

CM4

1. Pourquoi réaliser une comptabilité carbone (碳计算)?

1.1 Contexte (背景) et chiffres clés (关键数字)

mot

Hausse prévisible(预计) des températures

quota d'émission carbone 碳排放配额

la deuxième moitié du 21ème siècle. 下半世纪

l'inventaire national 国家清单

Temps de séjours(停留时间) des GES dans l'atmosphère

éternel 永久的

1.2 Neutralité carbone (碳中和)

Def: Séquestrer (绑架, 拘禁) autant de carbone que nous en émettons de manière à stabiliser(稳定) son niveau de concentration (集中, 浓度) dans l'atmosphère

Puits de carbone : Tout système qui absorbe plus de carbone qu'il n'en émet

Comment appliquer le concept de neutralité carbone ?

deux leviers:

- Réduire les émissions de GES
- Séquestrer le CO2 dans des puits biologiques ou technologiques

Neutralité carbone Plusieurs leviers



1.3 Stratégie bas carbone (低碳策略)

2. La comptabilité carbone : C'est quoi ?

2.1 Référentiels(基准) et principes

3 facteurs du climat

Énergie solaire,

Effet de serre

Circulations atmosphériques et océaniques

Une unité de mesure commune, l'équivalent CO2

Le **PRG** (Pouvoir de réchauffement global)

PRG représente l'effet combiné(综合影响) du temps de séjour du gaz dans l'atmosphère et son pouvoir (能力) relatif d'absorption du rayonnement (辐射) infrarouge (红外线), cumulé sur une durée de 100 ans.

bilans GES

Def: Un **Bilan GES** est une évaluation de la quantité de gaz à effet de serre émise (ou captée) dans l'atmosphère sur une année par les activités d'une organisation ou d'un territoire(地区).

Postes d'émissions

Classer les émissions comptabilisées dans des catégories prédéterminées appelées « postes »

Pourquoi calculer les émissions GES ?

Objectif principal:

Identifier les « postes » les plus émetteurs afin de déterminer les leviers d'actions pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

2.2 Méthodes

3. Stratégie bas carbone :Vers une trajectoire 1,5°C Cas d'une organisation

3.1 Evaluation des émissions GES

3.2 Emissions évitées

3.3 Développement d'une stratégie bas carbone

3.4 Mise en œuvre et suivi du plan d'action

3.5 Evaluation de la stratégie

4. Comment s'aligner sur une trajectoire compatible avec les 1,5°C ?

4.1 Equation de Kaya

4.2 Conclusion

CM7 objectif zéro

1 une problème complexe

1.1 médicament avec effet secondaire

Il y a quelques mois nous fêtons(fêter) le 6 ème anniversaire de l'accord de Paris. Si à certains égards(在某些方面) cet accord fut (etre 的虚拟式) un succès, force est de constater (观察到) que depuis très peu de progrès ont été accomplis et seule une pandémie mondiale est venue inverser la courbe des émissions de CO2. Pourquoi cela ? Pourquoi est-ce si dure (费劲的) de changer ? Pourquoi patinons nous dans cette course contre le réchauffement climatique ?

correction:

--les energie fossiles fournissent toujours environ 80% de l'approvisionnement mondiale d'energie primaire

--sans precedent croissance economique synonyme de progres humains

1.2 inertie(惯性)

--l'inertie de nos systemes

--nous avons appris à vivre avec les énergie fossiles.

--les remplacer necessitera de très lourd, couteux et profonds changement dans nos infrastructure et notre économie

1.3 dilemme du prisonnier(囚徒困境)

tout le monde veut sauver la planète mais personne ne veut pas descendre les poubelles

c'est quoi?

Un procureur détient deux complices d'un braquage dans des cellules séparées. Il n'a pas suffisamment de preuves pour les inculper et leur propose un

marché (交易) :

- Si l'un des deux accepte de témoigner contre l'autre il sera libéré et le complice ira en prison pour 10 ans
- Si chacun balance, c'est 6 ans pour les deux
- Si ils restent loyaux, le procureur ne pourra que les condamner pour un chef d'accusation mineur (6 mois de prison chacun).

