous me l'envoyer et j'essaye de trouver le pays en question

<https://www.iea.org/statistics/>

FRANCE

Pour ceux qui suivront ce cours

Data browsers

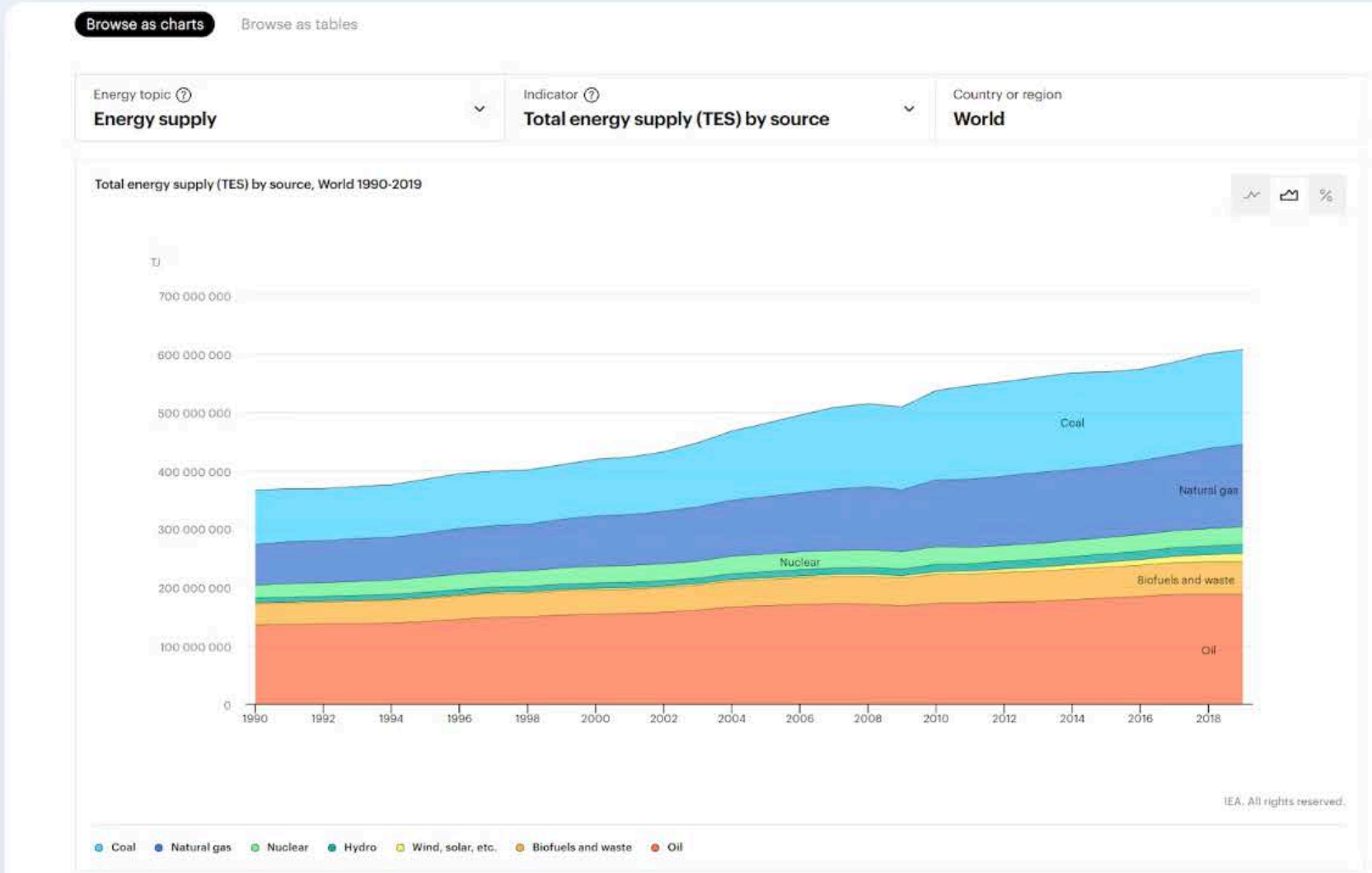
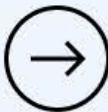
Data sets

Chart library

About

Energy Statistics Data Browser

The most extensive selection of IEA statistics with charts and tables on 16 energy topics for over 170 countries and regions



Source
World Energy Balances | Documentation

Notes
TES here excludes electricity and heat trade. Coal also includes peat and oil shale where relevant.

* By downloading you agree to the terms & conditions for using downloaded IEA data. Note that free data is only available for download in 5-year intervals.

Download chart data*

Get the full dataset

Pour ceux qui suivront ce cours

Energy topic (?)

Energy supply



Indicator (?)

Total energy supply (TES) by source

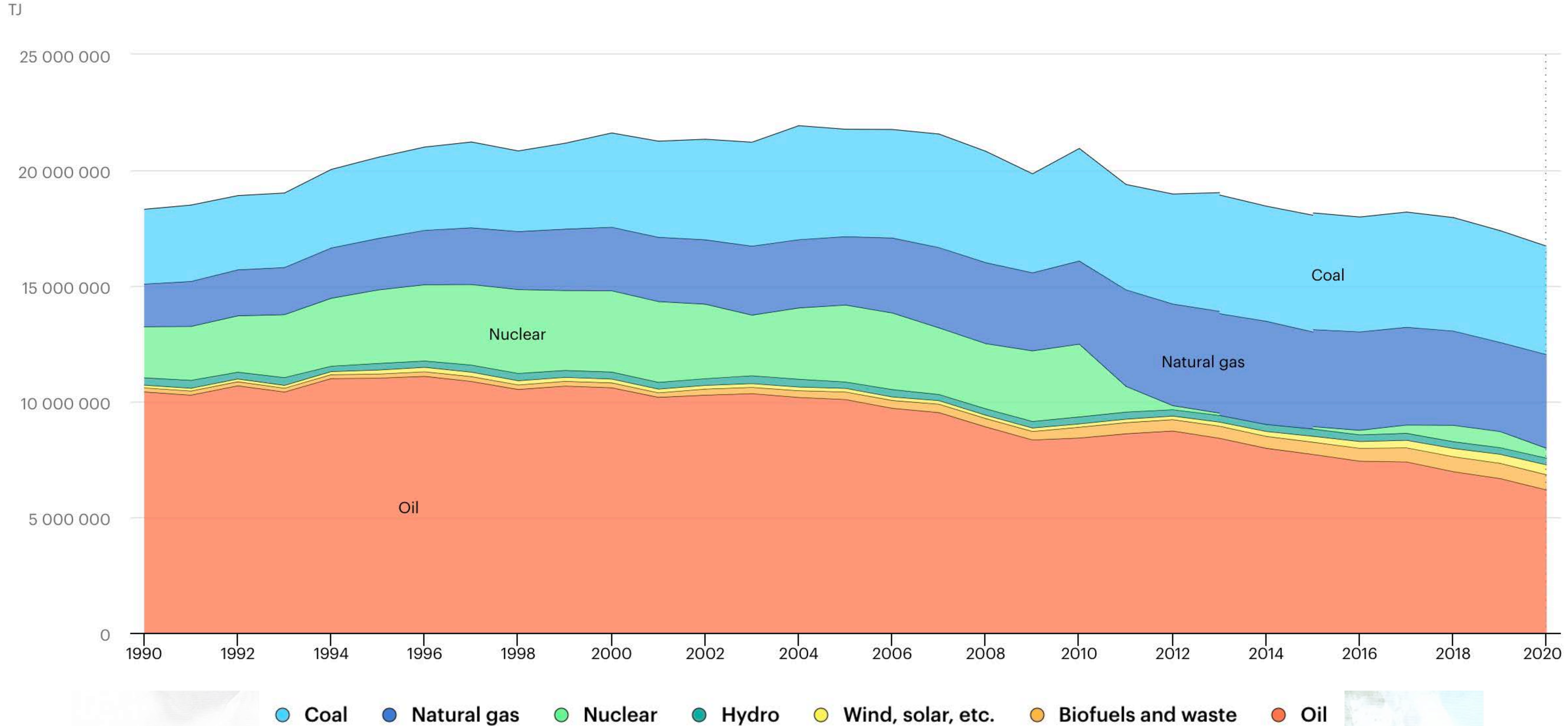


Country or region

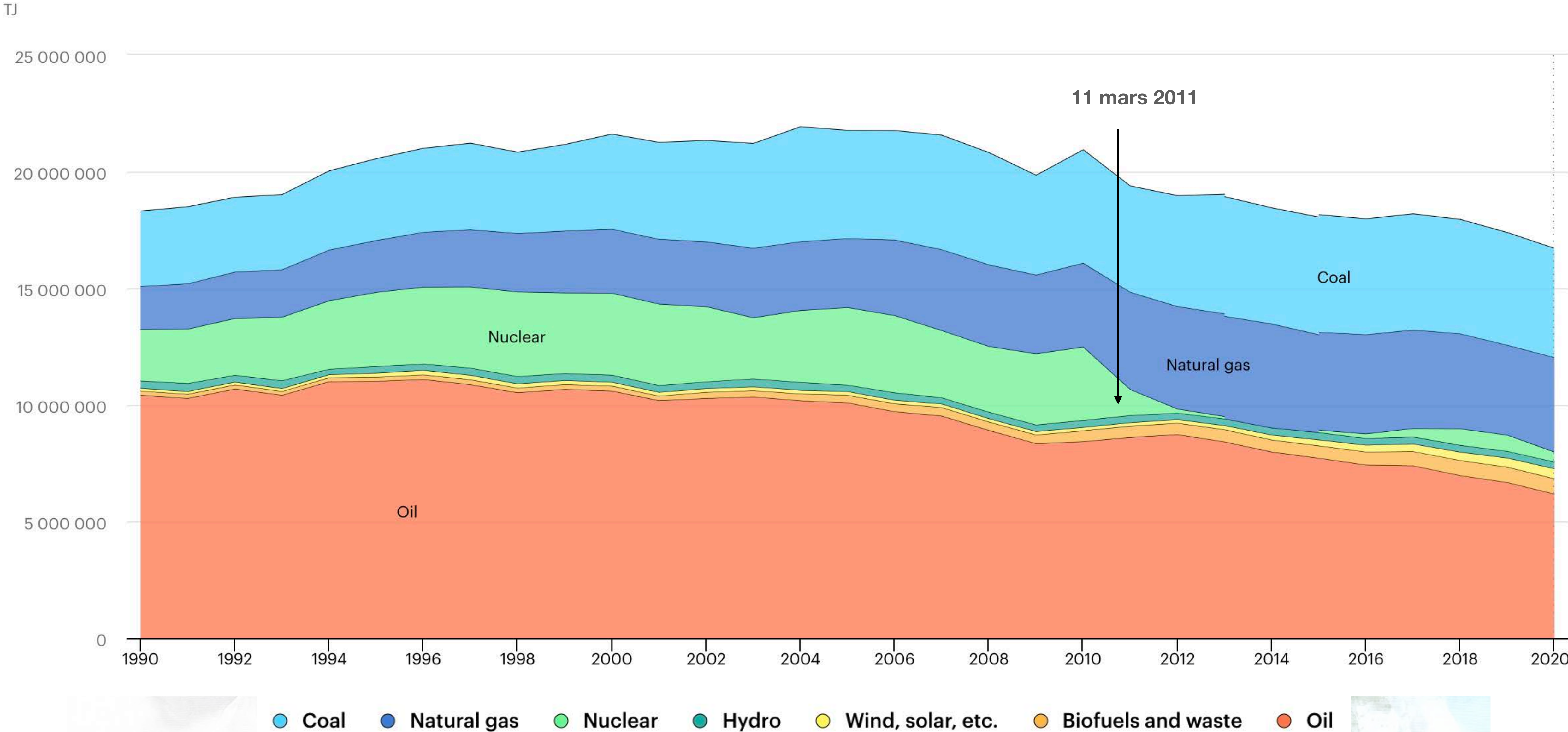
World



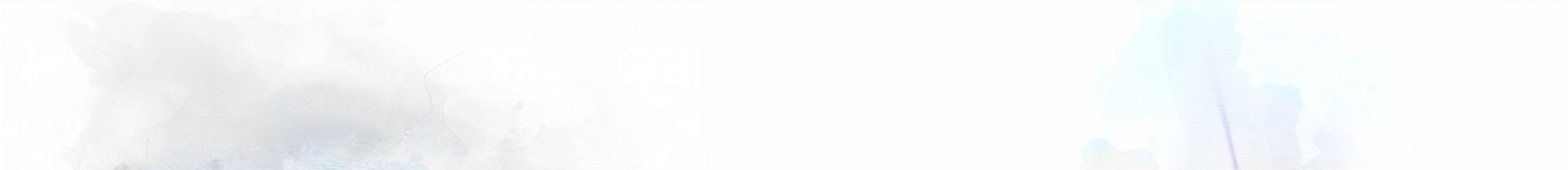
Sources d'énergie au niveau de ???



Sources d'énergie au niveau du Japon

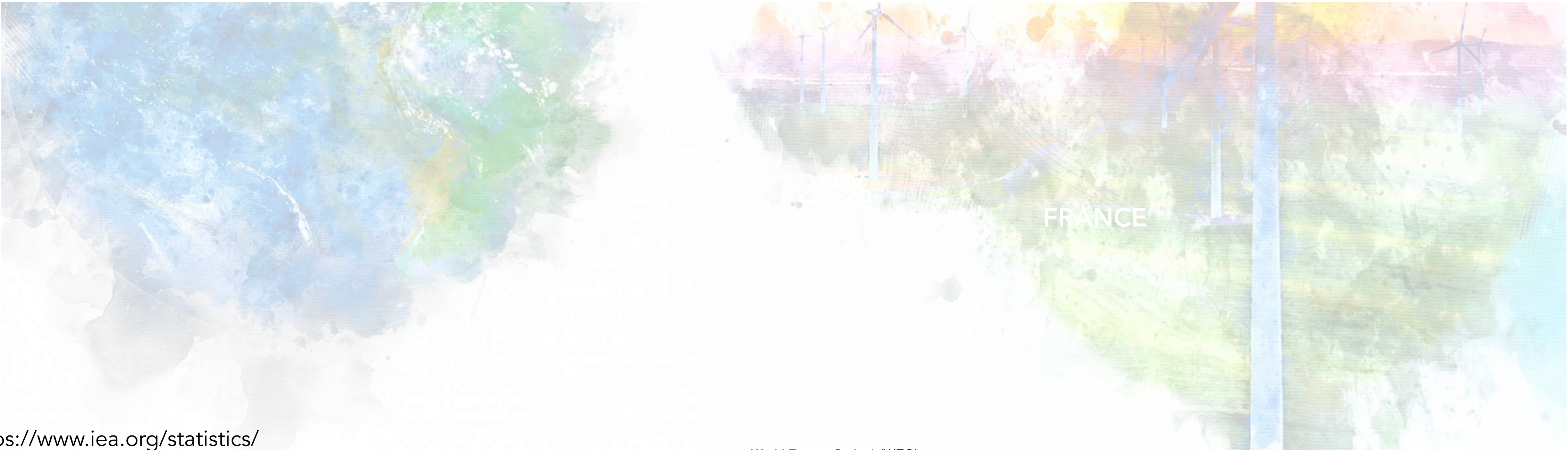


Pour ceux qui suivront ce cours



Energy topic (?) Energy supply	Indicator (?) Total energy supply (TES) by source	Country or region World
--	---	-----------------------------------

Energy topic (?) CO2 emissions	Indicator (?) CO2 emissions per capita	Country or region France
--	--	------------------------------------



SOMMAIRE

Introduction

Quelques unités à comprendre

Quelques chiffres clés

Production d'énergie

Stockage d'énergie

Utilisation de l'énergie

Conclusions

Notion de système

Il existe 3 type de système

Système isolé

Un système isolé ne permet aucun échange avec l'extérieur, tant d'un point de vue thermique que massique. Ce type de système ne subit aucune influence de la part du milieu externe. Ce genre de système n'est pas intéressant d'un point de vue énergétique car aucun échange n'est possible.



Il existe 3 type de système

Système isolé

Un système isolé ne permet aucun échange avec l'extérieur, tant d'un point de vue thermique que massique. Ce type de système ne subit aucune influence de la part du milieu externe. Ce genre de système n'est pas intéressant d'un point de vue énergétique car aucun échange n'est possible.

Système fermé

Un système thermodynamique est dit fermé si aucune masse (ou aucun écoulement ne traverse ses frontières). Il n'échange donc pas de matière avec l'extérieur. La masse contenue dans ce système est donc constante. Cependant, ce système est susceptible d'échanger de l'énergie avec l'extérieur. Les parois du système fermé pouvant être déformables, l'énergie échangée peut être sous forme de travail ou de chaleur.

Systeme fermé

Flux thermique [W]

Travail [W]



Il existe 3 type de système

Système isolé

Un système isolé ne permet aucun échange avec l'extérieur, tant d'un point de vue thermique que massique. Ce type de système ne subit aucune influence de la part du milieu externe. Ce genre de système n'est pas intéressant d'un point de vue énergétique car aucun échange n'est possible.

Système fermé

Un système thermodynamique est dit fermé si aucune masse (ou aucun écoulement ne traverse ses frontières). Il n'échange donc pas de matière avec l'extérieur. La masse contenue dans ce système est donc constante. Cependant, ce système est susceptible d'échanger de l'énergie avec l'extérieur. Les parois du système fermé pouvant être déformables, l'énergie échangée peut être sous forme de travail ou de chaleur.

Système ouvert

Il arrive souvent que le système d'intérêt porte sur un appareil dans lequel il y a un écoulement entrant ou sortant. Il peut s'agir de compresseur, de turbine, de pompe ou d'une tuyère par exemple. Un tel système est dit ouvert car il peut échanger de l'énergie (chaleur et/ou travail), de la masse et de la quantité de mouvement avec l'extérieur. On définira souvent un volume de contrôle, et la surface de ce volume sera considérée comme la surface de contrôle. Ce volume et cette surface de contrôle peuvent rester fixes ou peuvent aussi changer (comme ce serait le cas d'un piston ouvert). Il convient dans tous les cas de clairement identifier ces éléments de contrôle afin d'en proposer un bilan complet (masse - quantité de mouvement - énergie).

Systeme ouvert

Flux thermique [W]

Travail [W]

Flux massique [kg/s]

Energie hydro-électrique

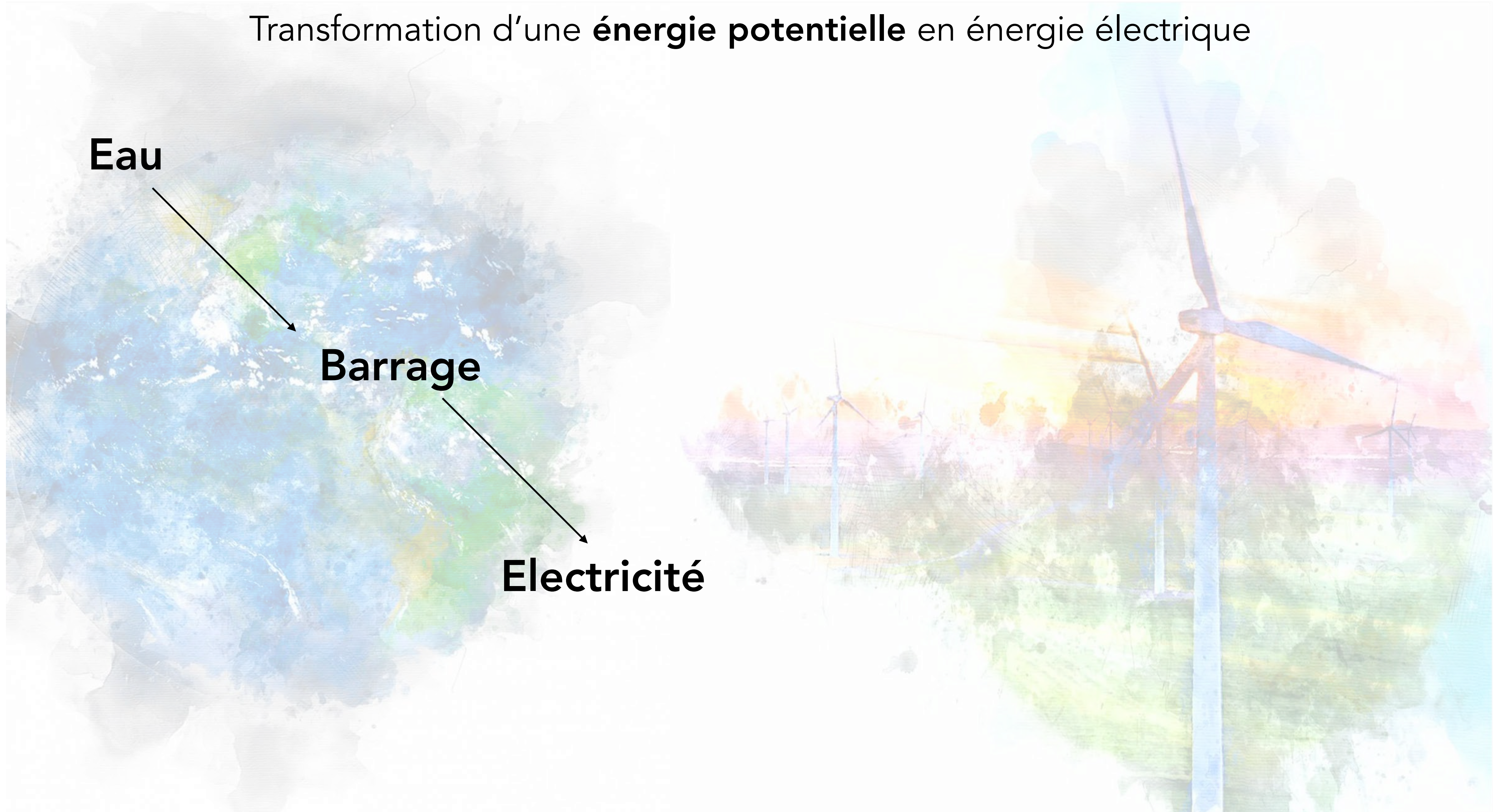
Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

