



ENVIRONNEMENT & DEVELOPPEMENT DURABLE

Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Environnement et développement durable ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres à l'intervention orale de l'auteur.

L'équation de Kaya

Sébastien MENECIER

Maître de Conférences – Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand

Je vais vous parler de l'équation de KAYA. Cette équation porte le nom de Yoishi KAYA, un économiste japonais qui dans les années 90 a voulu identifier les paramètres qui sont déterminants pour les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et notamment le dioxyde de carbone.

1. L'équation

Yoishi KAYA part d'un constat très simple mathématiquement : les émanations de CO₂ égalent les émanations de CO₂. C'est donc une égalité très simple. Là où c'est astucieux, c'est qu'il va diviser et multiplier le membre de droite par un même terme pour conserver l'égalité et faire apparaître des nouveaux paramètres sous forme de rapports. Il divise le terme de droite déjà par le premier paramètre : tonne équivalent pétrole (Tep) et remultiplie par Tep.

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

La tonne équivalent pétrole, c'est une unité d'énergie qui sert généralement à comparer les processus de création de production d'énergie. En faisant ça, il va créer un paramètre, un nouveau paramètre qui est le rapport de CO₂/Tep. Puis il va faire ça plusieurs fois jusqu'à

avoir à la fin quatre paramètres principaux. On verra à quoi correspondent ces paramètres à la fin de l'équation. On va multiplier et diviser par le PIB. Le PIB représente le produit intérieur brut du pays qu'on va étudier. C'est quelque chose qui représente la richesse d'un pays. On peut l'exprimer par exemple en dollars. Le dernier terme est la population. On divise et on remultiplie donc par la population, qui est un nombre d'habitants. En faisant ça, là on a fini de montrer l'équation de KAYA, on voit apparaître quatre termes. Et on a toujours bien sur l'égalité qui est conservée.

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{Tep}} \frac{\text{Tep}}{\text{PIB}} \frac{\text{PIB}}{\text{Pop}} \text{Pop}$$

2. Les termes

Le premier terme est un nouveau paramètre. C'est CO_2/Tep . Si on lui donnait une unité, ça pourrait être des kilogrammes ou des tonnes d'émission de CO_2 dans l'atmosphère par tonne équivalent pétrole, par joules. Qu'est-ce que ça représente ? Ça représente le taux d'émission de gaz à effet de serre qui va être émis dans l'atmosphère quand on va dépenser de l'énergie. C'est ce qu'on peut appeler de la nuisance de l'énergie. Le deuxième terme, Tep/PIB , est donc une énergie par PIB. On pourrait lui donner l'unité Tep/dollar. C'est l'énergie qu'il faut dépenser pour assurer et garantir la richesse d'un pays. Ça peut être la richesse pure ou le confort ou les services du pays. Le troisième est $\text{PIB} / \text{population}$. Ça peut être des dollars par habitant, ce qui représenterait le pouvoir d'achat. Le dernier terme, qui n'est pas un rapport, est la population. On a donc quatre termes différents dans cette équation de KAYA qui est intéressante parce qu'elle mêle en fait plusieurs domaines : l'économie (par exemple le pouvoir d'achat), la démographie de la population, l'énergie et la thermodynamique, et l'intensité énergétique.

3. Utilisation

Comment va-t-on l'utiliser ? Comment peut-on s'en servir ? On sait que pour 2050, si on veut limiter le réchauffement climatique à 2 °C, il va falloir diviser par 3 les émissions de CO_2 dans l'atmosphère. On peut se servir de l'équation de KAYA pour voir sur quels paramètres on va pouvoir jouer pour diviser ce taux de CO_2 . On doit diviser tous ces termes par trois.

Pour la population, il semblerait inconcevable de la diviser. On pourrait avoir une politique de contrôle de la natalité, il peut arriver aussi des catastrophes ou des guerres ou des épidémies mais bon c'est quelque chose qui n'est pas concevable. Au contraire, on sait plutôt que la population, d'ici 2040, va être multipliée par un facteur 1,6. Il va donc falloir reporter cette augmentation de 1,6 sur les autres facteurs qui restent. $3 \times 1,6$ faisant environ 5, il faudra diviser les membres par un facteur 5.

Concernant le pouvoir d'achat, si on vous dit de le diviser par 5 dans les années à venir, on se doute bien que ce sera une décision très impopulaire. Au contraire, la population en

général revendique une augmentation du pouvoir d'achat de 2 % par an. Ce qui veut dire une multiplication de 2,2 en 40 ans.

On a encore un paramètre qui, au lieu de diminuer, va augmenter. Avec toutes les augmentations qu'on a vues précédemment, ça veut dire que les deux paramètres qui restent, la nuisance de l'énergie puis l'intensité énergétique, devront être divisés par un facteur d'environ 10 pour arriver à nos objectifs. Si on regarde, historiquement, on voit que la nuisance de l'énergie depuis les années 1970 stagne. L'intensité énergétique, elle, a baissé un petit peu depuis les années 70, puis elle stagne aussi depuis quelques dizaines d'années. Alors comment réduire ces deux paramètres ? Si on veut réduire ces deux paramètres d'un facteur 10, ça veut dire chaque paramètre d'environ un facteur 3.

Voici l'inflexion qu'il faudrait donner à ces courbes d'ici 2050. On voit qu'on n'est pas du tout dans cette dynamique-là. Pour diminuer la nuisance de l'énergie, c'est-à-dire le CO₂/Tep, il faut changer le mix énergétique, c'est-à-dire avoir une énergie qui soit moins carbonée. C'est tout ce qu'on commence à faire sur le développement des énergies dites vertes et renouvelables. Le dernier paramètre « intensité énergétique » pourra être amélioré soit en améliorant les rendements des procédés énergétiques, soit en développant les notions de sobriété énergétique.