Dilemme du prisonnier

		Bonnie	
		Se tait	Trahit
Clyde	Se tait	6 mois de prison <i>Récompense</i>	Libération <i>Tentation</i>
	Trahit	10 ans <i>Dindon de la farce</i>	6 ans <i>Punition</i>

Ex : le fainéant du groupe de TP qui travaille moins et qui obtient à la fin la même note que les autres

une variante: le problème du passager clandestin(freerider)

Dans un train, le passager clandestin, celui qui ne paie pas son billet, profite d'un service auquel il ne contribue pas. Pour le RC c'est pareil. Les pays qui ne feront pas d'effort de réduction des émissions de CO2 bénéficient de l'effort des autres pays. On a toujours intérêt, égoïstement, à être le dernier à passer à l'action. Et à l'inverse, un pays qui déciderait seul de faire des efforts ne récupérerait qu'une part marginale des bénéfices.

baisse des rendements (产量) agricoles = hausse des prix

montée du niveau de la mer = construction de digue

augmentation du nombre de canicules(酷暑) = climatisation

Beaucoup de dépenses contre la lutte = peu de dommage

peu de dépenses = beaucoup de dommage

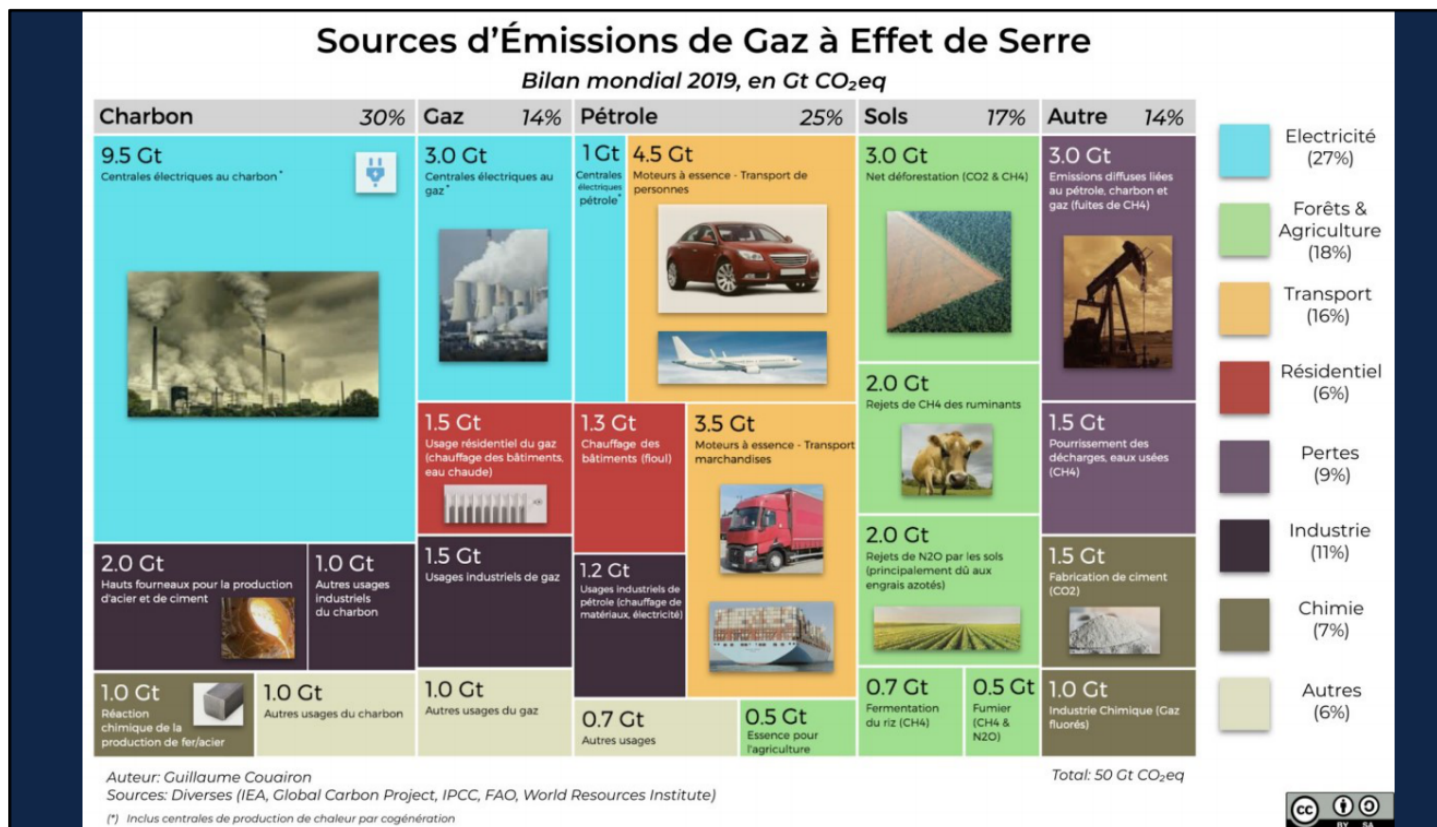
Il y a donc un optimum entre coût de la lutte contre le RC et coût des impacts du RC