Eau

Barrage

Electricité

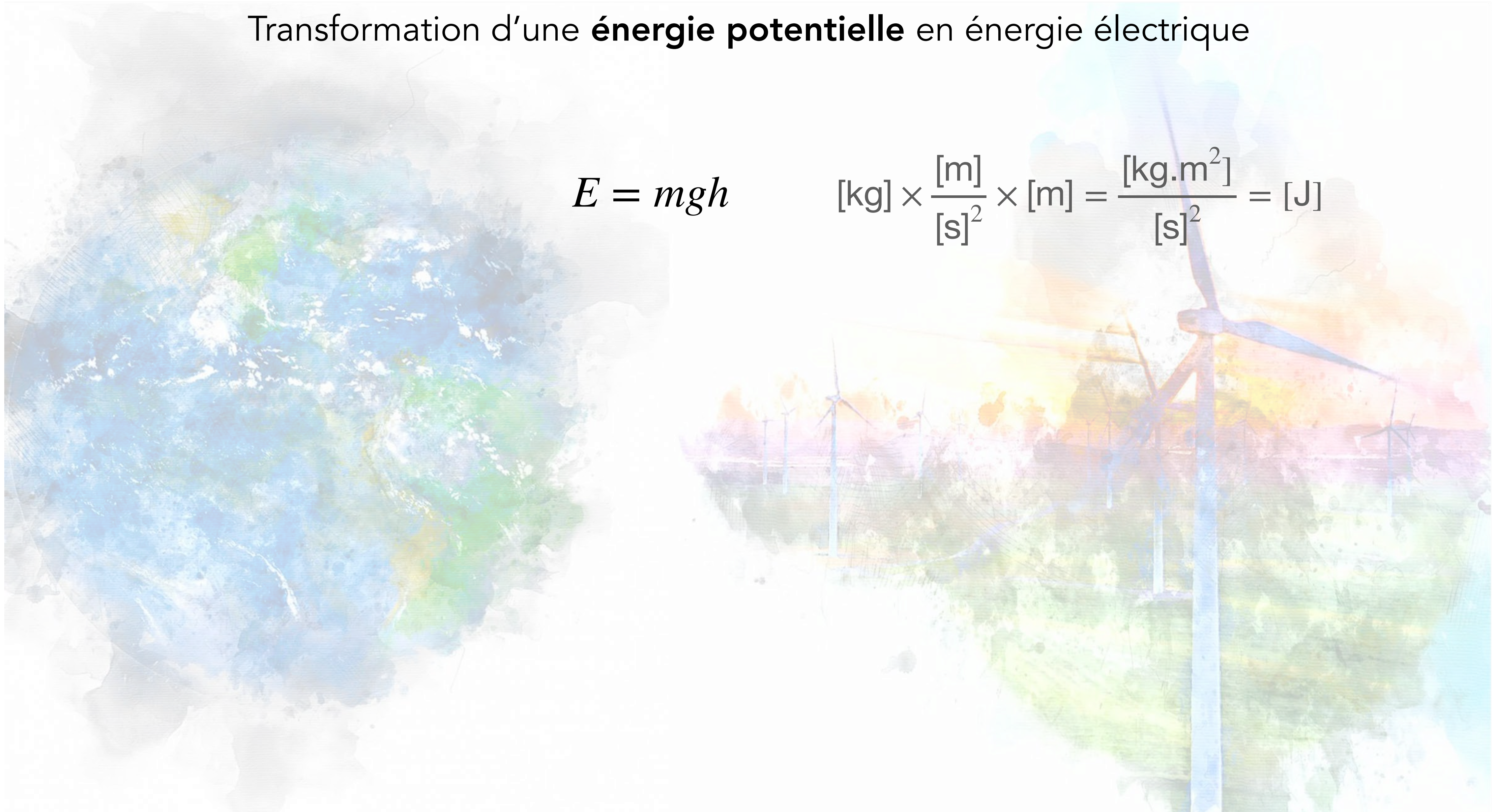


Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

$$E = mgh$$

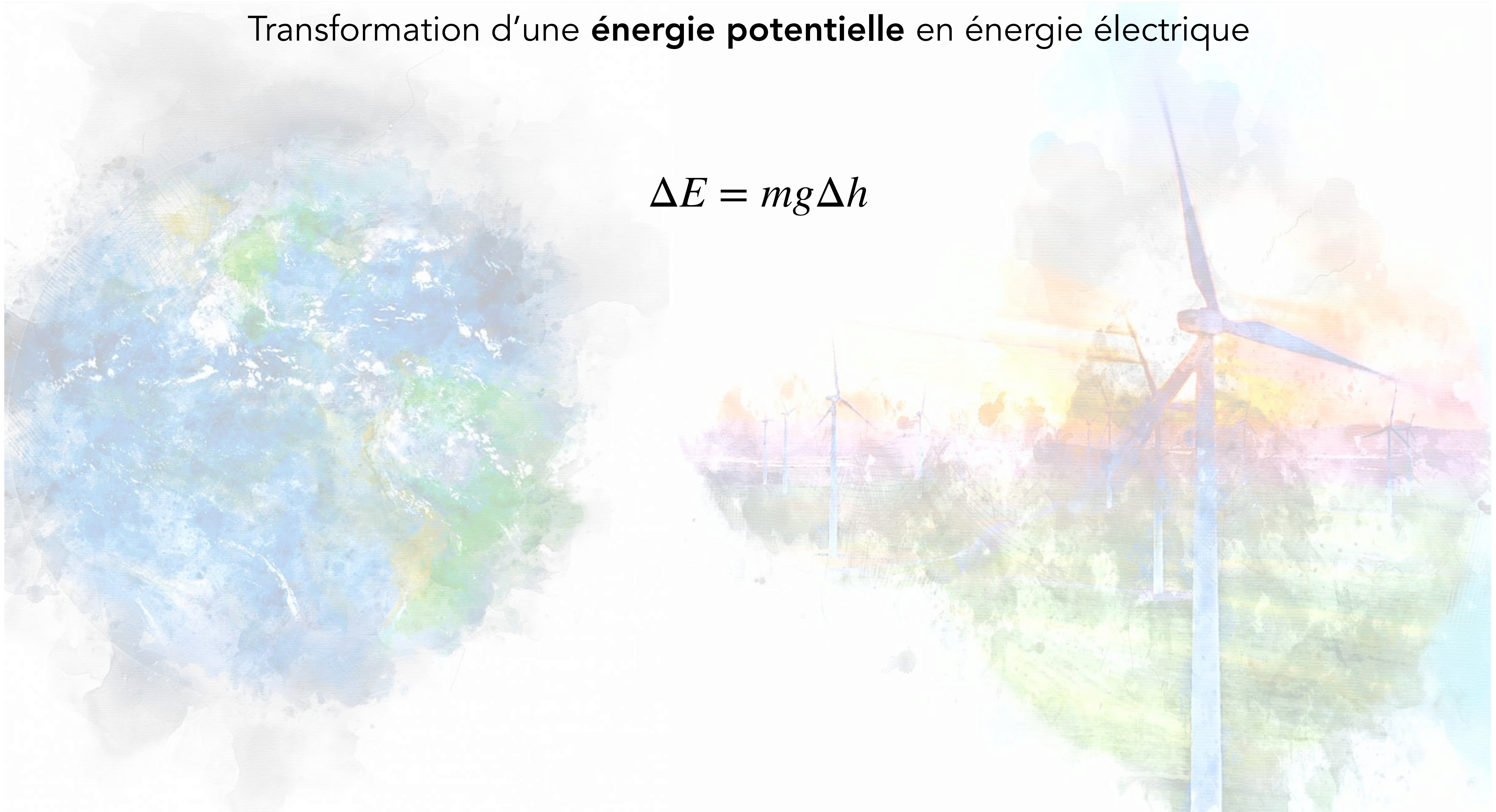
$$[\text{kg}] \times \frac{[\text{m}]}{[\text{s}]^2} \times [\text{m}] = \frac{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]}{[\text{s}]^2} = [\text{J}]$$



Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

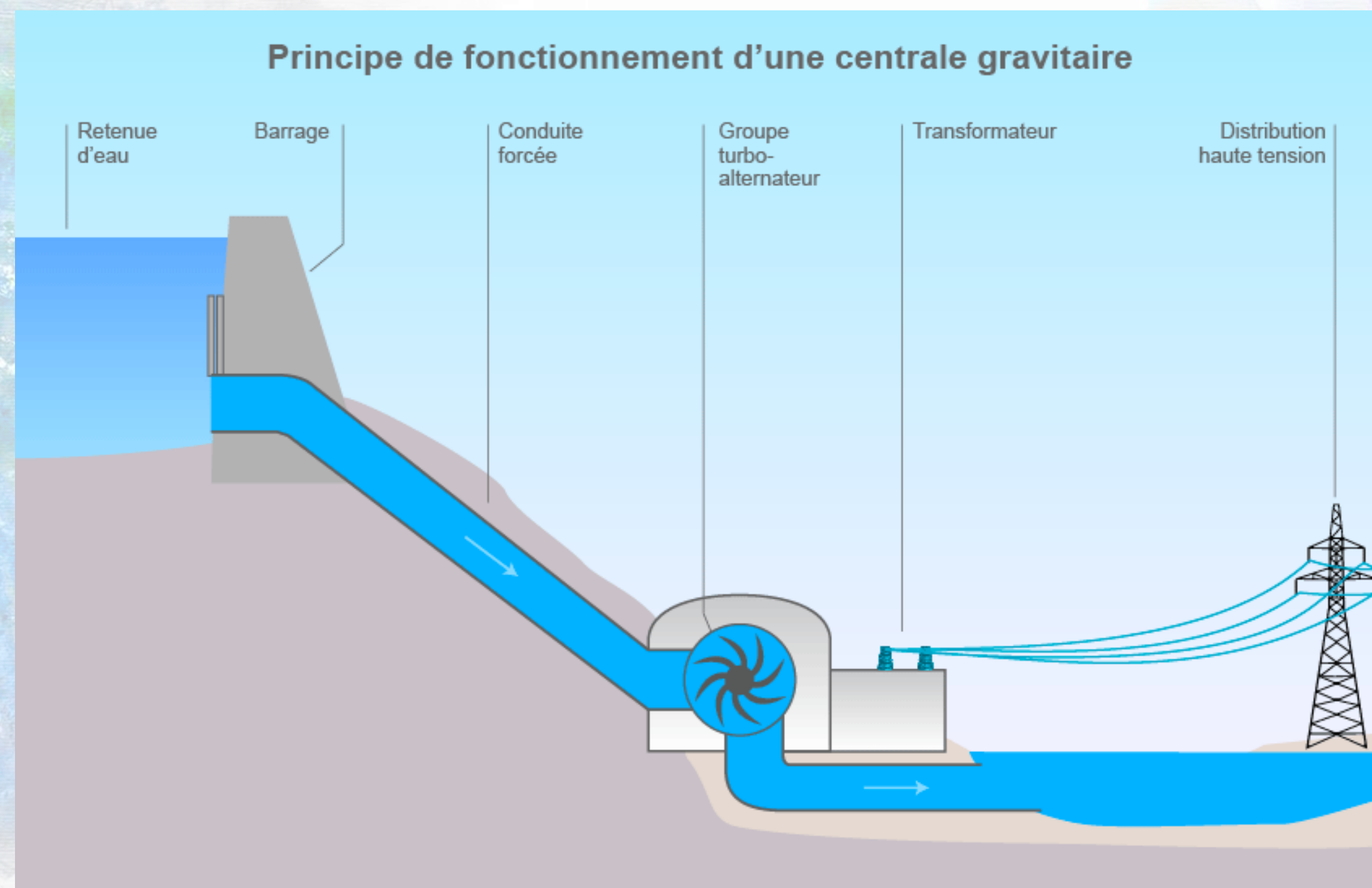
$$\Delta E = mg\Delta h$$



Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

$$\Delta E = mg\Delta h$$

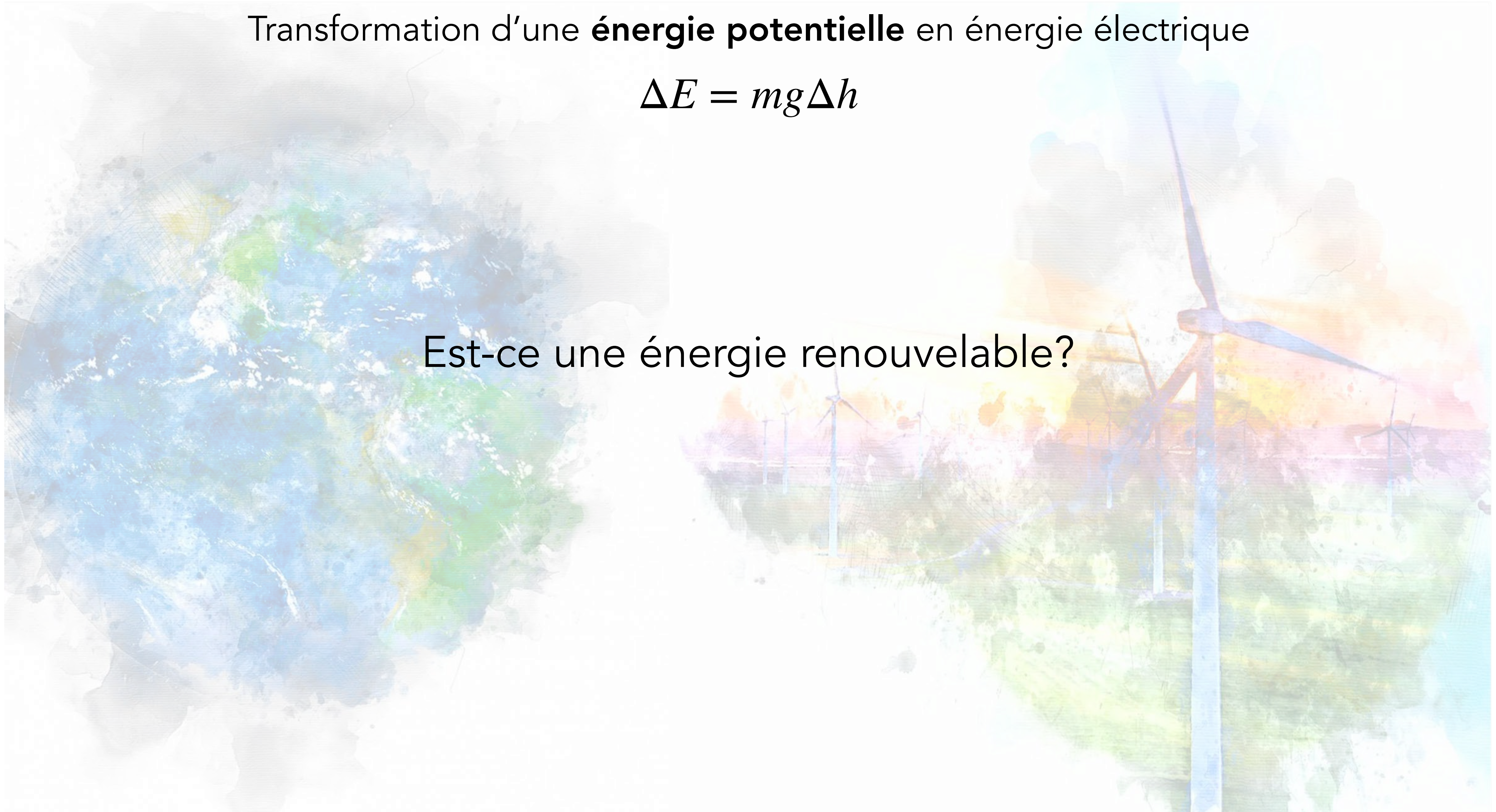


Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

$$\Delta E = mg\Delta h$$

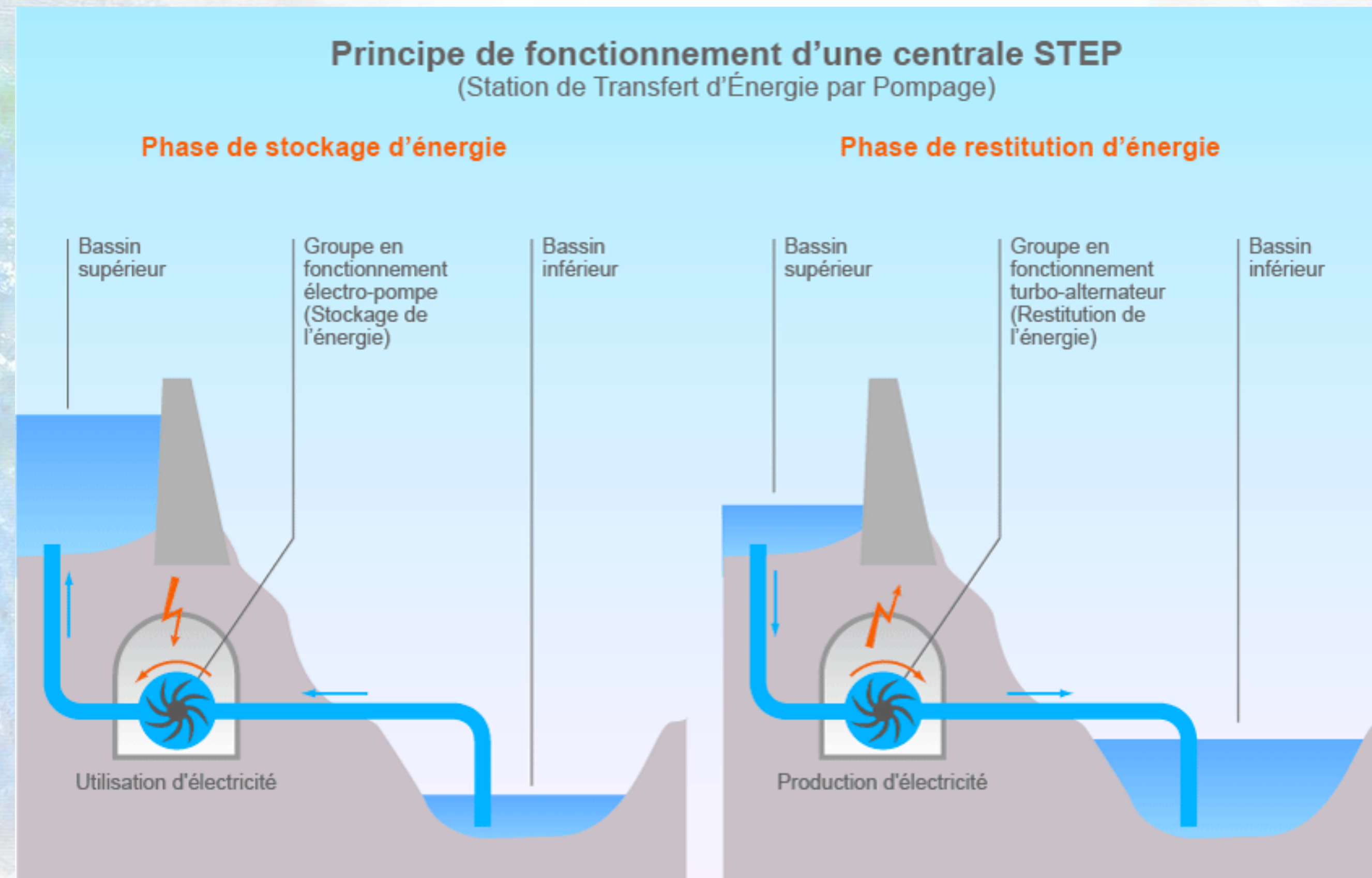
Est-ce une énergie renouvelable?



Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

$$\Delta E = mg\Delta h$$



Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique

$$\Delta E = mg\Delta h$$



$$\Delta h \approx 90 \text{ [m]}$$

$$\dot{m} \approx 100\,000 \text{ [kg/s]}$$

Barrage des Trois Gorges, Chine

Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** en énergie électrique



$\Delta h \approx 14 \text{ [m]}$

$P \approx 160 \text{ [MW]}$

Barrage de Kembs

Energie éolienne

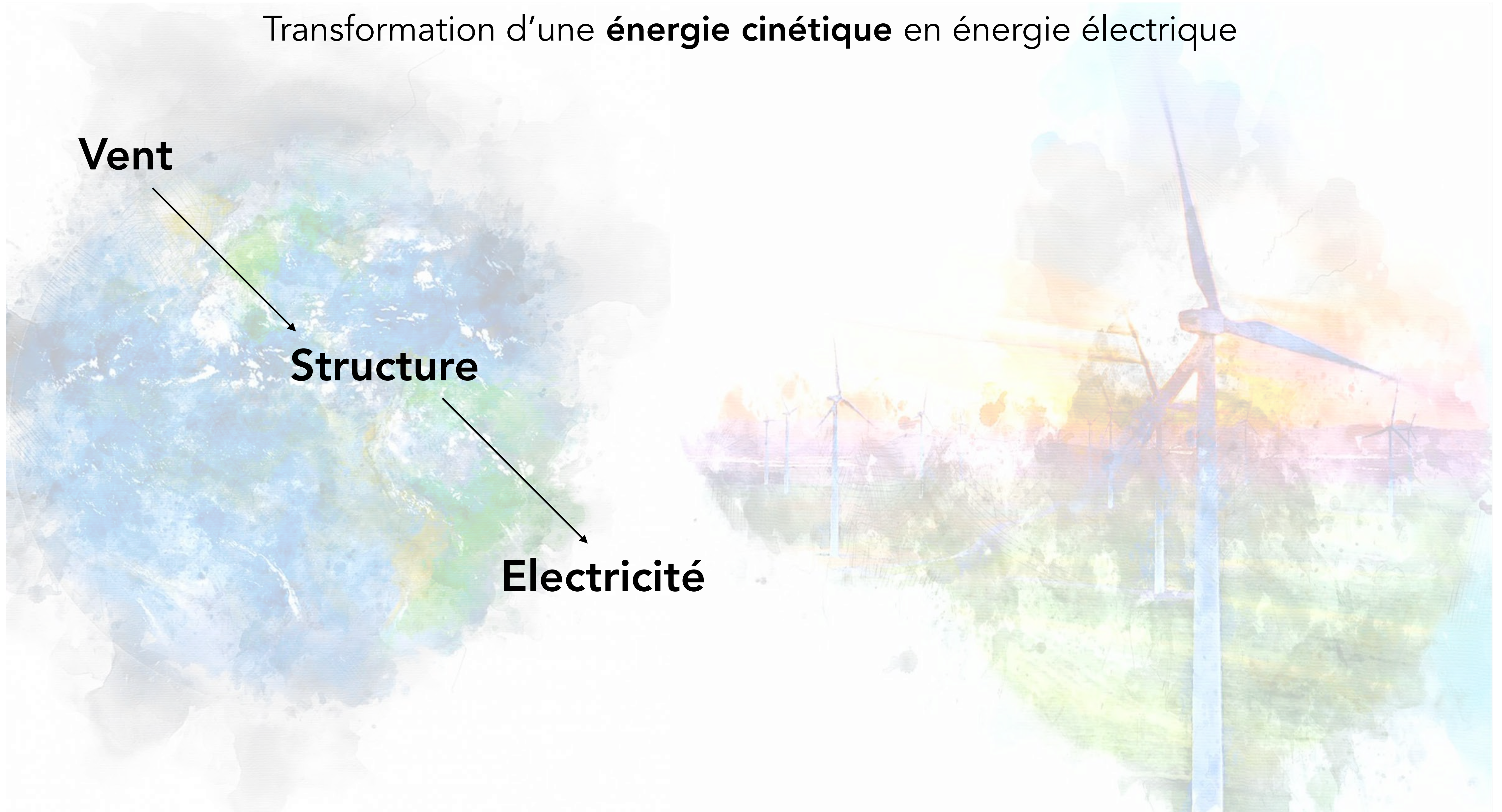
Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie cinétique** en énergie électrique

Vent

Structure

Electricité



Quelques explications « mécanique » rapide

L'explication complète sera donnée lors de la première session du cours...le 24 octobre à 17h30

L'énergie « cinétique » du vent est représentée par

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 \text{ [J]}$$

m = masse

v = vitesse

En utilisant la masse volumique ρ [kg/m³] et le lien entre débit et vitesse
débit = vitesse [m/s] X section [m²])

$$P_c = \frac{1}{2} \rho \times S \times v^3 \text{ [W]}$$

$$\frac{[\text{kg}]}{[\text{m}]^3} \times [\text{m}]^2 \times \frac{[\text{m}]^3}{[\text{s}]^3} = \frac{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]}{[\text{s}^2 \times \text{s}]} = \frac{[\text{J}]}{[\text{s}]}$$

P_c correspond ainsi à la puissance du vent

Quelques explications « mécanique » rapide

L'explication complète sera donnée lors de la première session du cours...

Localement, la pression est influencée par la présence des pâles et la valeur est différente de la pression amont et la puissance réelle fournie par le vent s'exprime sous la forme

$$P_r = \frac{1}{2} \rho \times S \times (v_1^2 - v_2^2) \frac{(v_1 + v_2)}{2} \text{ [W]}$$

$$r = \frac{P_r}{P_c}$$

le rendement théorique maximum de l'éolienne

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$$

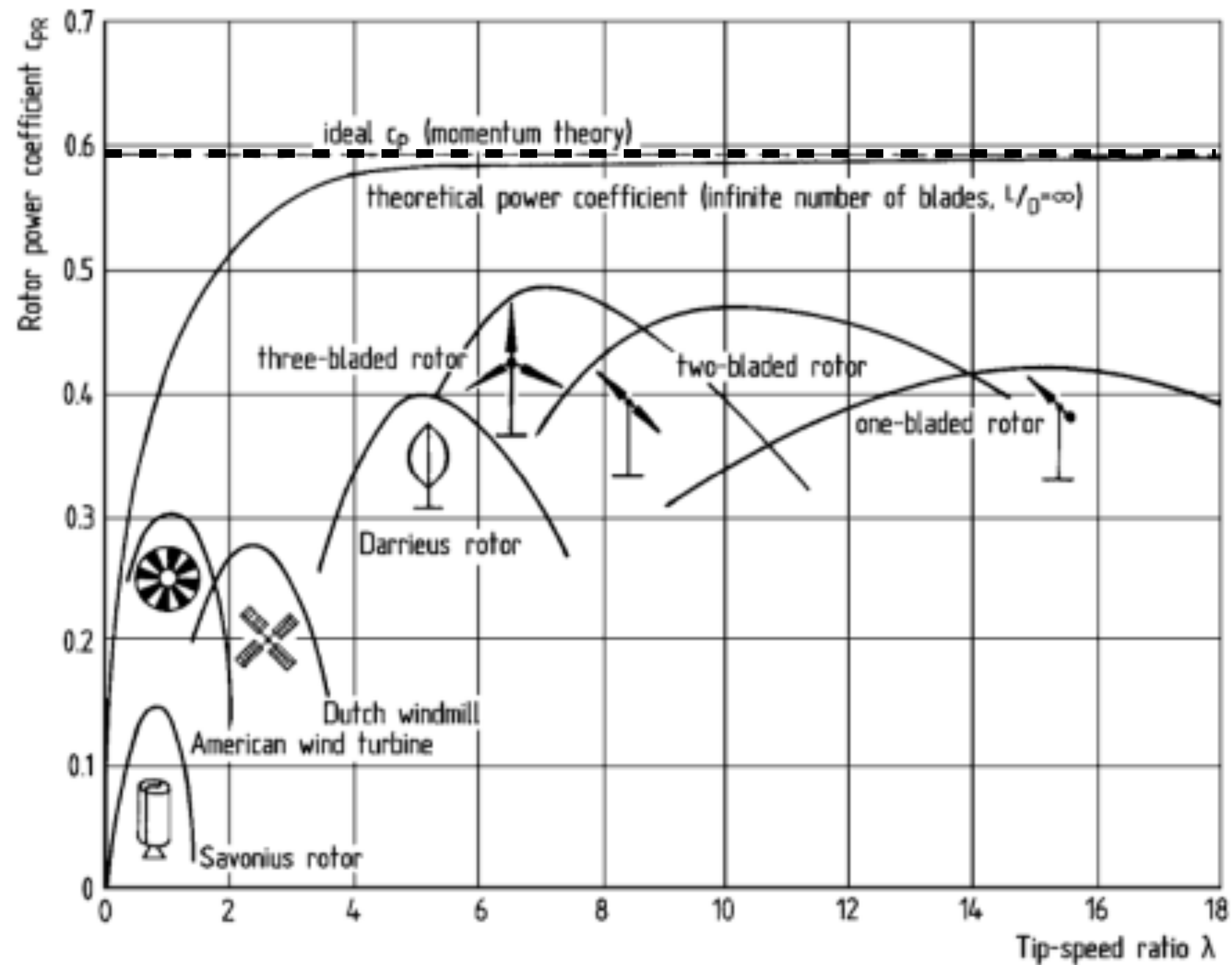
Maximum du rendement théorique pour

$$r = \frac{16}{27}$$

On ne pourra pas faire mieux....à moins d'introduire des discontinuités locales dans l'air

Limite de Betz ~60%

Quelques chiffres clés du secteur éolien



Limite de Betz



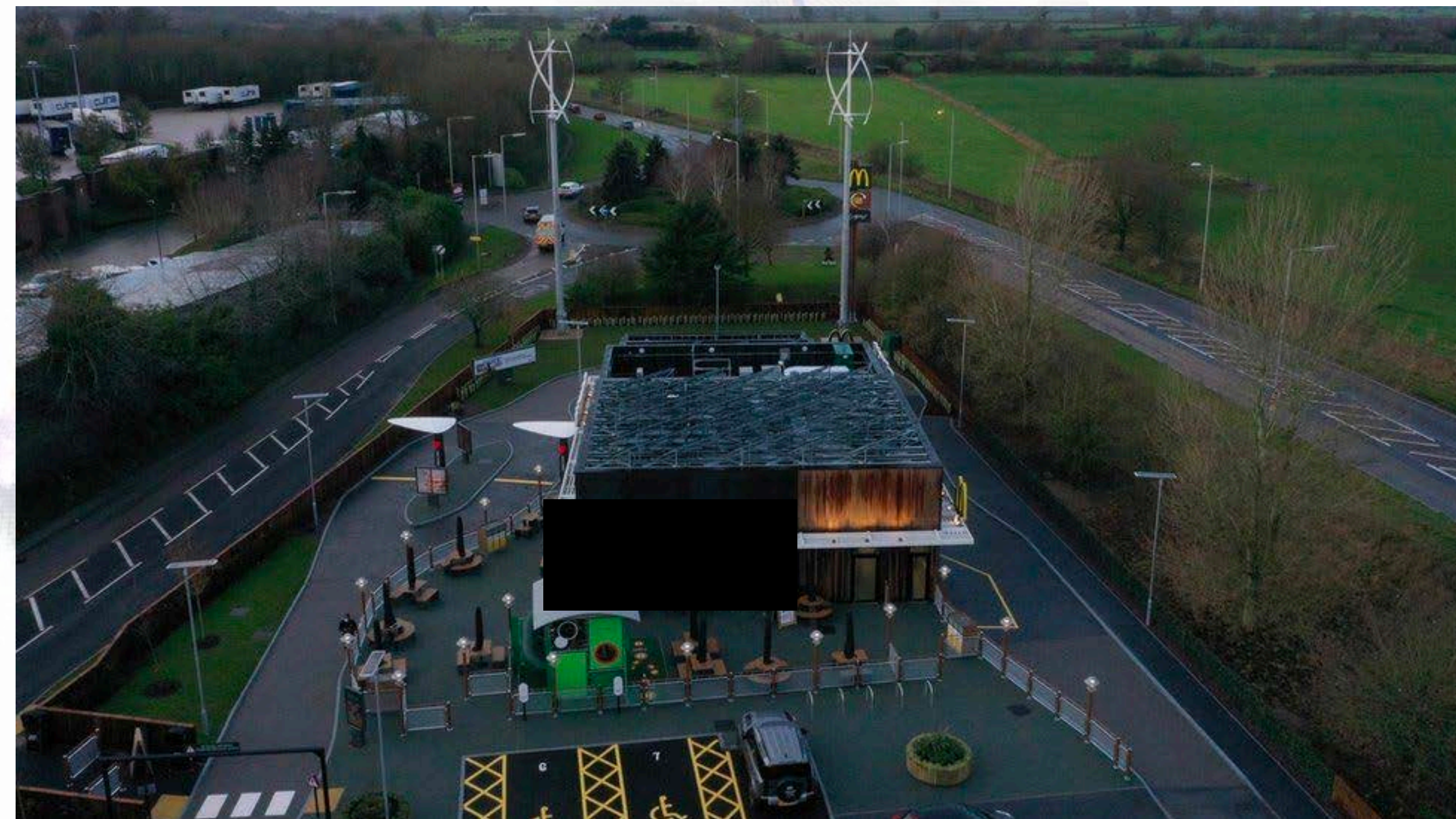
Quelques chiffres clés du secteur éolien

En pratique, il y a rarement 1 éolienne isolée mais plutôt un parc.



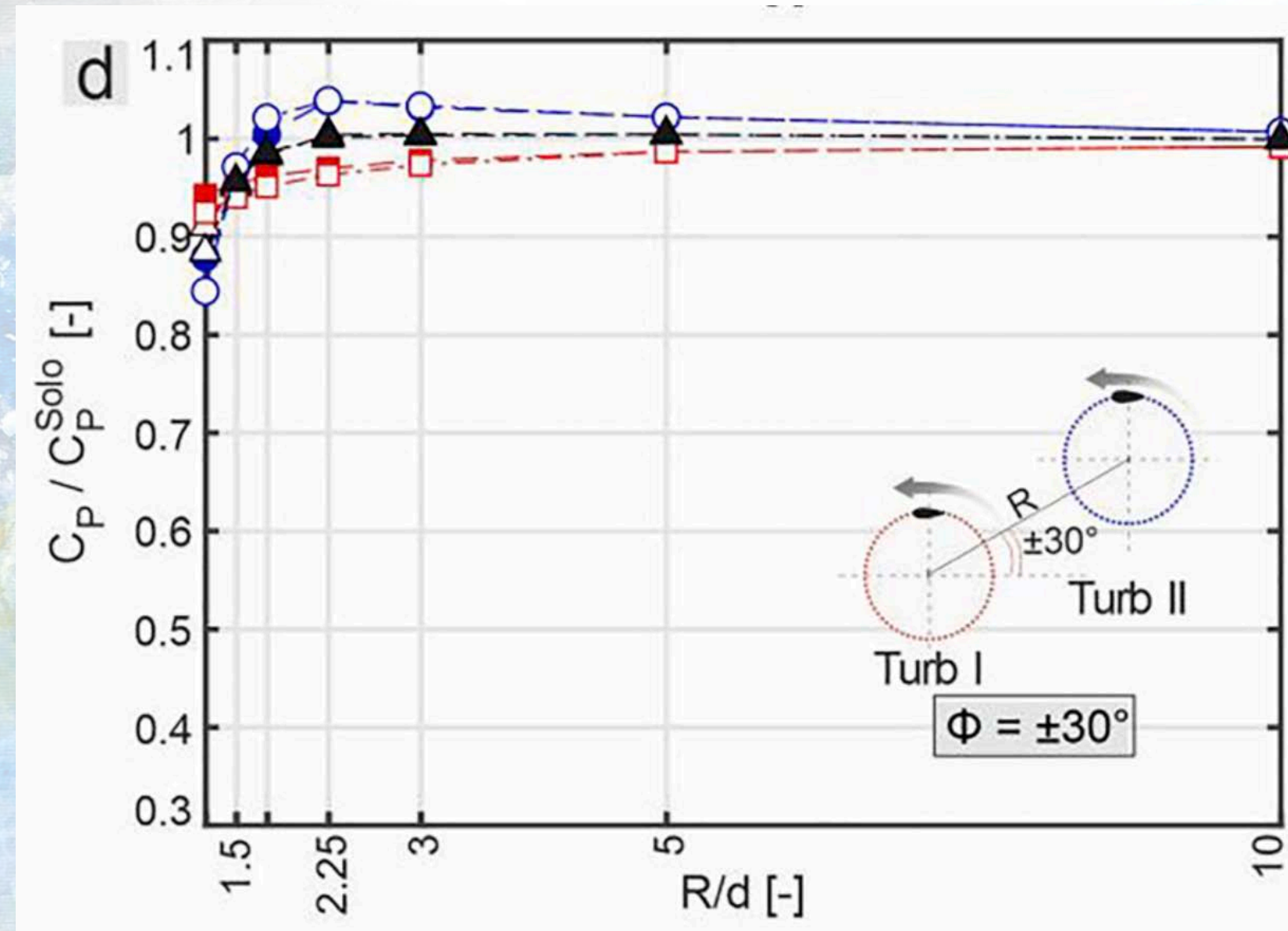
Quelques chiffres clés du secteur éolien

Même si l'efficacité est moins bonne, les éoliennes à axe vertical sont une alternative intéressante en milieu urbain



Quelques chiffres clés du secteur éolien

Dans certaines conditions, deux éoliennes placées judicieusement produisent plus d'énergie que prises séparément.



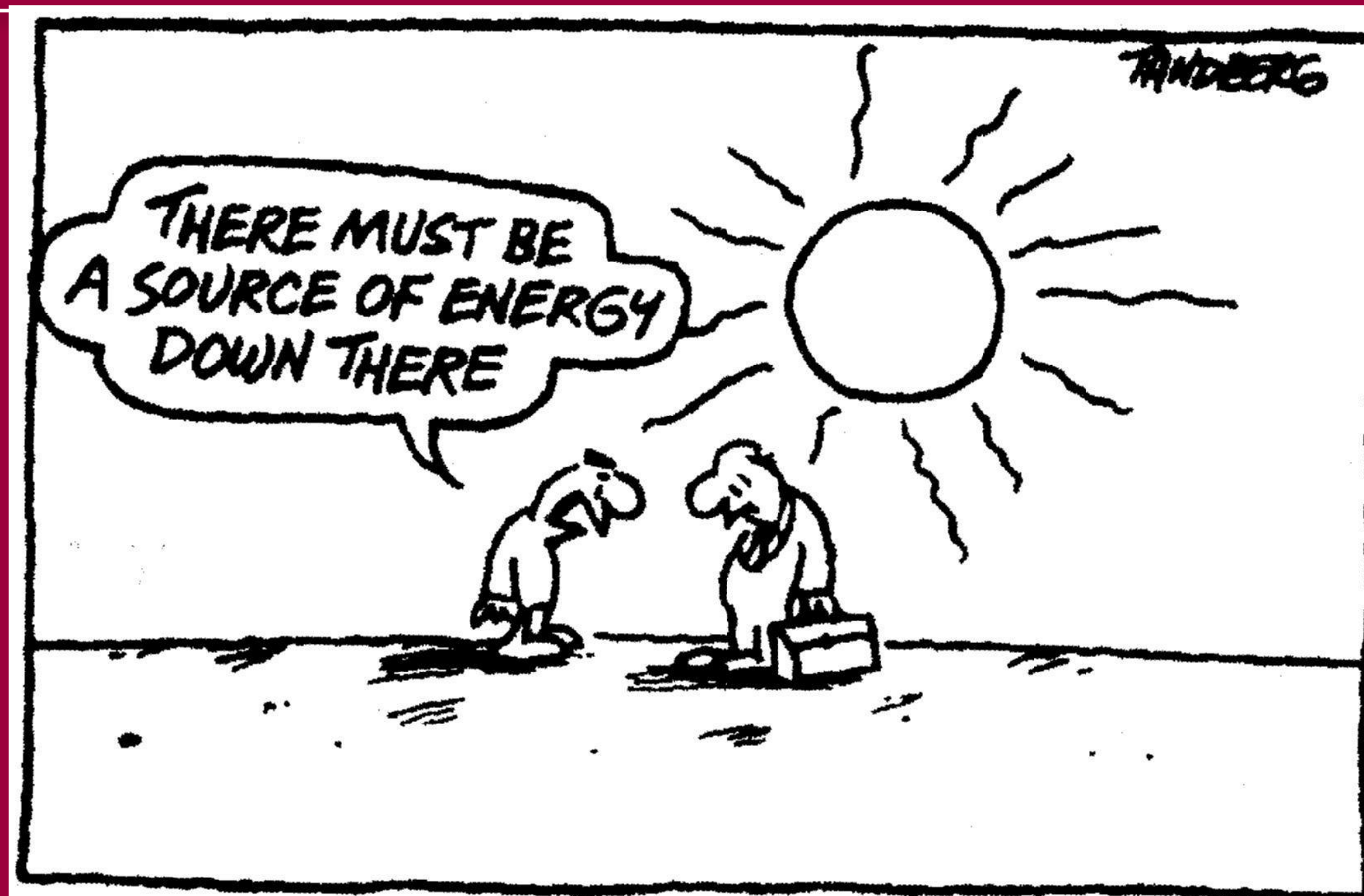
S. Sahebzadeh, A. Rezaeiha, H. Montazeri, *Towards optimal layout design of vertical-axis wind-turbine farms: Double rotor arrangements*, Energy Conversion and Management, Volume 226, 2020, 113527, ISSN 0196-8904

Eolienne / hydro-electrique

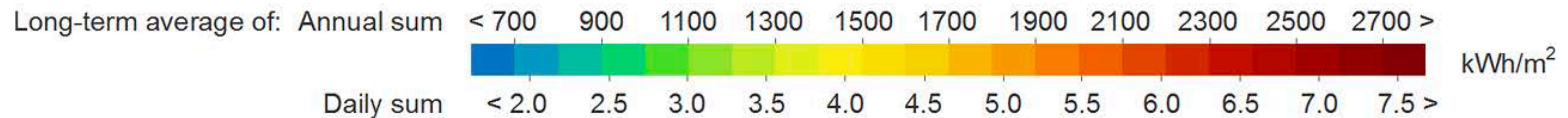
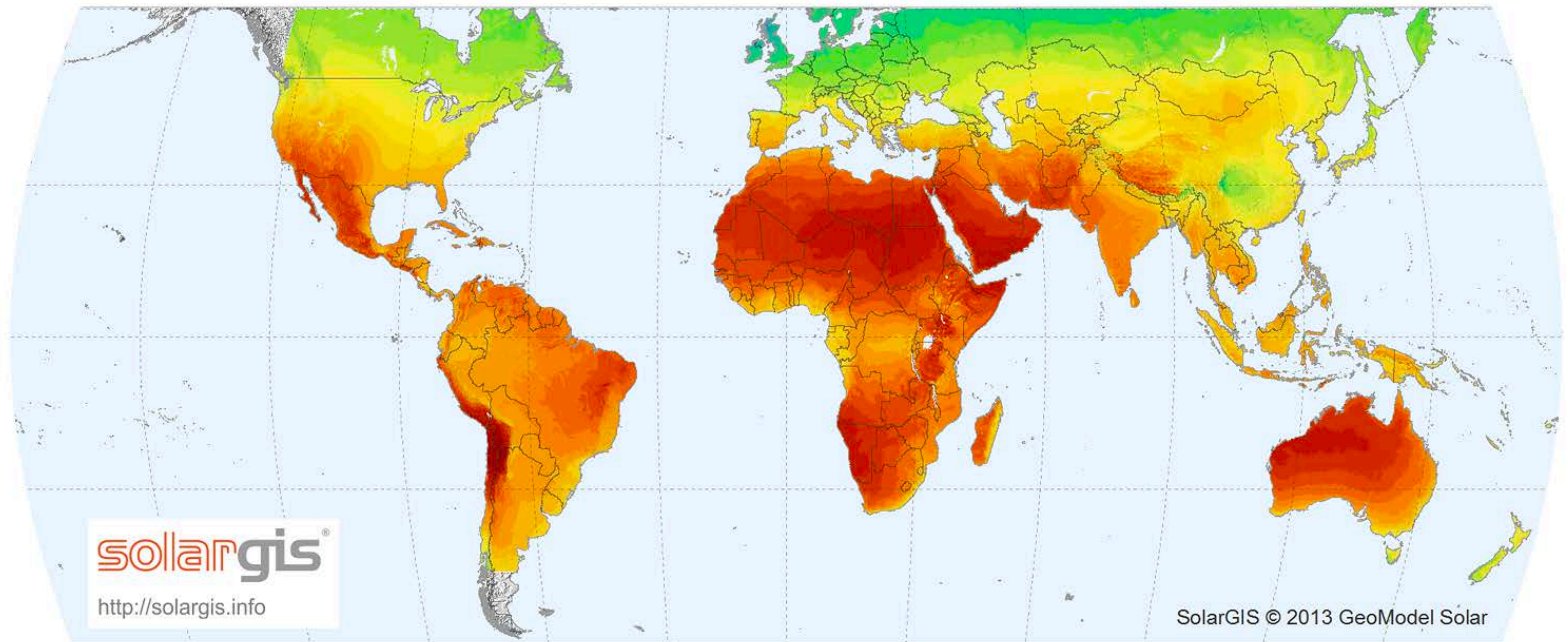
$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