Pour caricaturer mieux vaut-il vivre dans un monde à +2 °C pauvre ou un monde à +3 °C riche avec clim

Jusqu'à récemment le consensus semblait être assez haut (+3 °C)

Avec l'amélioration de la science climatique et la baisse du coût des ENR, l'optimum semble se déplacer vers le bas

1.4 pas de coupable idéal



complique != complexe

Jouer au golf c'est compliqué (le jonglage (杂技) est aussi un bon exemple). Acquérir le bon geste(姿势) peut prendre des années. Mais les règles et la stratégie sont relativement simples. Les échecs(国际象棋) sont tout le contraire. Déplacer un pièce est simple mais les règles sont complexes et les stratégies infinies. Le jeu est complexe. C'est la multiplicité des possibilités, des interactions, des combinaisons, des rétroactions (反馈) qui rend un problème complexe plus que compliqué.

Les enjeux énergétiques, environnementaux et climatiques sont complexes, les problèmes sont mal posés, difficile à simuler, il a des multiples solutions et aucune n'est parfaite. Il est même très difficile de dire qu'une solution est meilleure qu'une autre, ceci relevant souvent des préférences personnelles comme la politique (exemple : nucléaire vs renouvelables)

2 trajectoire bas carbone (低碳)

4 commandements de la neutralité carbone

1. Réduire ne suffit pas. Dans certains secteurs comme les transports ou le bâtiment il faudra quasiment intégralement stopper la combustion d'énergies fossiles ! D'autres secteurs au contraire seront très difficile à décarboner et donc ...

2. L'immense majorité des scénarios de transition énergétique s'appuient plus ou moins sur des émissions négatives
3. Il est possible de réduire très rapidement nos émissions ou les réduire moins vite mais il faudra alors compenser avec plus d'émissions négatives
4. Les émissions négatives sont faites par la main de l'homme. Ne pas confondre avec les puits naturels forcés qui ne comptent pas dans la neutralité carbone et cesseront d'être forcés et donc d'absorber une partie de nos émissions au fur et à mesure que la concentration de CO₂ baissera

Équation de Kaya

The diagram illustrates the Kaya equation on a dark blue background. The equation is written as $CO_2 = Pop \cdot \frac{PIB}{Pop} \cdot \frac{Energ}{PIB} \cdot \frac{CO_2}{Energ}$. Each term is enclosed in a yellow-outlined box. Arrows point from these boxes to their respective variables or units: Pop points to 'P', $\frac{PIB}{Pop}$ points to '\$', $\frac{Energ}{PIB}$ points to 'E', and $\frac{CO_2}{Energ}$ points to 'C'.

$$CO_2 = Pop \cdot \frac{PIB}{Pop} \cdot \frac{Energ}{PIB} \cdot \frac{CO_2}{Energ}$$

Variables and units indicated by arrows:

- Pop points to **P**
- $\frac{PIB}{Pop}$ points to **\$**
- $\frac{Energ}{PIB}$ points to **E**
- $\frac{CO_2}{Energ}$ points to **C**

$CO_2 = P \times S \times E \times C$ (Les termes ne sont pas indépendants)

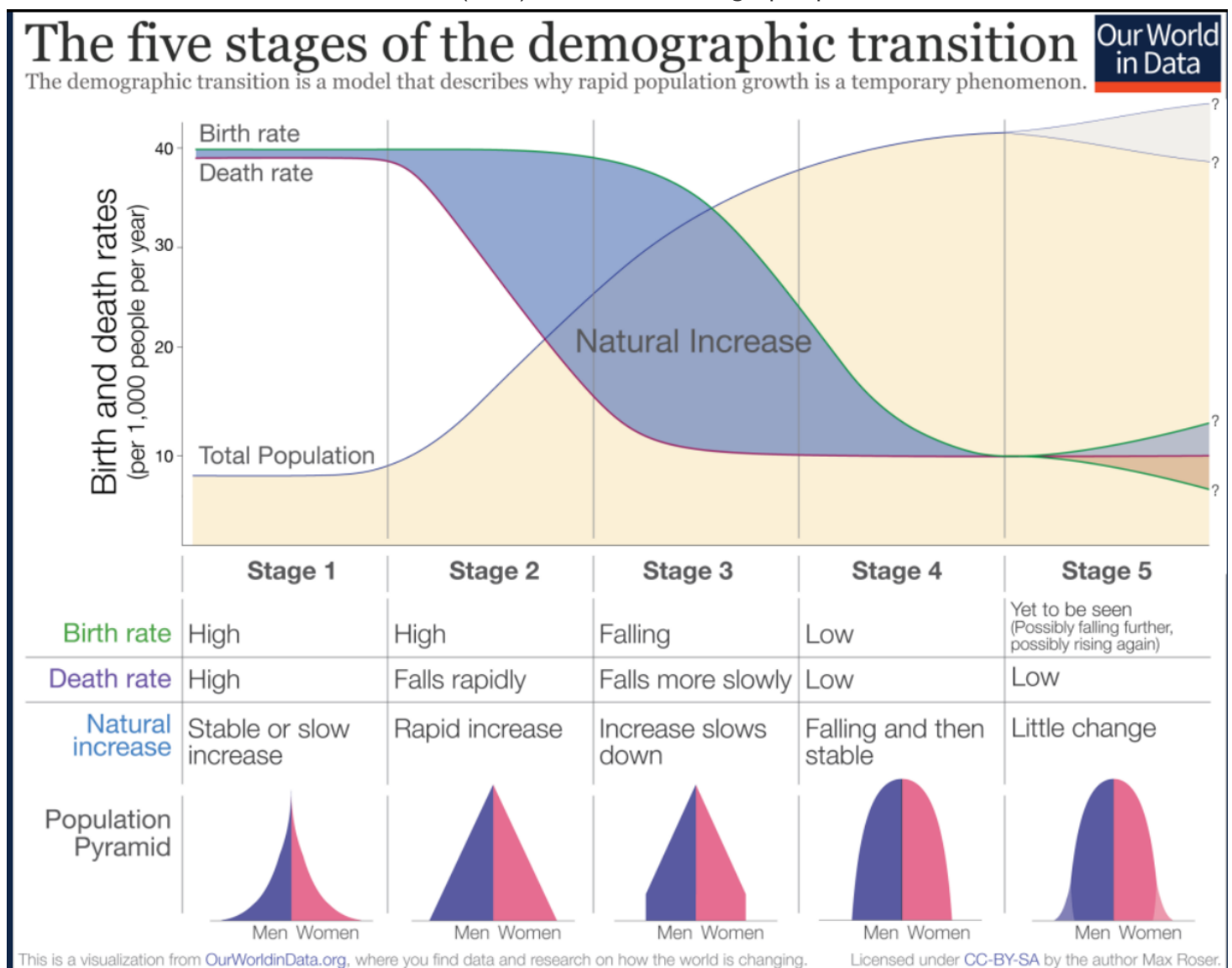
Mode de vie/politique/économie

$$CO_2 = P \times S \times E \times C$$

Technologie

Population

Baisse du taux de croissance **du à la** (由于): transition démographique (人口转型)



9,7 milliards en 2050 :