Energie mécanique = Energie potentielle + Energie cinétique

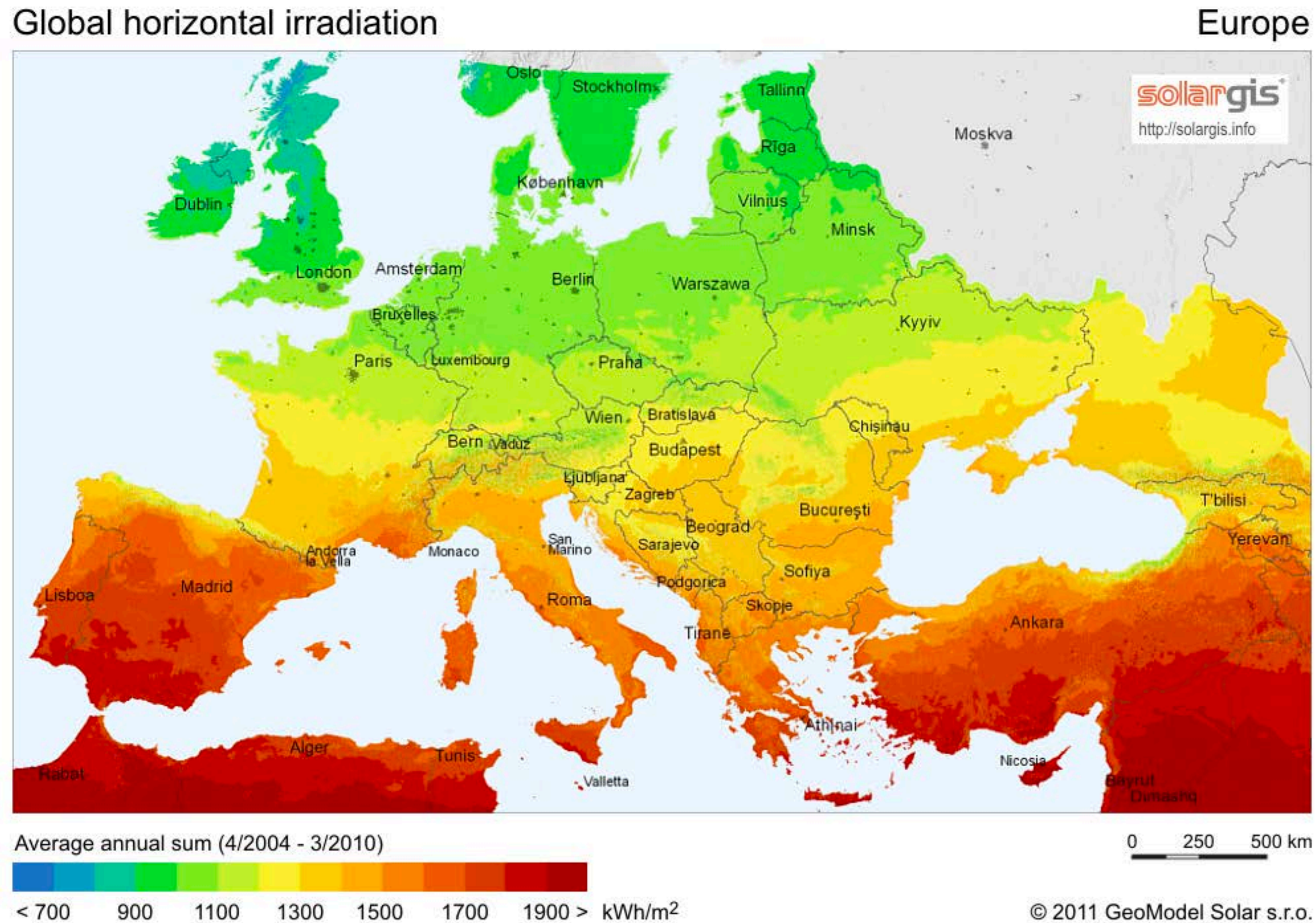
Energie solaire



Carte mondiale de l'énergie solaire reçue au sol



Carte européenne de l'énergie solaire reçue au sol



Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Caractéristiques des ondes électro-magnétiques

Term	Symbol	Units
Wavelength	λ	Å, nm, μm ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm} = 0.1 \text{ nm}$)
Frequency	ν	s^{-1} , Hz, MHz, GHz, THz
Wavenumber	$\bar{\nu}$, $\bar{\omega}$	cm^{-1} , mK ($10^{-3} \text{ cm}^{-1} = 1 \text{ milliKayser}$)
Energy	E, ΔE	J, cm^{-1} , ergs, eV (all per photon); kcal/mole

Spectral region	Wavelength
X-ray	$< 10 \text{ nm}$
UV	$10 - 400 \text{ nm}$
Visible	$400 - 700 \text{ nm}$
IR	$0.7 - 100 \mu\text{m}$ Near IR $0.7 - 2 \mu\text{m}$ Mid IR $2 - 10 \mu\text{m}$ Far IR $10 - 100 \mu\text{m}$
μwave	$0.1 \text{ mm} - 10 \text{ cm}$ ($\nu = 3 \text{ GHz}$ at $\lambda = 10 \text{ cm}$)
RF	$0.1 \text{ m} - 10 \text{ m}$ ($\nu = 30 \text{ MHz}$ at $\lambda = 10 \text{ m}$)

Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Caractéristiques des ondes électro-magnétiques

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

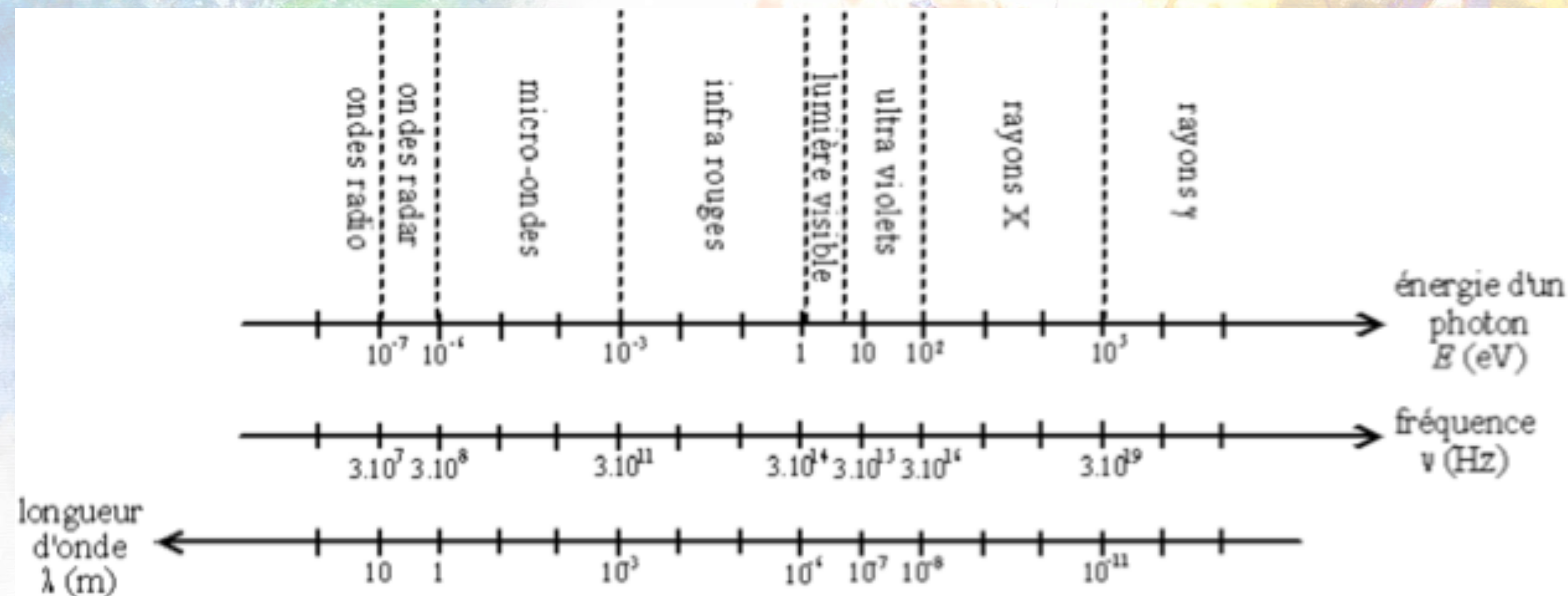
λ est la longueur d'onde [m]

ν est la fréquence [s⁻¹]

$$E = h \cdot \nu$$

h est la constante de Planck

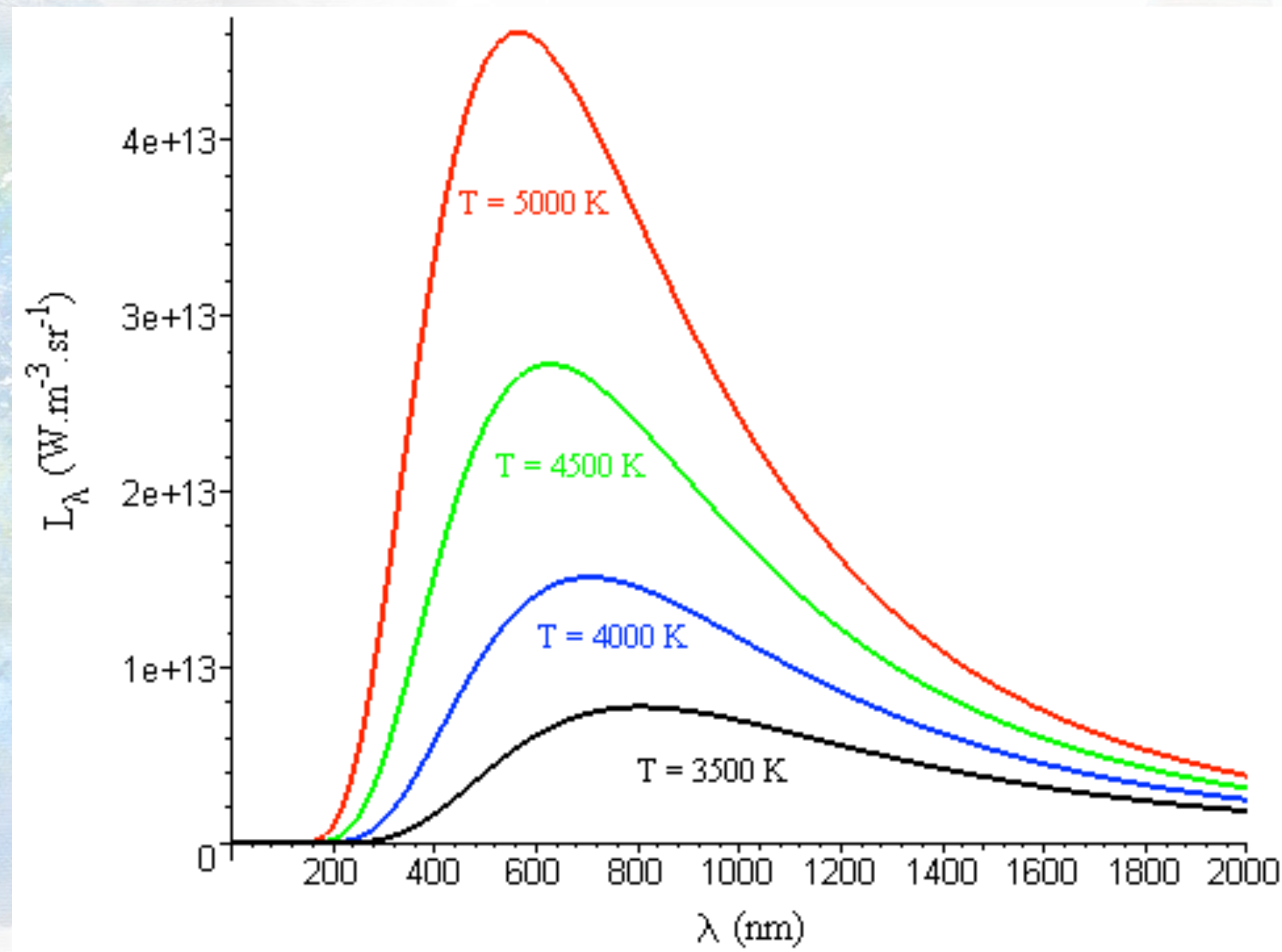
$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ [J.s]}$$



Principe de fonctionnement

*L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...**le 25 octobre à 17h30***

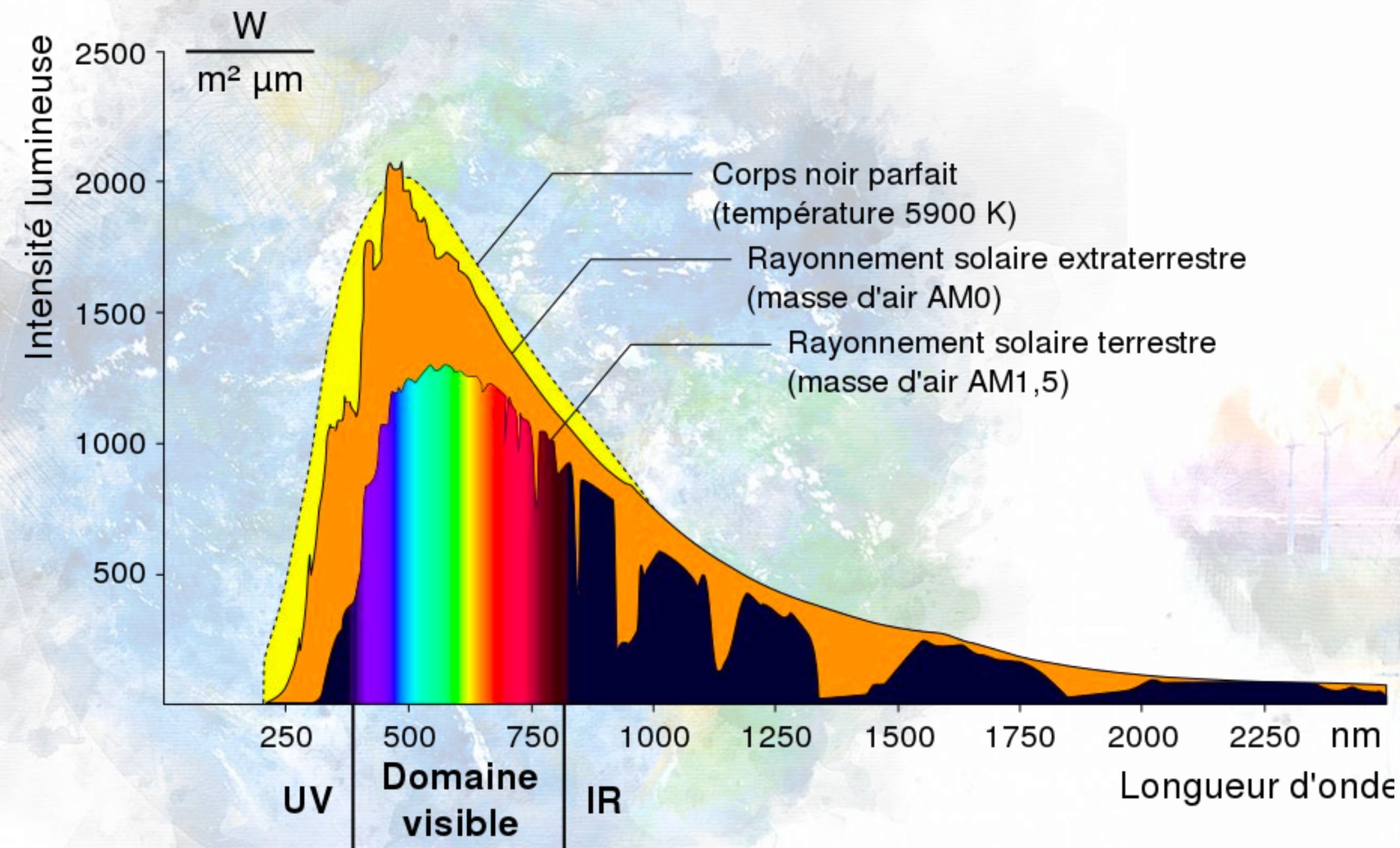
Caractéristiques des corps noirs



Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Emission du soleil



$$L_{\lambda}^0 = \frac{2hc_0^2\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc_0}{\lambda kT}\right) - 1}$$

Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Rayonnement solaire

Electron

Photo-Voltaïque

Chaleur

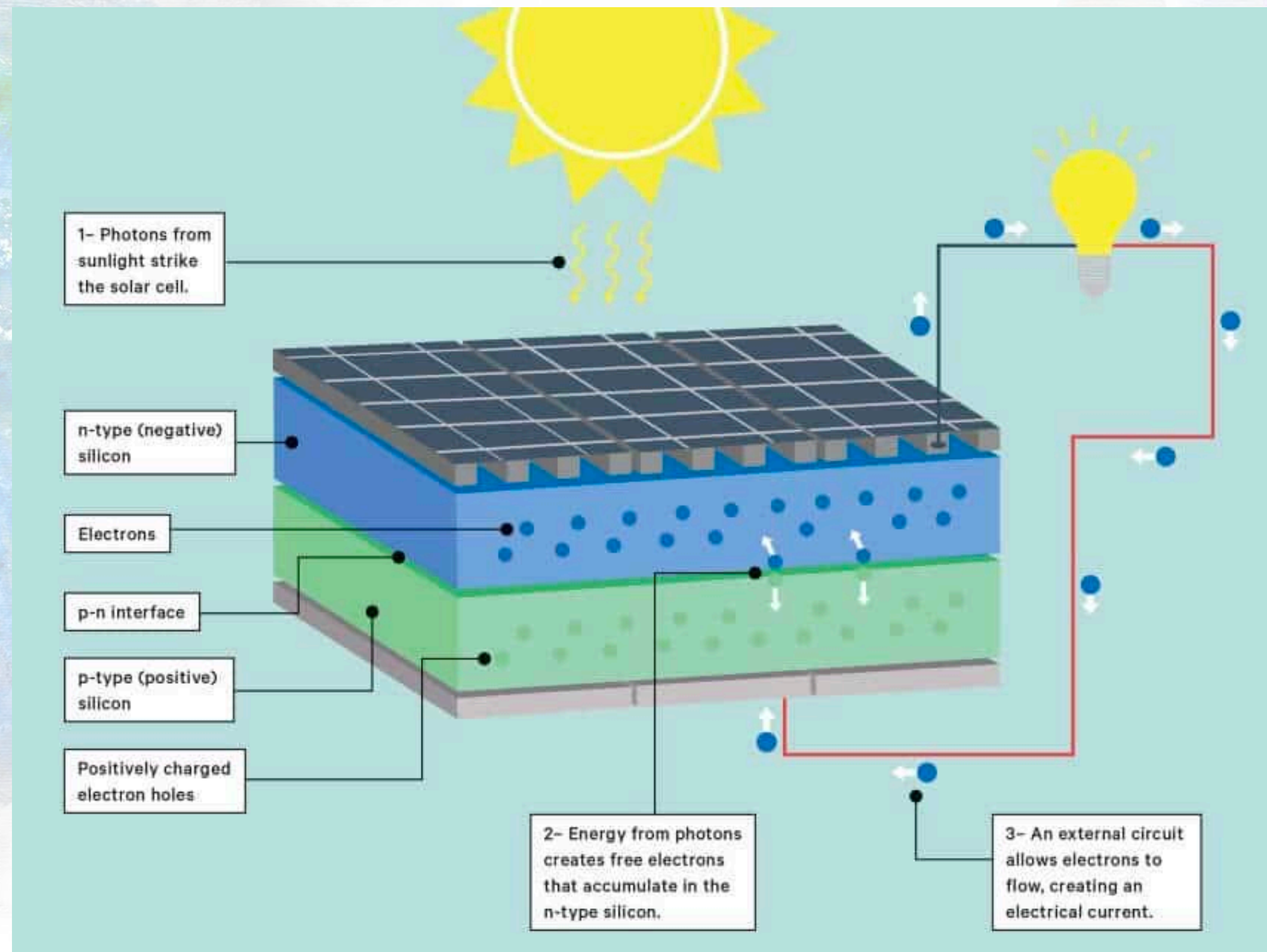
Thermique

Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Panneau photo-voltaïque

Photon $\rightarrow$ électron



L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

Effets thermiques

Après avoir quantifier les écoulements, l'objectif est ici de regarder plus en détail les transferts de chaleur uniquement.

Il y a trois modes de transferts thermiques

- 1) Conduction (nécessite un contact)
- 2) Convection (nécessite une matière mobile, généralement un fluide)
- 3) **Rayonnement** (les photons vont transporter de l'énergie électromagnétique entre deux objets)

Principe de fonctionnement

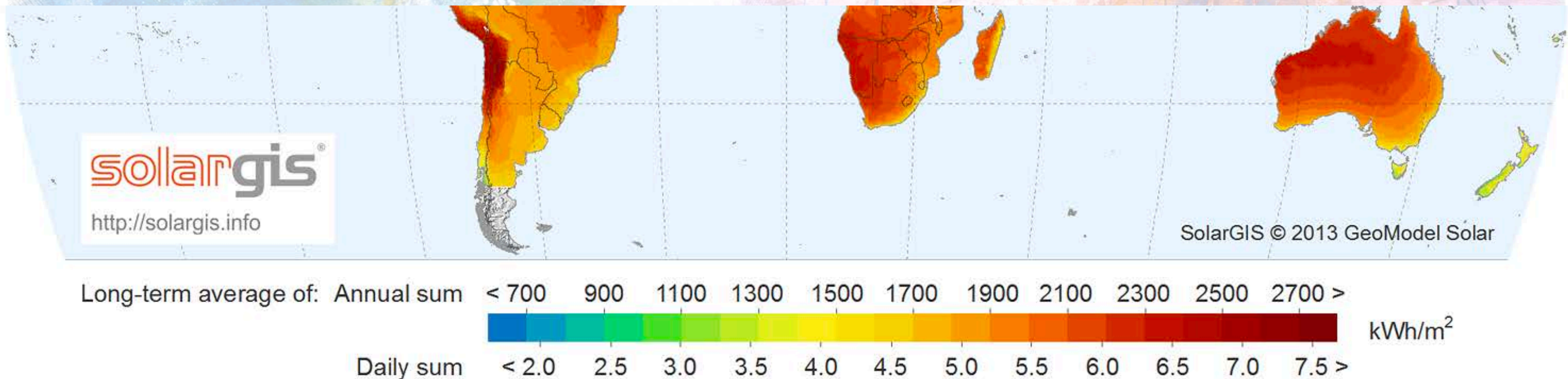
*L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...**le 25 octobre à 17h30***

Effets thermiques

Parmi les 3 modes de transferts énergétiques, c'est le plus compliqué à quantifier car il dépend de la géométrie des objets et de leurs distances.

Tous les corps échangent (envoient et reçoivent) en permanence de l'énergie par rayonnement.

Le soleil, se situant à 149 598 600 kilomètres nous réchauffent grâce à ses rayons...



Principe de fonctionnement

*L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...**le 25 octobre à 17h30***

Effets thermiques

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \text{ [J]}$$

Energie sous forme de
quantité de chaleur

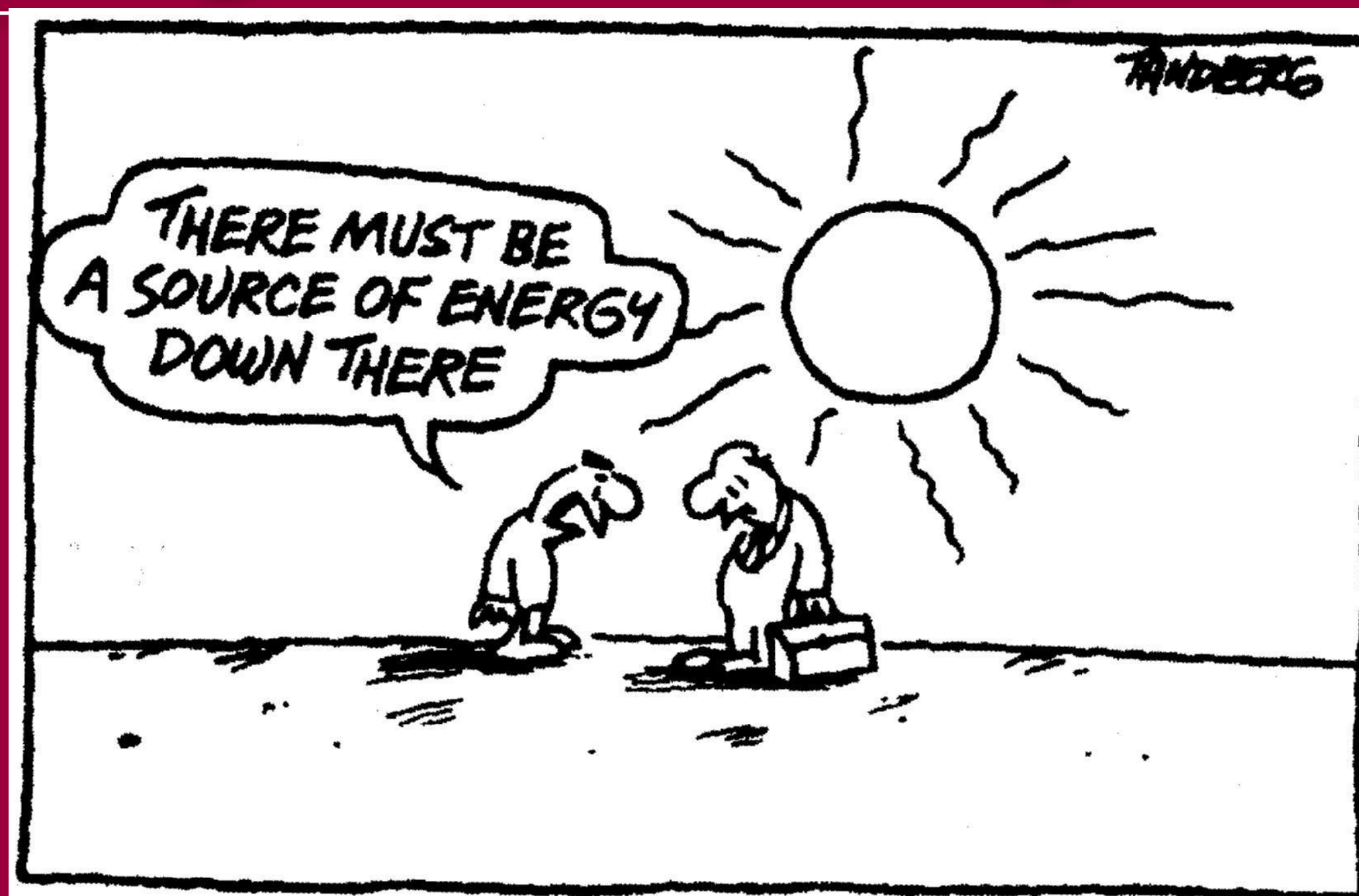
m : masse [kg]

C_p : capacité calorifique du fluide [J/kg/K]

ΔT : écart de température [K]

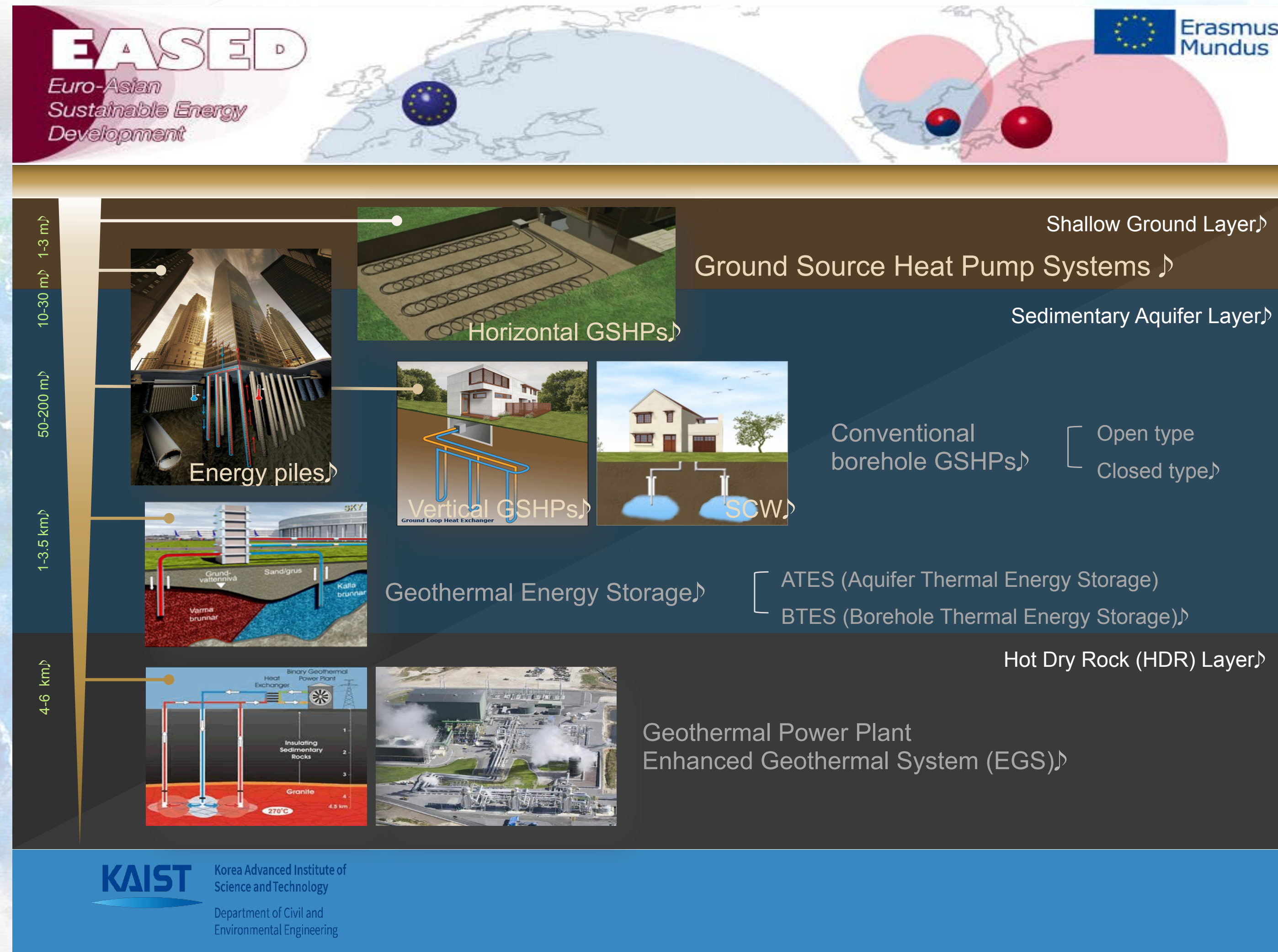
$$C_p(\text{eau liquide}) = 4186 \text{ [J/kg/K]} = 1 \text{ [kcal/kg/K]}$$

Energie géo-thermique



Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30



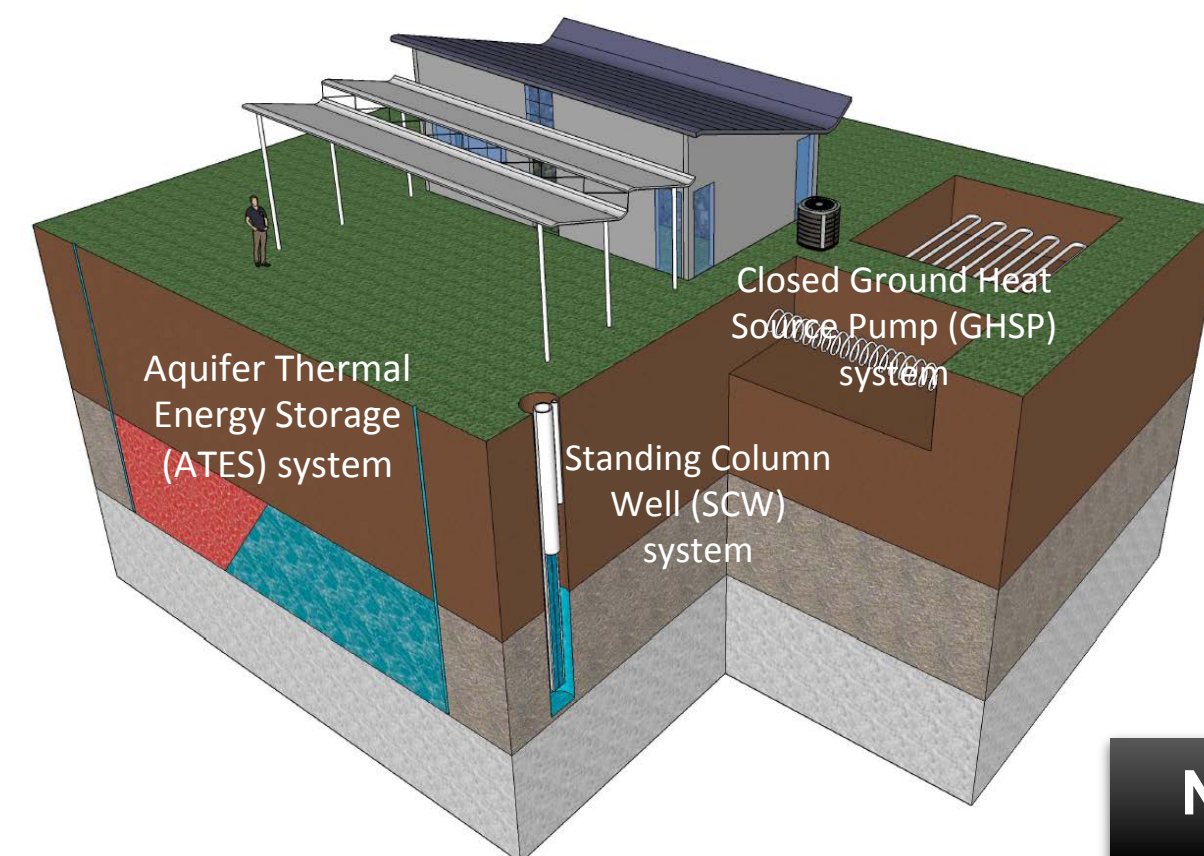
Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30



How efficiently can we use the geothermal energy ?

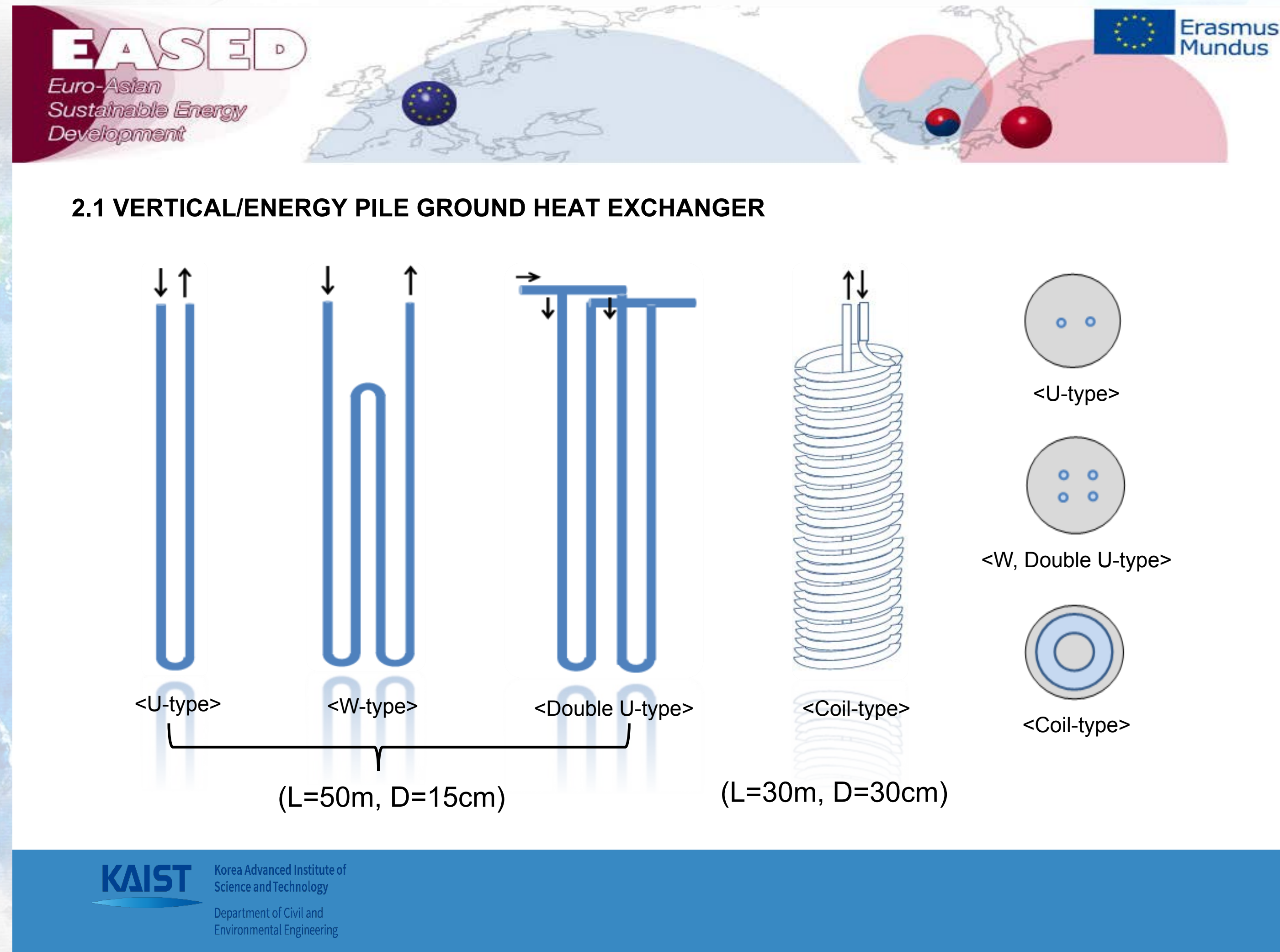
➔ Use of GSHPs and geothermal energy storage



**Need to evaluate the performance efficiency and affecting factors for each system
: Ground condition, GHE type, environment, etc.**

Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30

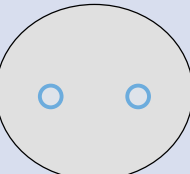
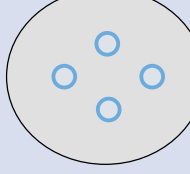
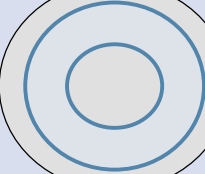


Principe de fonctionnement

L'explication complète sera donnée lors de la seconde session du cours...le 25 octobre à 17h30



4.3 ECONOMICAL ANALYSIS FOR INCHEON INT' AIRPORT

		U-type	W-type	Spiral coil	Remark
type		D=15cm  100m assumption	D=15cm  85m assumption	D=30cm  45m assumption	From 100 hours from the result s of Thermal Response Test Assumption Soil : 0m~40m Rock : 40m~100m Cost estimate was determined for more than 50 holes Drilling : Grout : Pipe = 80% : 10% : 10%
Drilling co st	Standard of construction estimate	X	X	X	
	Cost estima te	35.6 \$/m (Soil) 53.4 \$/m (Rock) = 4625 \$	3825 \$	106.7 \$/m (Soil) = 4800 \$	
GROUTING			Almost similar with U type GHE	1.6~1.7 times than U type GHE	
Pipe cost			Twice than U type GHE	3~4 times than U, W type GHEs	

➤ W type GHE showed the highest heat exchange based on construction cost

Energie solaire / géothermique

$$\Delta T \rightleftharpoons Q$$

Energie sous forme de flux de chaleur

Energie par combustion

Principe de fonctionnement

Transformation d'une **énergie potentielle** chimique

Molécules

Réactions exo-thermiques

Molécules de plus basses énergies

Energie interne U [kJ]

Enthalpie H [kJ]

Energie interne molaire U [kJ/mol]

Enthalpie molaire H [kJ/mol]

Energie interne spécifique U [kJ/kg]

Enthalpie spécifique H [kJ/kg]

*L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours... **le 26 octobre à 17h30***

Principe de fonctionnement

Transformation d'une énergie potentielle chimique

Energie interne / Enthalpie (initiale)

Réactions exo-thermiques

Enthalpie / Energie interne (finale)

*L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours... **le 26 octobre à 17h30***

L'énergie ne peut donc pas être produite ***ex nihilo*** ;
elle est en quantité invariable dans la nature.

$$\Delta U + \Delta E_m = W + Q$$

Energie interne [J]

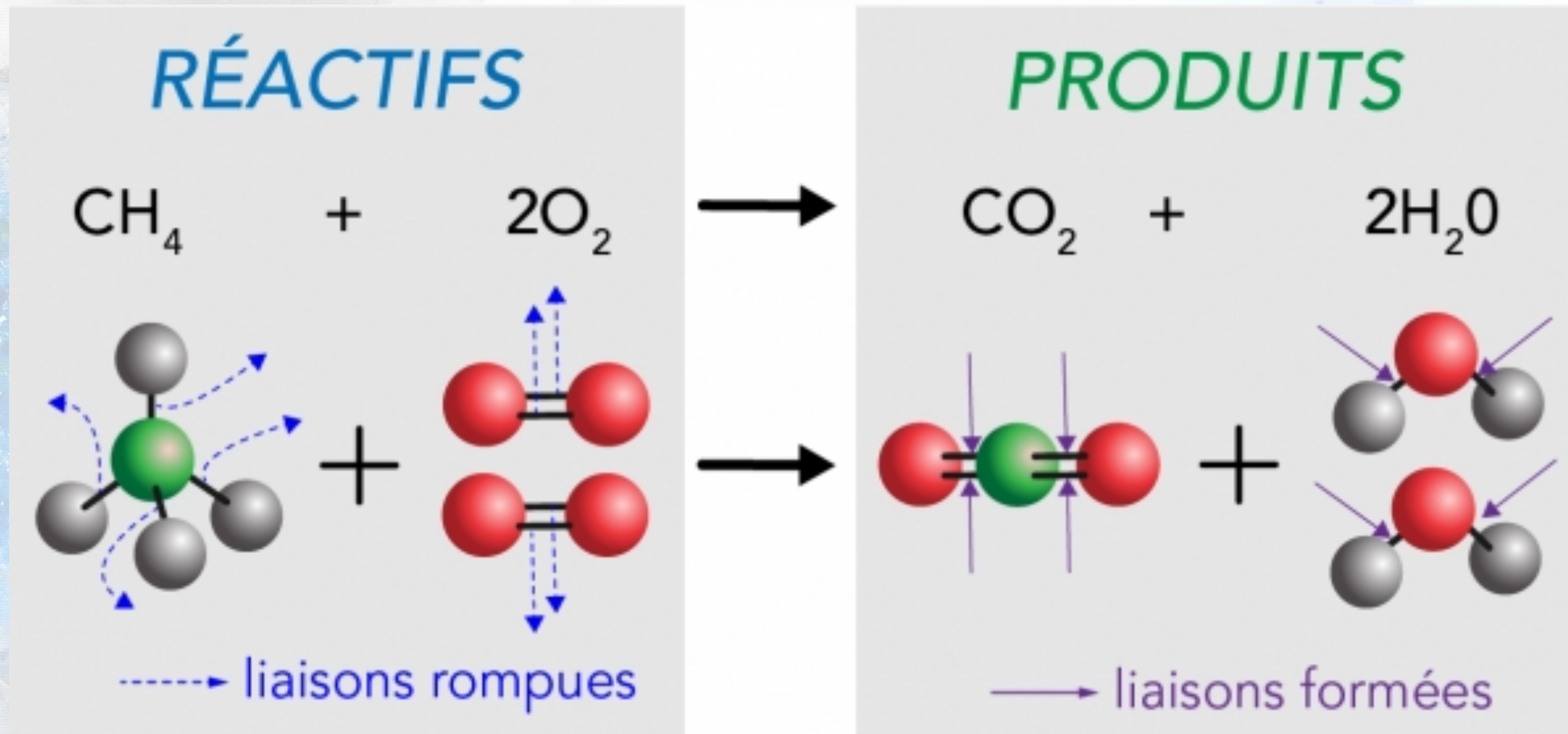
Energie mécanique [J]

Travail [J]

Chaleur [J]

Principe de fonctionnement

Transformation d'une énergie potentielle chimique



©2020 Parlons sciences

L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours... le 26 octobre à 17h30