P x 1,24

s

S_{ervice} / S_{obriété}

Augmentation/baisse du niveau de
consommation par personne

Exemples

- 4R : Réduire, réparer, ré-utiliser, recycler
- Moins de viande (surtout le bœuf)
- Moins d'objets (vêtements, gadgets, etc.)
- Moins de déplacement (moins de km, moins vite) (surtout avion et voiture)
- Moins de voyages
- Moins de loisirs ?
- Moins de confort ? (chauffage)
- Moins d'hygiène (moins de douches, de déodorants, de parfum, de lessives) ?
- Moins de culture (livres, spectacles) ?
- *Attention à l'effet rebond !*

Attention il y a un effet rebond associé à la sobriété ! Faire des économies sur la viande, le chauffage ou la voiture incite à dépenser ces économies ailleurs ... (voyage, loisirs, restaurant ?)

Peut être utile pour donner l'exemple mais attention aux effets secondaires !

4R : Réduire, réparer, ré-utiliser, recycler

Croissance 3 % / an jusqu'en 2050 :

PIB $\times 2,3$

S x 1,8

Le terme S (PIB/hab) serait alors multiplié par qqch compris entre 3,5 et 7

Le PIB c'est la somme des revenus

E

Éfficacité

Énergétique

- Moins d'énergie pour le même service
- Plus on progresse plus il est difficile de progresser (low hanging fruits)
- E = Energy/PIB
- Le PIB mesure la valeur des choses ! Pas l'énergie
- E x 0,4 à 0,7

P x 1,24

S x 1,8

E x 0,4 à 0,7

Energ x 0,9 à 1,6

Réduire ne suffit pas! Il faut arriver à ~ 0

C

--contenu(含量) CO2 de l'énergie. Seul terme qui pourrait s'annuler.

La combinaison des trois premiers facteurs pourrait, par miracle(奇迹), être inférieure à 1 (*être inférieur à... 比.....低*), mais aucun des termes ne pourra tomber à zéro.

En effet, comme Kaya est une multiplication, il suffit qu'un seul des termes s'annule pour que tout s'annule.

découplage: chaque nouvelle unité de richesse produite, l'humanité consomme moins d'énergie.

Kaya du bâtiment

- Kaya du chauffage

$$\text{CO}_2 = \text{Résidents} \cdot \frac{\text{m}^2 \text{ chauffés}}{\text{Résidents}} \cdot \frac{\text{Energ}}{\text{m}^2 \text{ chauffés}} \cdot \frac{\text{CO}_2}{\text{Energ}}$$

- Kaya de la construction

$$\text{CO}_2 = \text{Logements} \cdot \frac{\text{Ton matériaux}}{\text{Logements}} \cdot \frac{\text{Energ}}{\text{Ton}} \cdot \frac{\text{CO}_2}{\text{Energ}}$$