Principe de fonctionnement

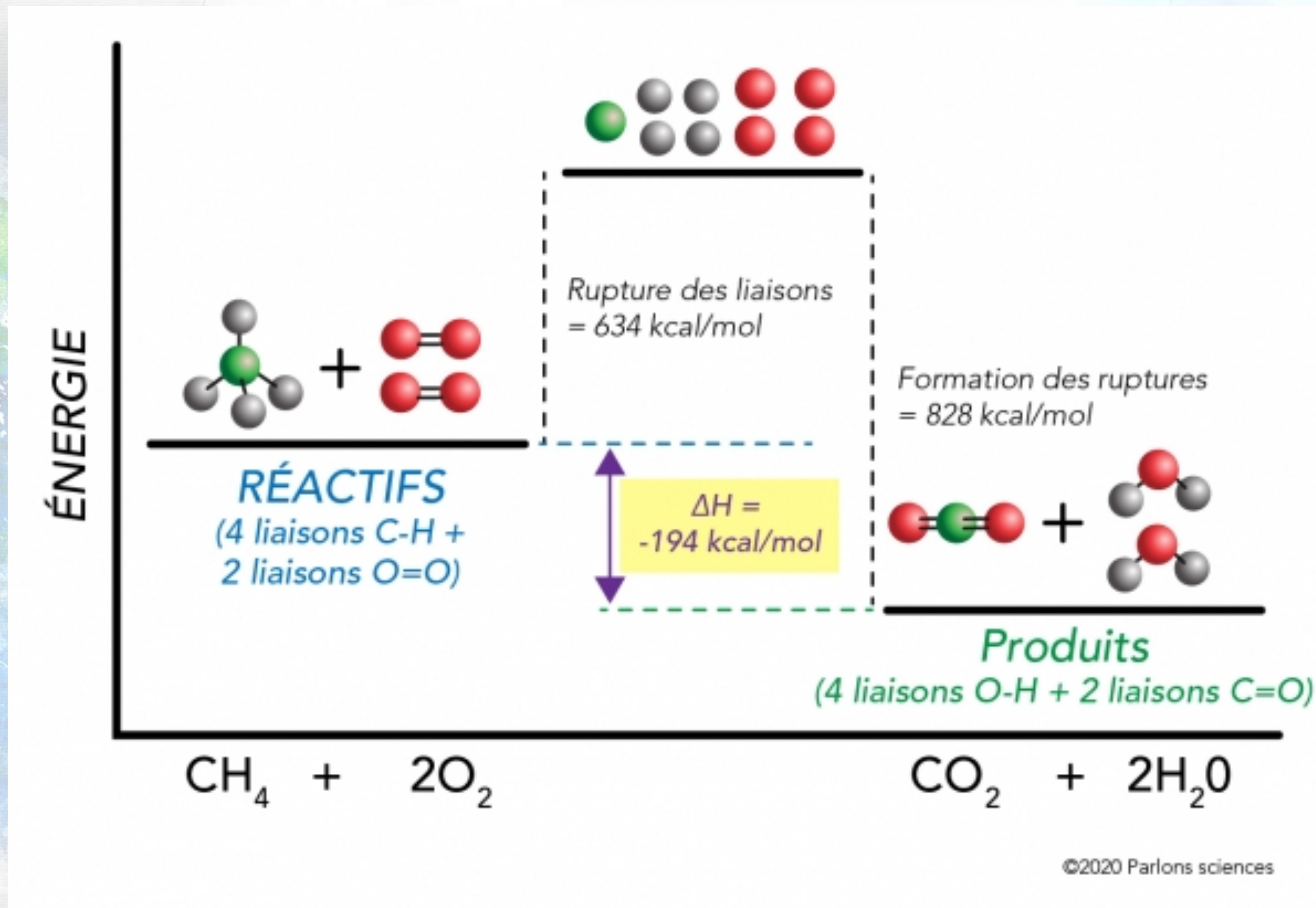
Transformation d'une énergie potentielle chimique

	Energie moyenne des liaisons	Nombre de liaisons	[kcal/mol]
$O = O$	119 [kcal/mol]	2	238
$C - H$	99 [kcal/mol]	4	396
Etat initial			634
$O - H$	111 [kcal/mol]	2 x 2	444
$C = O$	192 [kcal/mol]	2	384
Etat final			828

L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours...**le 26 octobre à 17h30**

Principe de fonctionnement

Transformation d'une énergie potentielle chimique



L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours...le 26 octobre à 17h30

Principe de fonctionnement

Transformation d'une énergie potentielle chimique

	Pouvoir calorifique supérieur [MJ/kg]
$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 6H_2O + 2N_2$	18,6
Charbon	34
Kérosène	47
$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	55
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	142

L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours...**le 26 octobre à 17h30**

Principe de fonctionnement

En pratique, les réactions sont beaucoup plus complexes

TABLE II				TABLE II (continued)			
Propane-Air Reaction Mechanism Rate Coefficients in the Form $k_f = AT^\beta \exp(-E/RT)$				Propane-Air Reaction Mechanism Rate Coefficients in the Form $k_f = AT^\beta \exp(-E/RT)$			
Units are moles, cubic centimeters, seconds, Kelvins and calories/mole.				Units are moles, cubic centimeters, seconds, Kelvins and calories/mole.			
REACTION	A	β	E	REACTION	A	β	E
68. $CH_2CO + H \rightleftharpoons CH_3 + CO$	7.000E12	0.0	3000.	105. $C_3H_8 + H \rightleftharpoons N * C_3H_7 + H_2$	1.300E14	0.0	9710.
69. $CH_2CO + O \rightleftharpoons CHO + CHO$	1.800E12	0.0	1340.	106. $C_3H_8 + H \rightleftharpoons I * C_3H_7 + H_2$	1.000E14	0.0	8350.
70. $CH_2CO + OH \rightleftharpoons CH_2O + CHO$	1.000E13	0.0	0.	107. $C_3H_8 + O \rightleftharpoons N * C_3H_7 + OH$	3.000E13	0.0	5765.
71. $CH_2CO + M' \rightleftharpoons CH_2 + CO + M'$	1.000E16	0.0	59330.	108. $C_3H_8 + O \rightleftharpoons I * C_3H_7 + OH$	2.600E13	0.0	4470.
72. $C_2H_3 + H \rightleftharpoons H_2 + C_2H_2$	2.000E13	0.0	0.	109. $C_3H_8 + OH \rightleftharpoons N * C_3H_7 + H_2O$	6.300E06	2.0	645.
73. $C_2H_3 + O \rightleftharpoons CH_2CO + H$	3.000E13	0.0	0.	110. $C_3H_8 + OH \rightleftharpoons I * C_3H_7 + H_2O$	1.200E08	1.46	-190.
74. $C_2H_3 + O_2 \rightleftharpoons CH_2O + CHO$	1.500E12	0.0	0.	111. $C_3H_8 + HO_2 \rightleftharpoons N * C_3H_7 + H_2O_2$	6.000E12	0.0	19420.
75. $C_2H_3 \rightleftharpoons C_2H_2 + H$	1.600E32	-5.5	46290.	112. $C_3H_8 + HO_2 \rightleftharpoons I * C_3H_7 + H_2O_2$	2.000E12	0.0	17000.
76. $CH_3CO + H \rightleftharpoons CH_2CO + H_2$	2.000E13	0.0	0.	113. $C_3H_8 + CH_3 \rightleftharpoons N * C_3H_7 + CH_4$	7.500E12	0.0	14950.
77. $CH_3CO + O \rightleftharpoons CH_3 + CO_2$	2.000E13	0.0	0.	114. $C_3H_8 + CH_3 \rightleftharpoons I * C_3H_7 + CH_4$	4.300E12	0.0	13280.
78. $CH_3CO + CH_3 \rightleftharpoons C_2H_6 + CO$	5.000E13	0.0	0.	115. $N * C_3H_7 + H \rightleftharpoons C_3H_8$	2.000E13	0.0	0.
79. $CH_3CO \rightleftharpoons CH_3 + CO$	2.300E26	-5.0	17990.	116. $I * C_3H_7 + H \rightleftharpoons C_3H_8$	2.000E13	0.0	0.
80. $C_2H_4 + H \rightleftharpoons C_2H_3 + H_2$	1.500E14	0.0	10215.	117. $N * C_3H_7 + O_2 \rightleftharpoons C_3H_6 + HO_2$	1.000E12	0.0	5000.
81. $C_2H_4 + O \rightleftharpoons CH_3CO + H$	1.600E09	1.2	740.	118. $I * C_3H_7 + O_2 \rightleftharpoons C_3H_6 + HO_2$	1.000E12	0.0	2990.
82. $C_2H_4 + OH \rightleftharpoons C_2H_3 + H_2O$	3.000E13	0.0	3000.	119. $N * C_3H_7 \rightleftharpoons C_3H_6 + H$	1.000E14	0.0	37340.
83. $C_2H_4 + CH_3 \rightleftharpoons C_2H_3 + CH_4$	4.200E11	0.0	11120.	120. $I * C_3H_7 \rightleftharpoons C_3H_6 + H$	2.000E14	0.0	38730.
84. $C_2H_4 + M' \rightleftharpoons C_2H_2 + H_2 + M'$	2.500E17	0.0	76500.	121. $N * C_3H_7 \rightleftharpoons C_2H_4 + CH_3$	3.000E14	0.0	33250.
85. $CH_3CHO + H \rightleftharpoons CH_3CO + H_2$	4.000E13	0.0	4210.	122. $C_3H_6 + O \rightleftharpoons CH_3CO + CH_3$	5.000E12	0.0	450.
86. $CH_3CHO + O \rightleftharpoons CH_3CO + OH$	5.000E12	0.0	1790.	123. $C_3H_6 + OH \rightleftharpoons C_2H_2 + CH_3 + H_2O$	2.000E13	0.0	3060.
87. $CH_3CHO + OH \rightleftharpoons CH_3CO + H_2O$	8.000E12	0.0	0.	124. $N_2 + O \rightleftharpoons N + NO$	0.136E15	0.0	76400.
88. $CH_3CHO + HO_2 \rightleftharpoons CH_3CO + H_2O_2$	1.700E12	0.0	10720.	125. $N + O_2 \rightleftharpoons O + NO$	0.267E11	0.72	7080.
89. $CH_3CHO + CH_2 \rightleftharpoons CH_3CO + CH_3$	2.500E12	0.0	3800.	126. $N + OH \rightleftharpoons H + NO$	0.280E14	0.0	0.
90. $CH_3CHO + CH_3 \rightleftharpoons CH_3CO + CH_4$	8.500E10	0.0	6000.	Third body efficiencies for M' : $\alpha(O_2) = 0.4$, $\alpha(N_2) = 0.4$, $\alpha(CO) = 0.75$, $\alpha(CO_2) = 1.5$, $\alpha(H_2O) = 6.5$, $\alpha(C_3H_8) = 3$.			
91. $CH_3CHO \rightleftharpoons CH_3 + CHO$	2.000E15	0.0	79190.				
92. $C_2H_5 + H \rightleftharpoons CH_3 + CH_3$	3.000E13	0.0	0.				
93. $C_2H_5 + O \rightleftharpoons CH_3CHO + H$	5.000E13	0.0	0.				
94. $C_2H_5 + O_2 \rightleftharpoons HO_2 + C_2H_4$	2.000E12	0.0	5000.				
95. $C_2H_5 + CH_3 \rightleftharpoons C_3H_8$	7.000E12	0.0	0.	Species for a Propane-Air Flame			
96. $C_2H_5 + C_2H_5 \rightleftharpoons C_2H_4 + C_2H_6$	1.400E12	0.0	0.	C_3H_8	$N * C_3H_7$	$I * C_3H_7$	C_3H_6
97. $C_2H_5 \rightleftharpoons C_2H_4 + H$	1.300E19	-2.0	41480.	CH_3CHO	C_2H_4	CH_3CO	C_2H_3
98. $C_2H_6 + H \rightleftharpoons H_2 + C_2H_5$	5.400E02	3.5	5215.	C_2HO	C_2H	CH_4	CH_3
99. $C_2H_6 + O \rightleftharpoons OH + C_2H_5$	3.000E07	2.0	5120.	CHO	CH	CO_2	CO
100. $C_2H_6 + OH \rightleftharpoons H_2O + C_2H_5$	6.300E06	2.0	645.	H_2	HO_2	OH	H
101. $C_2H_6 + HO_2 \rightleftharpoons H_2O_2 + C_2H_5$	6.000E12	0.0	19420.	N_2	NO	N	O_2
102. $C_2H_6 + CH_3 \rightleftharpoons C_2H_5 + CH_4$	5.500E-01	4.0	8300.				
103. $C_2H_6 + CH_2 \rightleftharpoons CH_3 + C_2H_5$	2.200E13	0.0	8680.				
104. $C_2H_6 + CH \rightleftharpoons H + C_3H_6$	1.100E14	0.0	-260.				

L'explication complète sera donnée lors de la troisième session du cours...le 26 octobre   17h30

Energie par combustion

$$\Delta H$$

Energie sous forme de variation d'enthalpie des corps

Energie nucléaire

Principe de fonctionnement

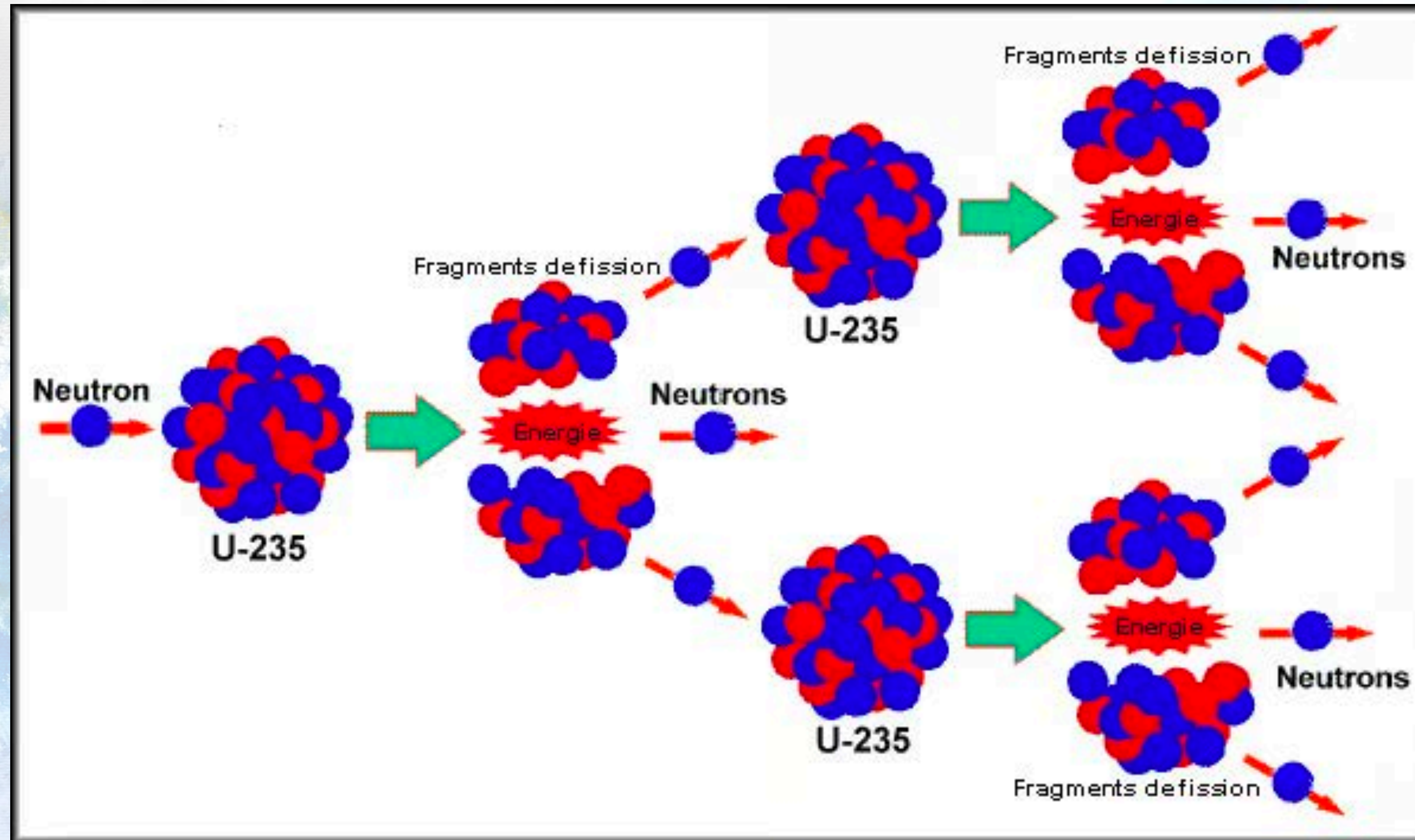
Réaction nucléaire

Circuit primaire

Circuit secondaire

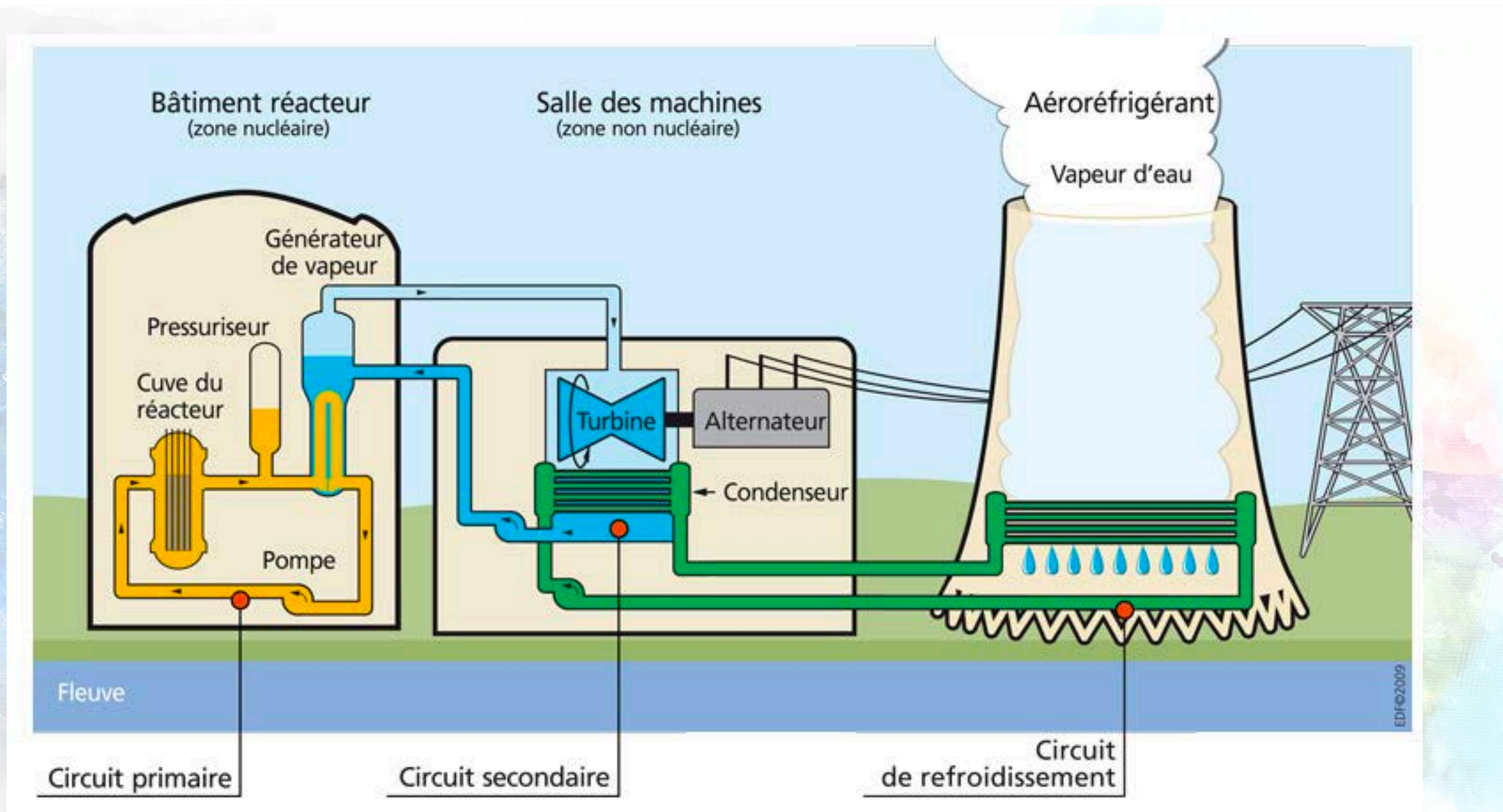


Réaction nucléaire



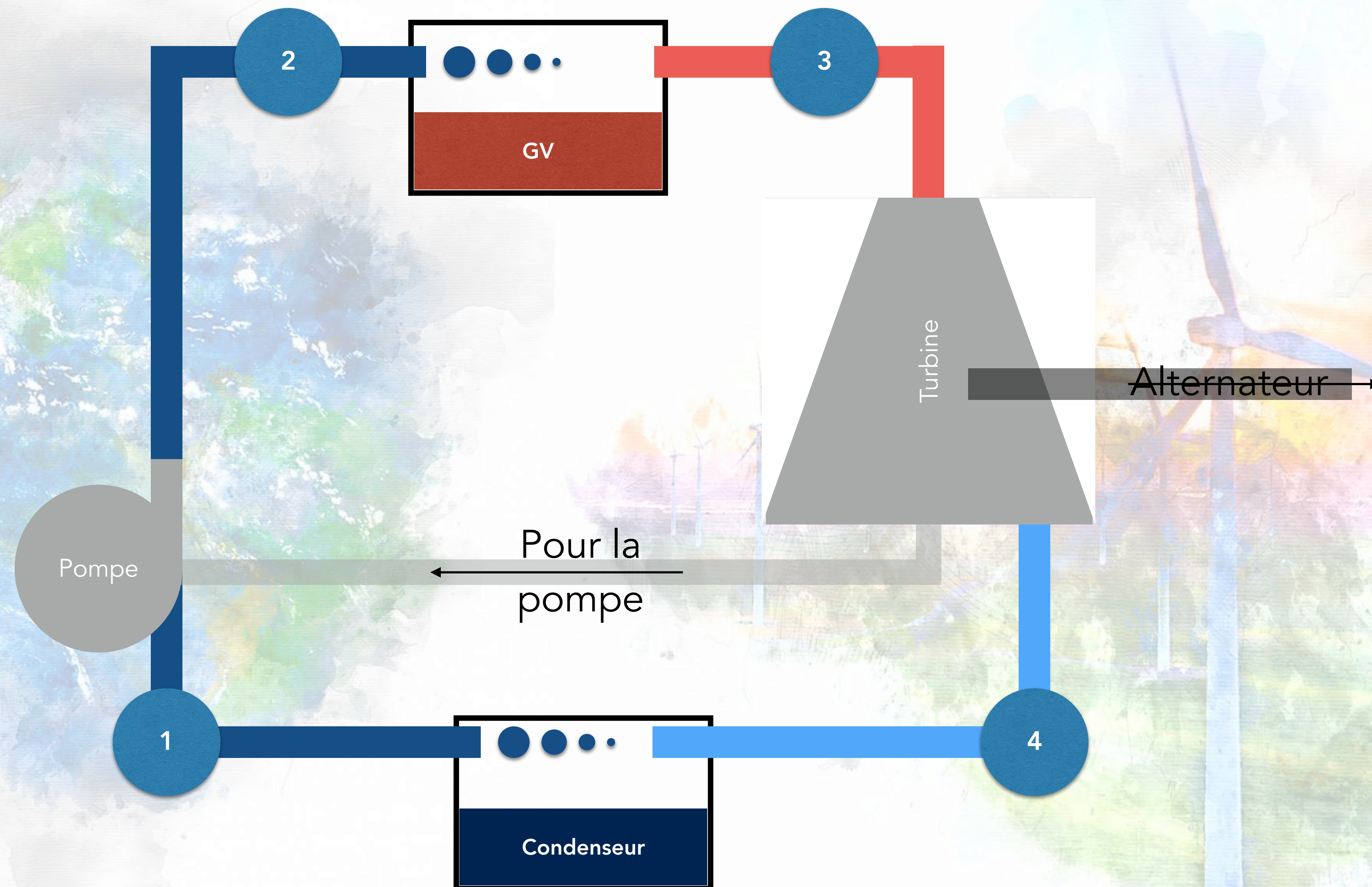
$$E = mc^2$$

Centrale nucléaire



Cycle de Rankine

L'explication complète sera donnée lors de la quatrième session du cours... le 27 octobre à 13h30