Kaya du transport

- Kaya du transport de passagers

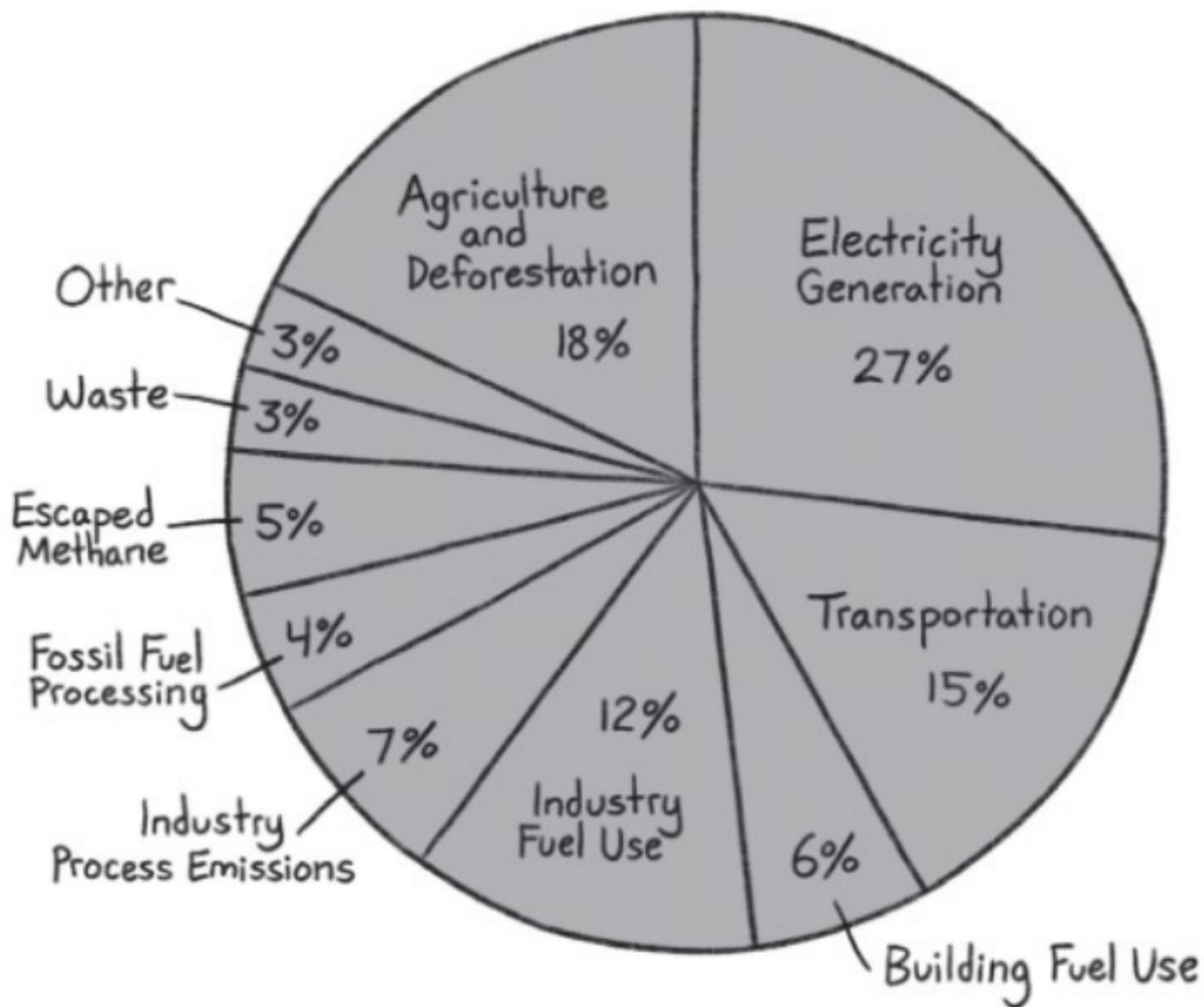
$$\text{CO}_2 = \text{Passagers} \cdot \frac{\text{km}}{\text{Pass}} \cdot \frac{\text{Energ}}{\text{km}} \cdot \frac{\text{CO}_2}{\text{Energ}}$$

- Kaya du transport de marchandises

$$\text{CO}_2 = \text{Tonnes} \cdot \frac{\text{km}}{\text{Ton}} \cdot \frac{\text{Energ}}{\text{km}} \cdot \frac{\text{CO}_2}{\text{Energ}}$$

3. Les 8 piliers(支柱) de la transition(转型)

GLOBAL SOURCES OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS



global sources of GES

右边三个通常是被注意到的，左边除了 industry fuel use，通常被忽略

--Il n'y a aucun coupable idéal, aucune cause majeure.

Viser la suppression plutôt que la réduction (Réduire ne suffit pas)

--Baisser la consommation des moteurs(发动机) à combustion n'est que retarder l'échéance (期限)

--Adapter les moteurs à combustion pour qu'ils brûlent des carburants propres(清洁材料) est une solution à 100 %

Critères pour évaluer si une solution est bonne :

- Prix
- Échelle

- Nombre de personnes impliquées
- Mode de vie
- Solution 10 ou 100 %

8 piliers

(Il n'est pas nécessaire de procéder(进行) de manière séquentielle.)

1. Maîtrise (控制) des consommations

Sobriété + efficacité énergétique

- Sobriété : potentiel faible
- Efficacité énergétique : fort potentiel (électrification)

Les deux sont essentiels

Bonne efficacité économique

Réduit investissement énergie décarbonée, émissions négatives

2. Électricité propre(清洁能源)

--La génération d'électricité est aussi le poste le plus facile à décarboner : c'est donc notre premier pilier

--Renouvelables

--hydroélectrique

- Bas carbone
 - Pas cher à exploiter
 - Sûr
 - Renouvelable
 - Stockage
 - Pilotable
 - Centralisée
- mais
- Couteux à construire / matériaux
 - Biodiversité
 - Espace
 - Méthane ?

--Solaire

- Bas carbone
- Pas cher à exploiter
- Sûr
- Renouvelable

- Facile à déployer
- mais
- Non pilotable (不可控) / Intermittent (间断的)
- Matériaux
- Espace
- Décentralisée

--Éolien

--Biomasse

--Nucléaire

Brown coal = lignite (褐煤) : charbon de mauvaise qualité

Equilibre du réseau

Def: L'électricité ne se stocke pas, Si bien que pour ne pas faire exploser le réseau, « les électrons produits doivent être consommés aussi tôt ».

"La production d'électricité doit toujours **être égale à** la consommation sous peine de coupures voir de black out.

Cette tâche cruciale de suivie de charge est assurée en France par **RTE**, le gestionnaire du réseau électrique. A l'aide des prévisions météo et de profils de consommation étonnamment régulier, RTE est capable de prédire quelle sera la consommation électrique du lendemain."

3. Électrification (电气化)

--les voitures élec sont meilleures pour l'environnement que les voitures thermiques (y compris hybride)

Mais l'électrification c'est bien plus que la voiture.

Les *équivalents électriques* (电动同类产品) sont souvent plus chers à l'achat et moins chers à l'usage. Ils ont besoin d'être subventionné (补贴) .

Les subventions et les gens qui acceptent de payer plus cher donnent une **indication** (指示) au marché qui se met alors à en produire plus. En produisant plus on devient meilleur à la production et les coûts de fabrication baissent, **entraînant** (带动) une baisse du coût d'achat et donc une hausse de la demande, etc.

Cercle vertueux.

Mais les équivalents électriques seront rarement intéressants au point de jeter une machine thermique encore fonctionnelle.

4. Carburant (燃料) de synthèse (合成)

Hydrogène 氢气->Ammoniac 氨水

5. Solutions pour émissions non liées à de la combustion

1/3 des émissions sont liées à des processus n'impliquant pas de production d'énergie

Production de ciment

Deux sources de CO₂

1. Énergie fossile pour chauffer le four
2. La décarbonatation du calcaire pendant la phase de pré-calcination dans le four :
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Production d'acier

Deux sources de CO₂ :

1. Énergie fossile pour chauffer le four
2. CO₂ du à l'utilisation de charbon pour faire l'acier

AFOLU : Agriculture, Forestry, and Other Land Use

6. Capturer et stocker

CCS

En anglais : carbone capture and storage, adapté pour le stockage de sources ponctuelles

En français : Séquestration géologique de CO₂

Carbone Dioxyde Removal (CDR)

les techniques visant à retirer le CO₂ atmosphérique

P190看到

7. Adaptation

8. Géo-ingénierie

TD

重要公式：

$$1\text{tep} = 11630 \text{ kWh}$$

$$1\text{Wh} = 1\text{W} * 3600\text{s} = 3600 \text{ J} \quad (w = \text{J/s})$$

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ Calorie} = 4.18 \text{ J}$$

$$1 \text{ kCal} = 4184 \text{ J}$$

电池功率 (Wh) = 电池电压 (V) x 电池容量 (Ah)

$$W = V * A = \text{J/s}$$

energie(J) -> puissance moyenne($W = J/s$) -> puissance moyenne surfacique(W/m^2)

puissance moyenne (W) = puissance installée * facteur de charge

puissance moyenne surfacique(W/m^2) = puissance moyenne / surface (W/m^2)

production annuelle(TWh)

puissance moyenne(MW) = production annuelle / (365*24)

puissance moyenne surfacique(W) = puissance moyenne / surface