Cycle de Rankine

p-T	h [kJ/kg]
1 [bar] - 20 [°C]	42,1
1 [bar] - 50 [°C]	84
1 [bar] - 99,61 [°C]	417,5
1 [bar] - 100 [°C]	2675,8

L'augmentation de température correspond à une augmentation de l'énergie cinétique des molécules

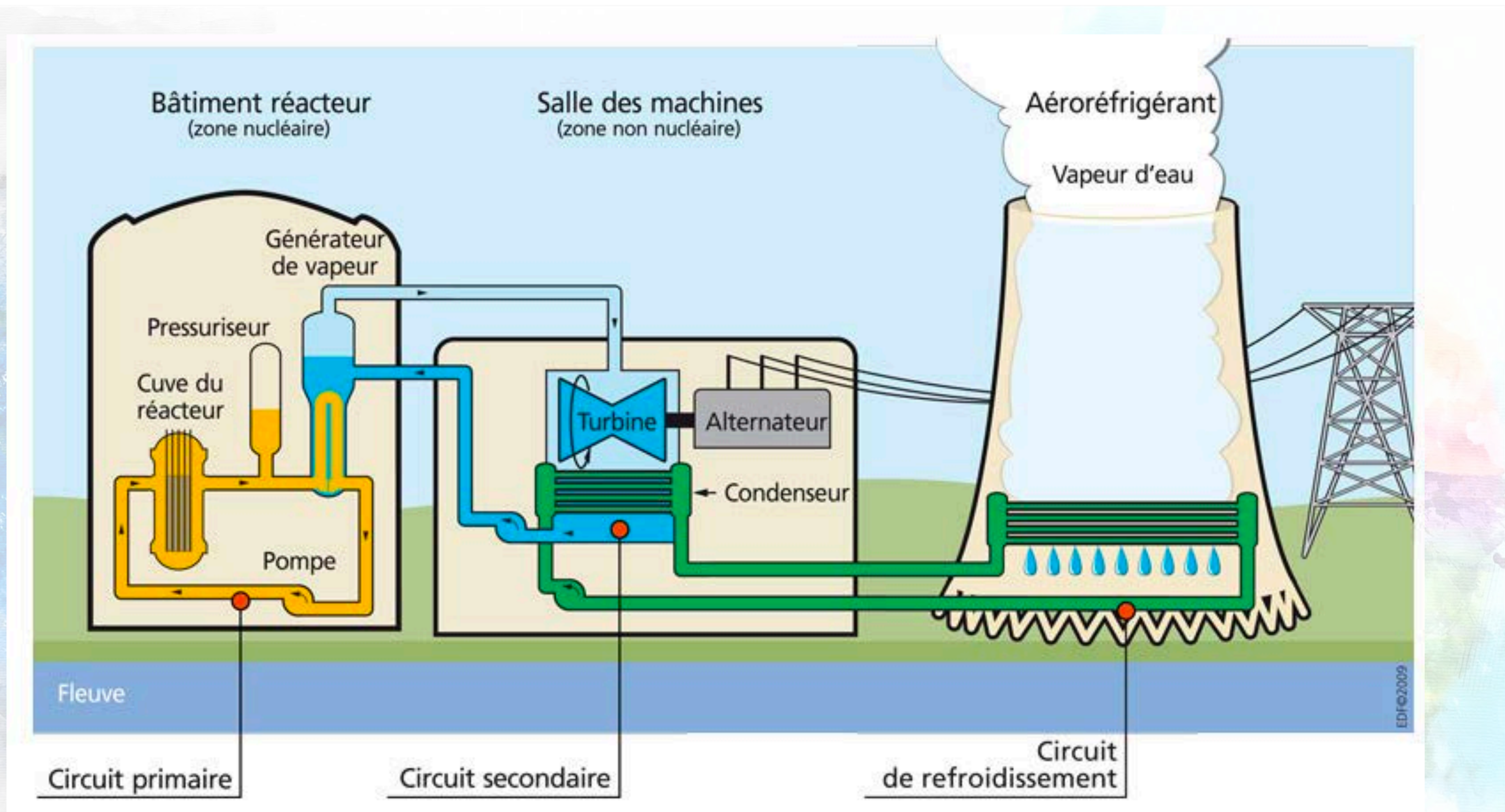
Abaque n°3 : Propriétés de l’eau pure aux points de saturation, triées par pression.

MPa	°C	kJ kg ⁻¹			kJ kg ⁻¹			kJ K ⁻¹ kg ⁻¹			m ³ kg ⁻¹	
<i>p_{sat}</i>	<i>T_{sat}</i>	<i>u_L</i>	<i>u_V</i>	<i>u_{LV}</i>	<i>h_L</i>	<i>h_V</i>	<i>h_{LV}</i>	<i>s_L</i>	<i>s_V</i>	<i>s_{LV}</i>	<i>v_L</i>	<i>v_V</i>
611,657Pa	0,01	[0]				2 500,9	2 500,9	[0]	9,1555	9,1555	0,001	205,991
0,001	6,97	29,3	2 384,5	2 355,2	29,3	2 513,7	2 484,4	0,1059	8,9749	8,869	0,001	129,178
0,002	17,5	73,4	2 398,9	2 325,5	73,4	2 532,9	2 459,4	0,2606	8,7226	8,462	0,001001	66,987
0,003	24,05	100,9	2 407,9	2 307,1	100,9	2 544,8	2 444	0,3539	8,5773	8,2234	0,001003	45,841
0,004	28,96	121,4	2 414,5	2 293,2	121,4	2 553,7	2 432,3	0,4224	8,4734	8,051	0,001004	34,791
0,005	32,87	137,7	2 419,8	2 282	137,8	2 560,7	2 423	0,4762	8,3938	7,9176	0,001005	28,185
0,006	36,16	151,5	2 424,2	2 272,7	151,5	2 566,6	2 415,2	0,5208	8,329	7,8082	0,001006	23,733

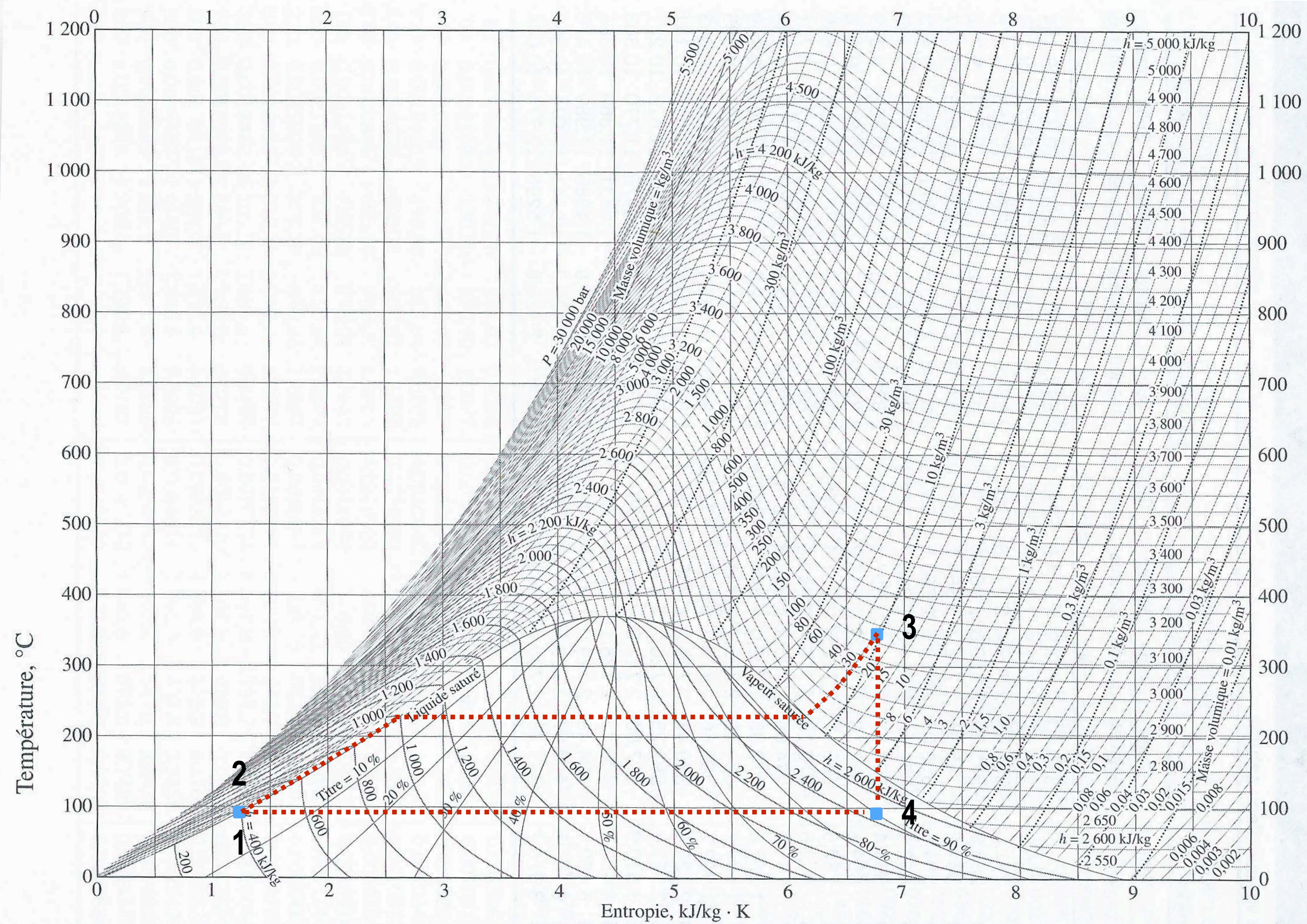
Energie interne Enthalpie Entropie

L’augmentation de température correspond à une augmentation de l’énergie cinétique des molécules

Centrale nucléaire



Cycle de Rankine

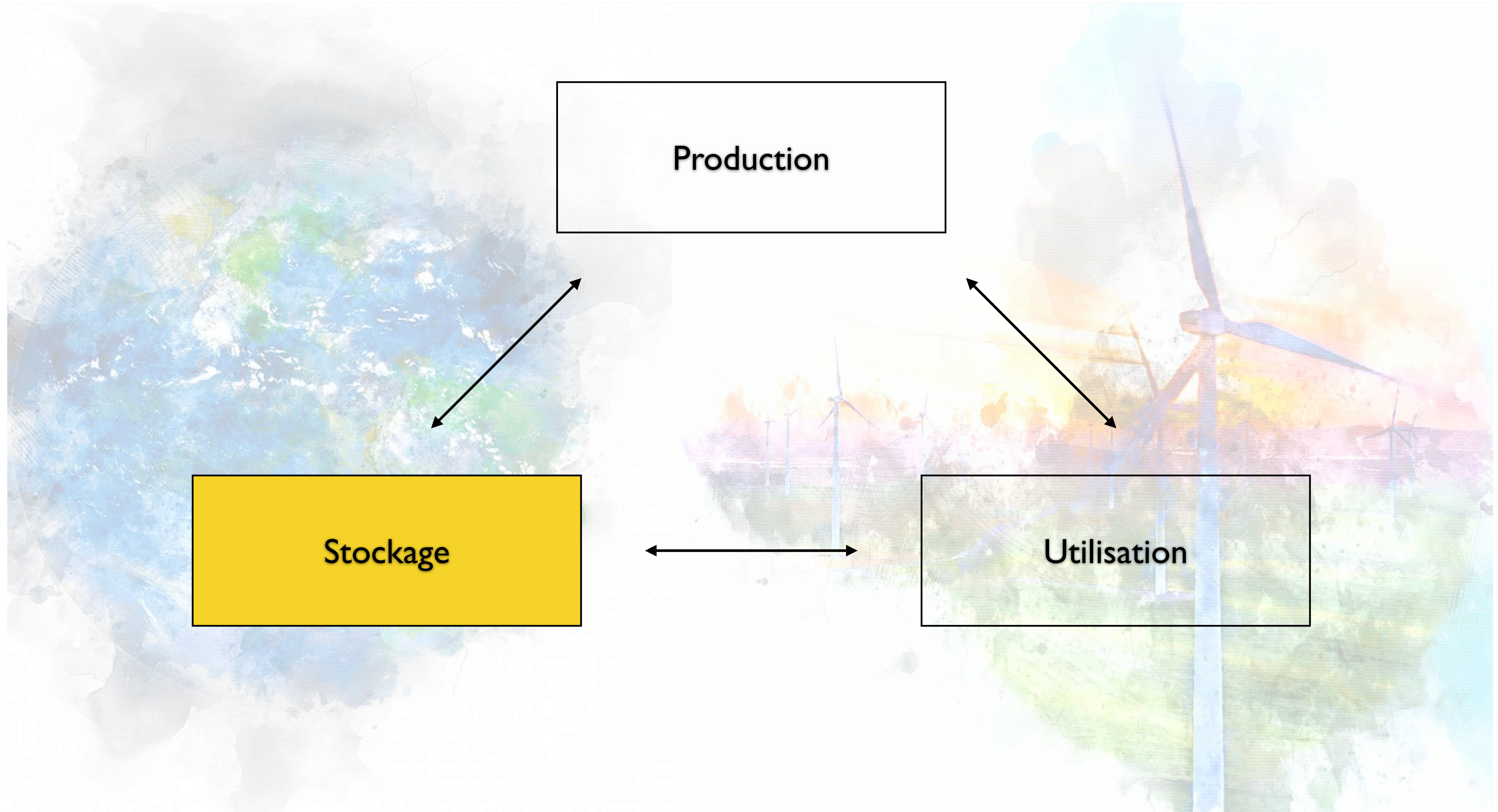


Energie nucléaire

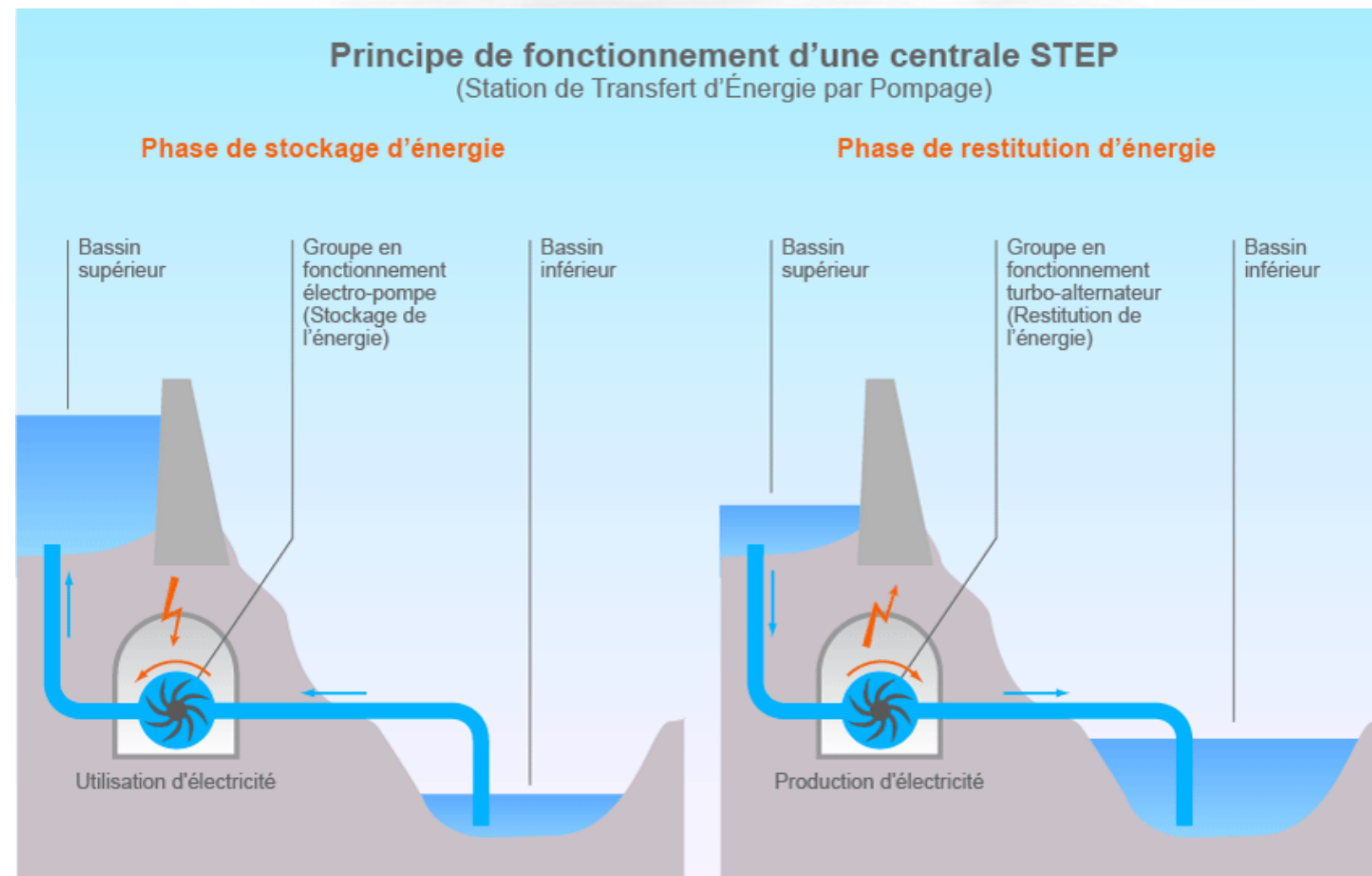
$$\Delta E = \Delta mc^2 \rightarrow \Delta H$$

Stockage

Stockage

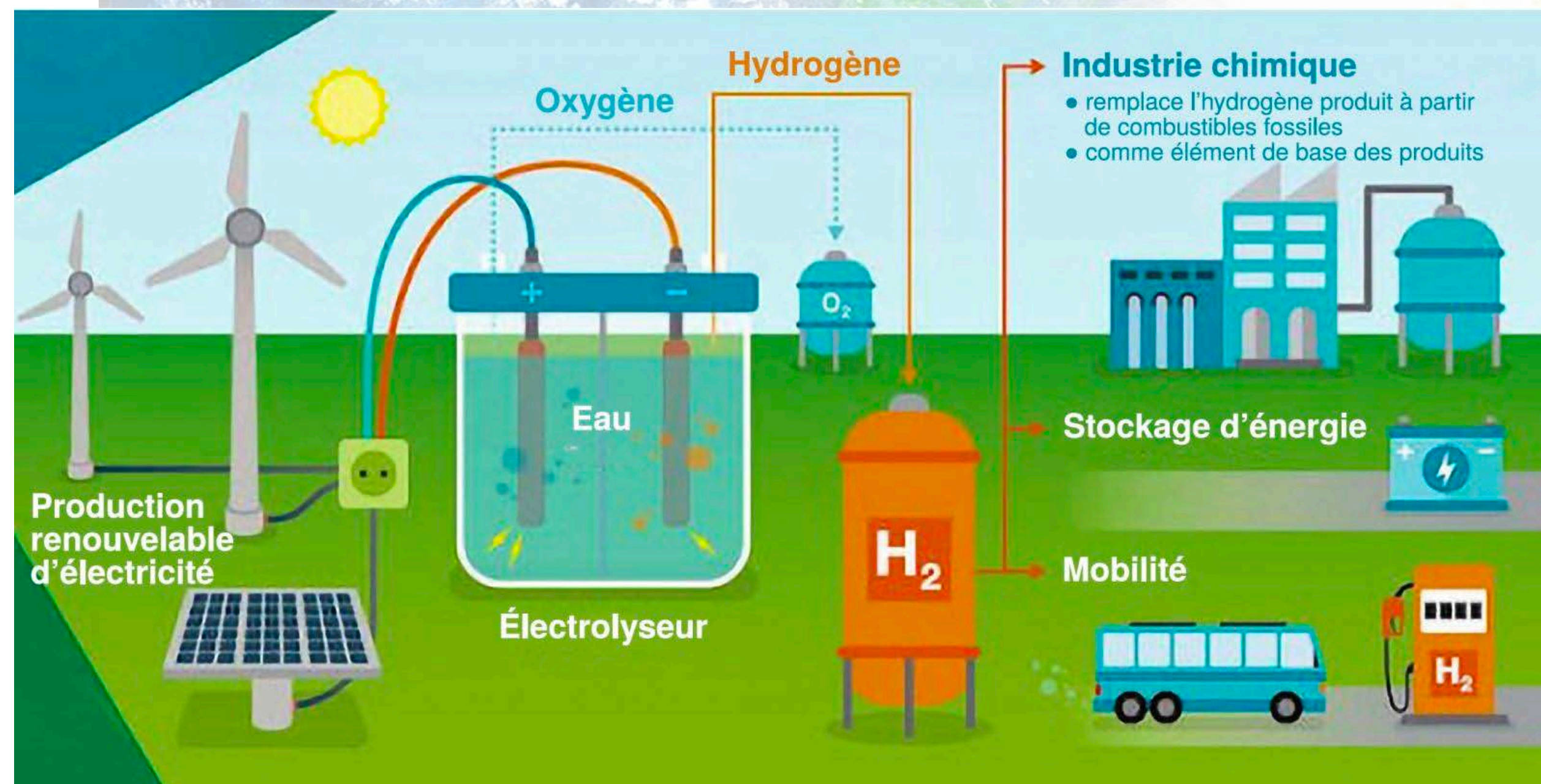
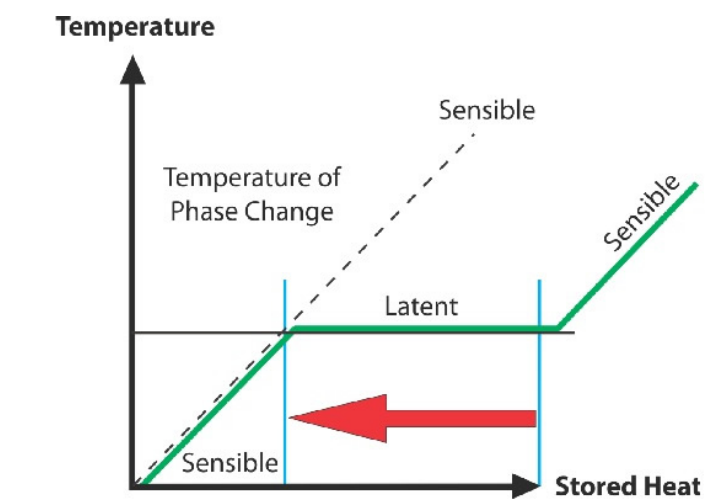


Stockage



PCMs: features

- Phase Change Materials exploit the Latent Heat of the solid/liquid phase transition to store or release a large amount of heat barely changing the temperature
- Example: melting 1 kg ice at 0° : $\Delta H = 333\text{ kJ}$.
Same energy to heat 1 kg water from 0° to 80°
- Hundredths known: organic (paraffins, non-paraffins), inorganic (salt hydrates, metallics), eutectics
 - Paraffin waxes: stable with melting points within room temperatures



Heat transfer performance and dynamics of Phase Change Materials

S Madruga, Heat transfer performance of a phase change material, EM-EASED conference, Madrid, June 15-16 (2017)



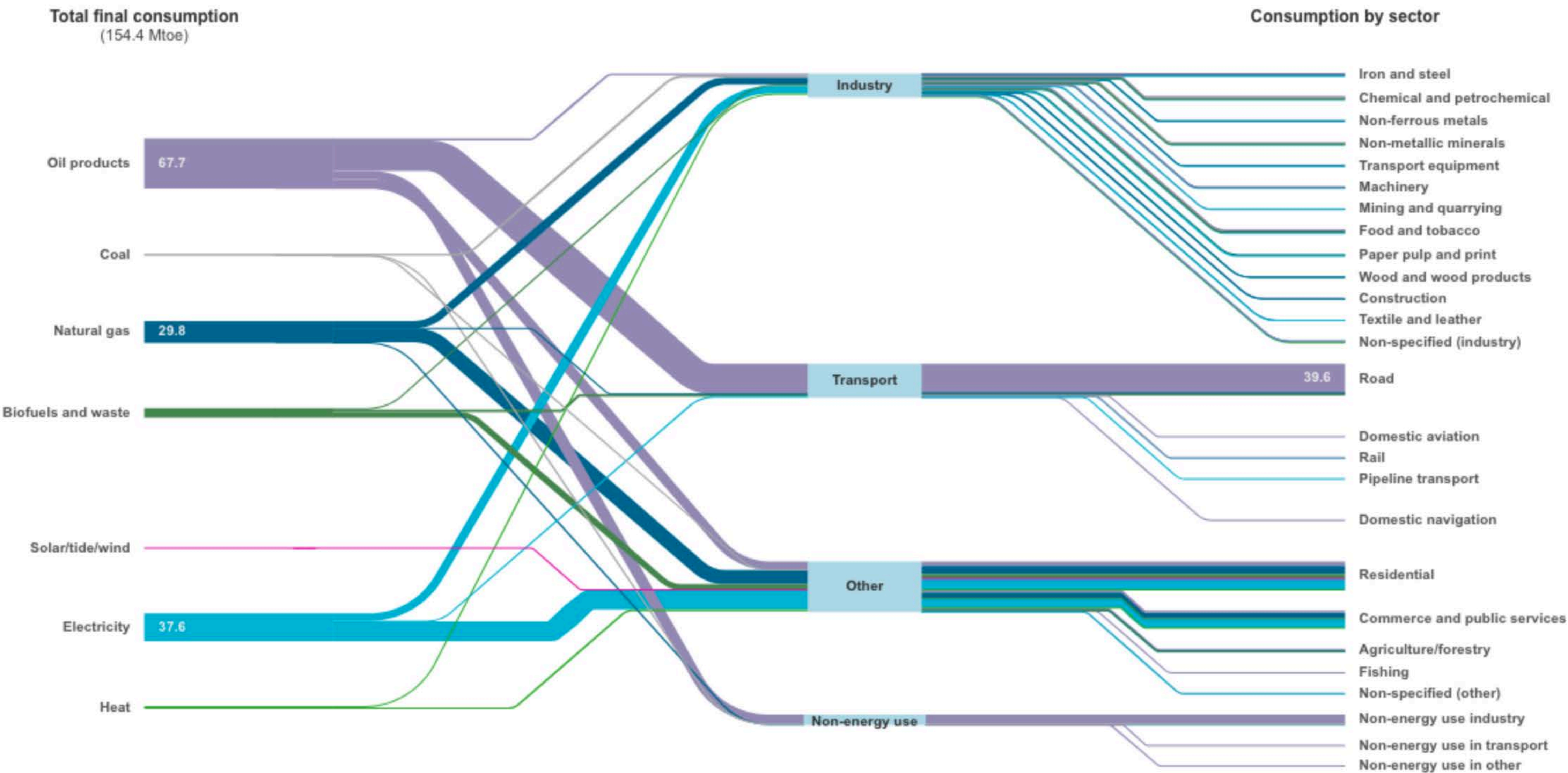
Utilisations

Utilisations de l'énergie

France

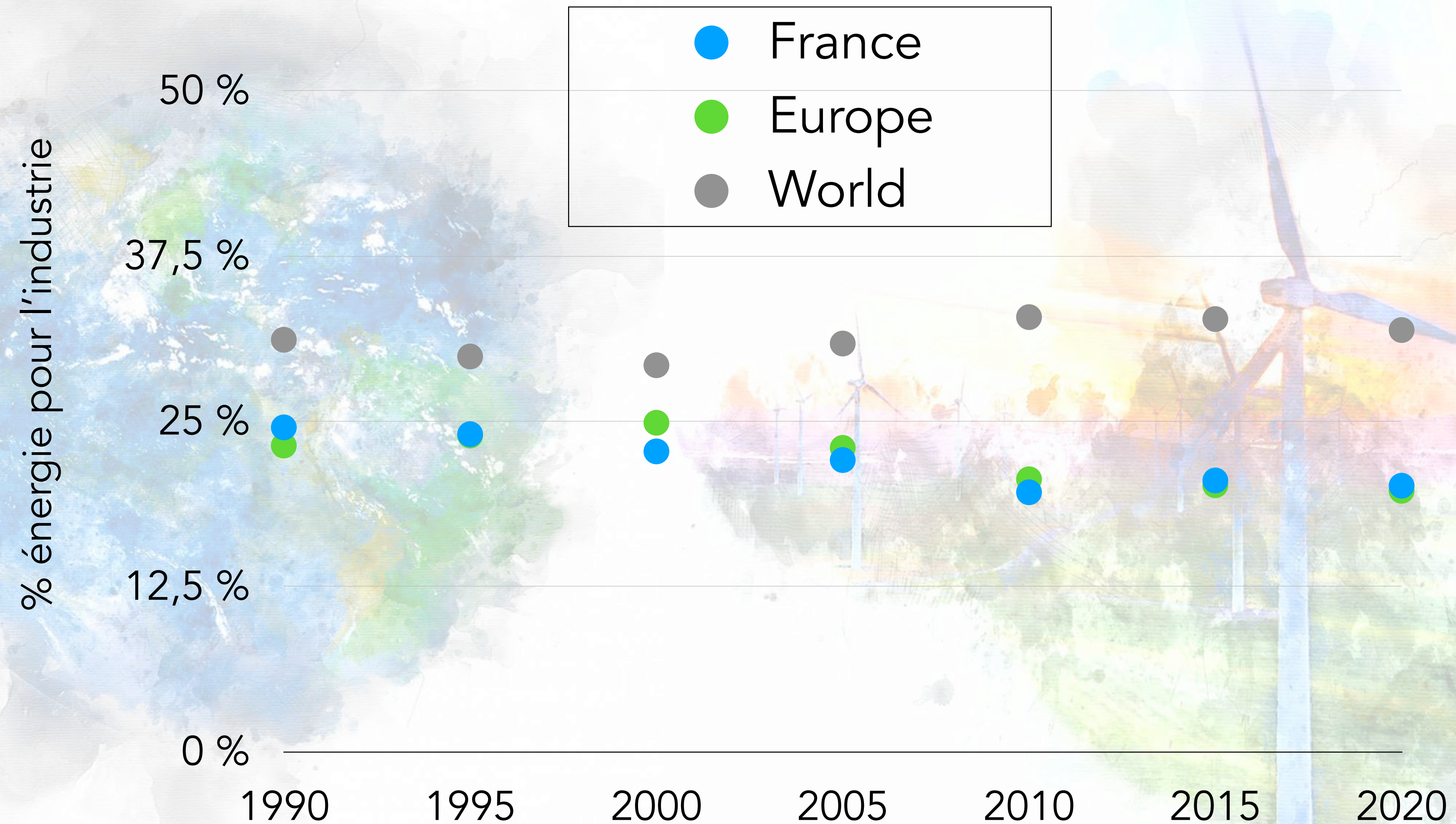
FINAL CONSUMPTION (2017)

Millions of tonnes of oil equivalent ▼



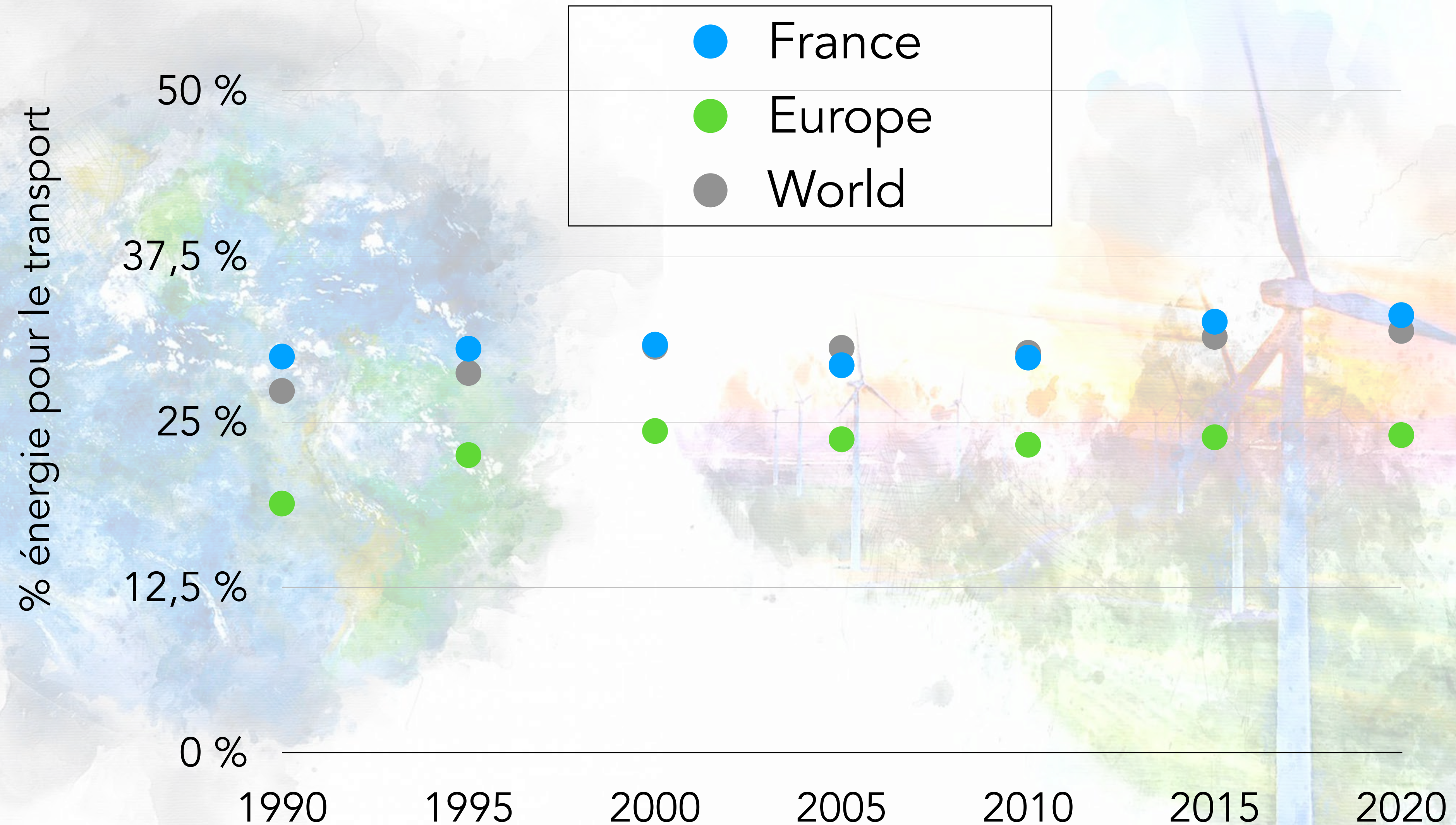
Quelques éléments d'analyse de l'utilisation énergétique

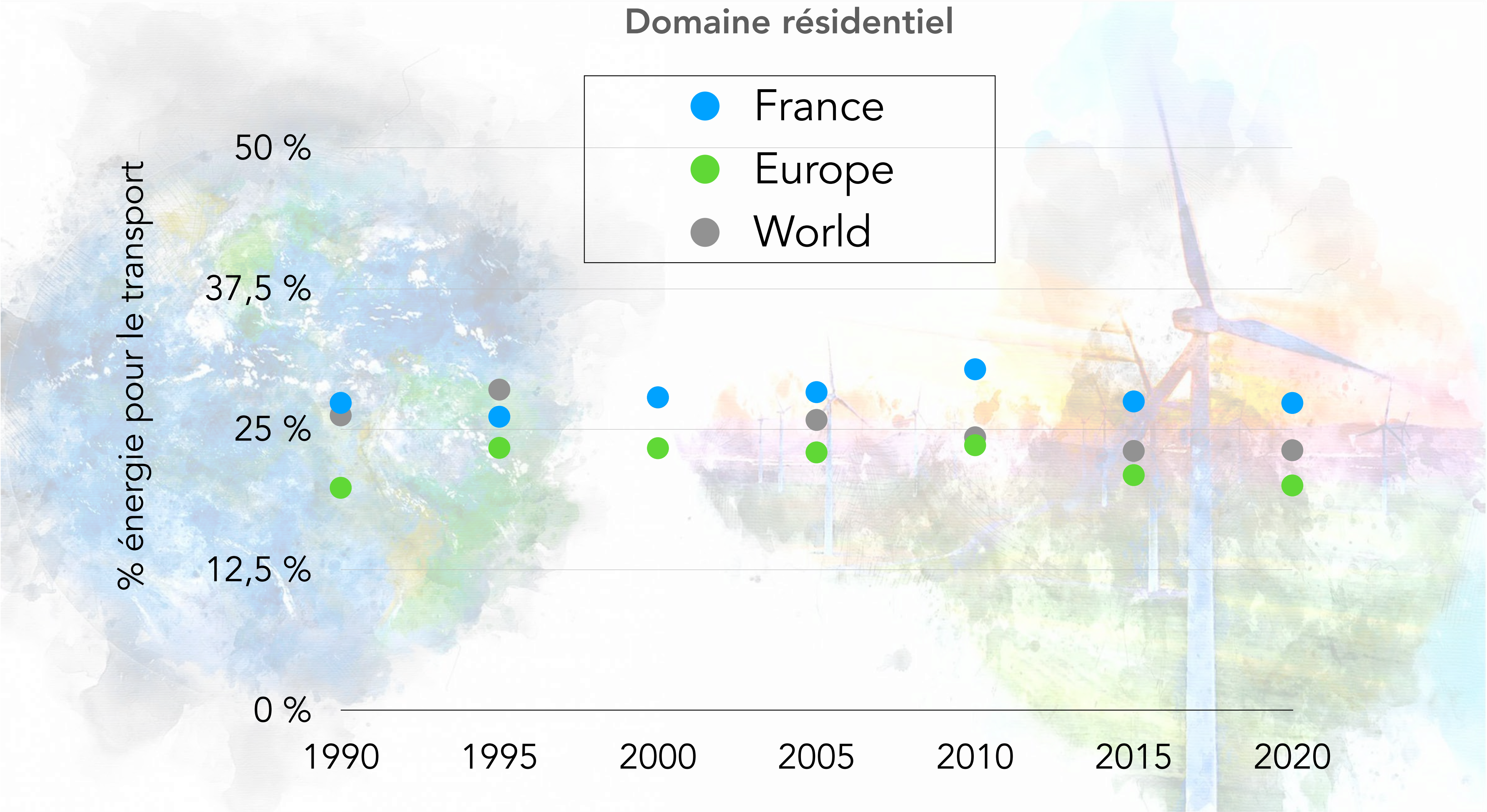
Domaine industriel



Quelques éléments d'analyse de l'utilisation énergétique

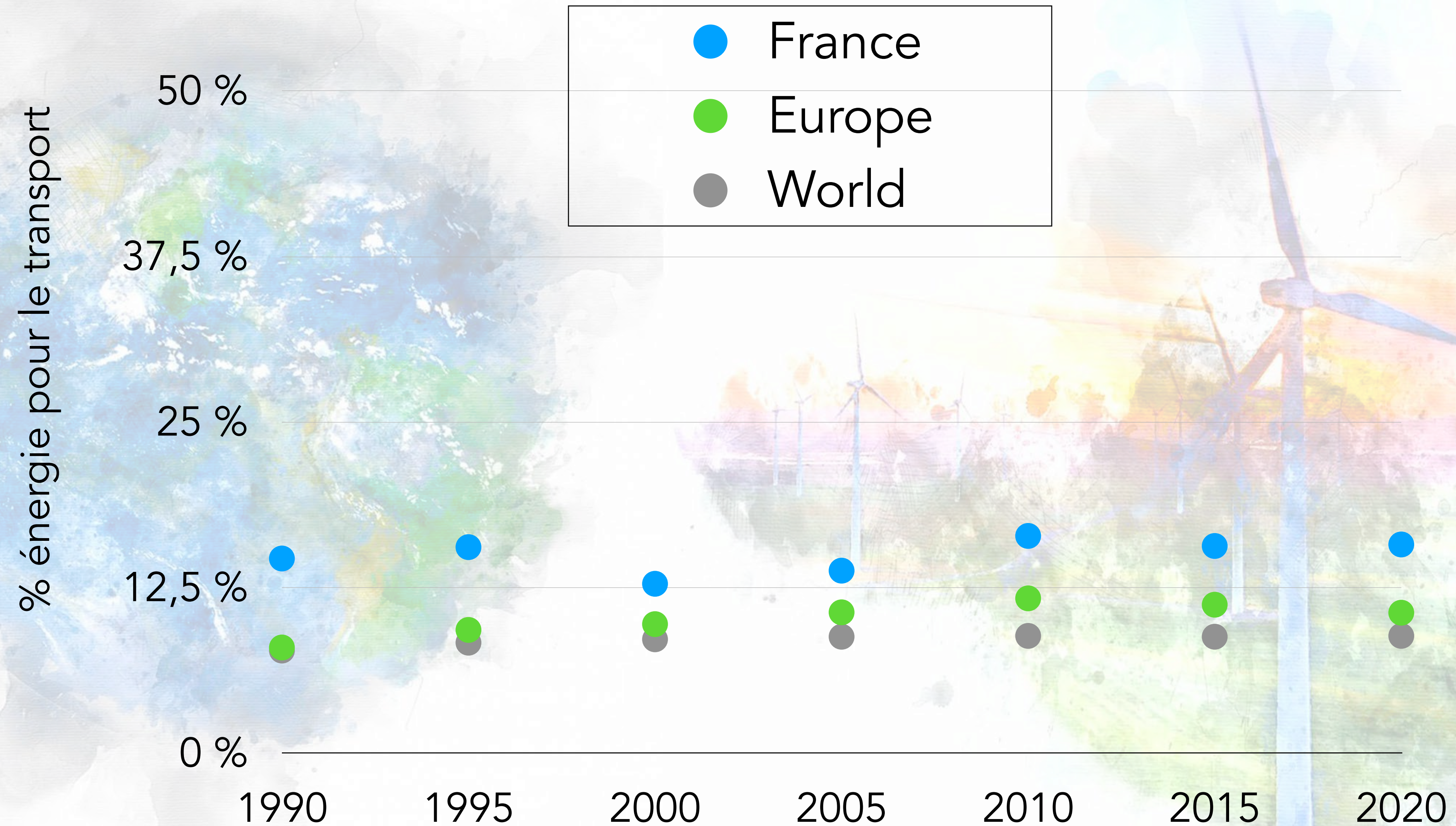
Domaine du transport





Quelques éléments d'analyse de l'utilisation énergétique

Domaine des commerces et services publics



Conclusions

Conclusions

Selon les circonstances, on utilisera différentes unités pour l'utilisation énergétique.

Il faut toujours bien regarder l'indicateur utilisé et sa pertinence.

Pour la suite du cours :

Lundi 24 octobre	Mardi 25 octobre	Mercredi 26 octobre	Jeudi 27 octobre 13h30	Jeudi 27 octobre 16h30
Mécanique des Fluides	Transferts thermiques	Thermodynamique I	Thermodynamique II	Etudes de cas au choix
Eolienne / hydrolien	Solaire / géothermie	Combustion	Nucléaire	

Pour ceux qui suivront ce cours

Pour la première séance (lundi 24 octobre)

1. Préparer l'évolution énergétique du pays de votre choix
2. Lors du début de la première séance, vous me l'envoyer et j'essaye de trouver le pays en question

<https://www.iea.org/statistics/>

FRANCE