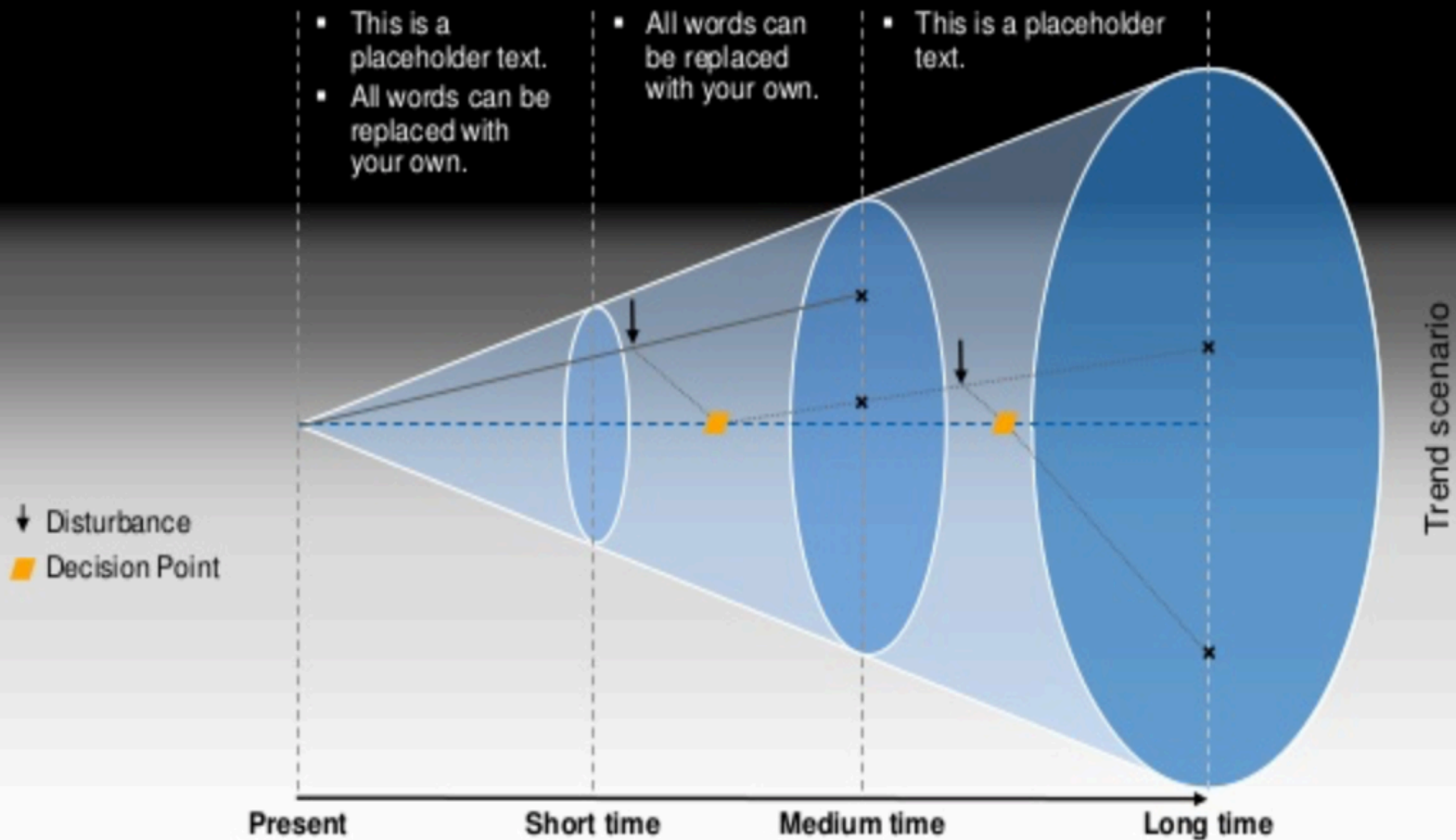


QUE FAIRE ?
PROBLEMES ET REponses

Prospective et scénarios

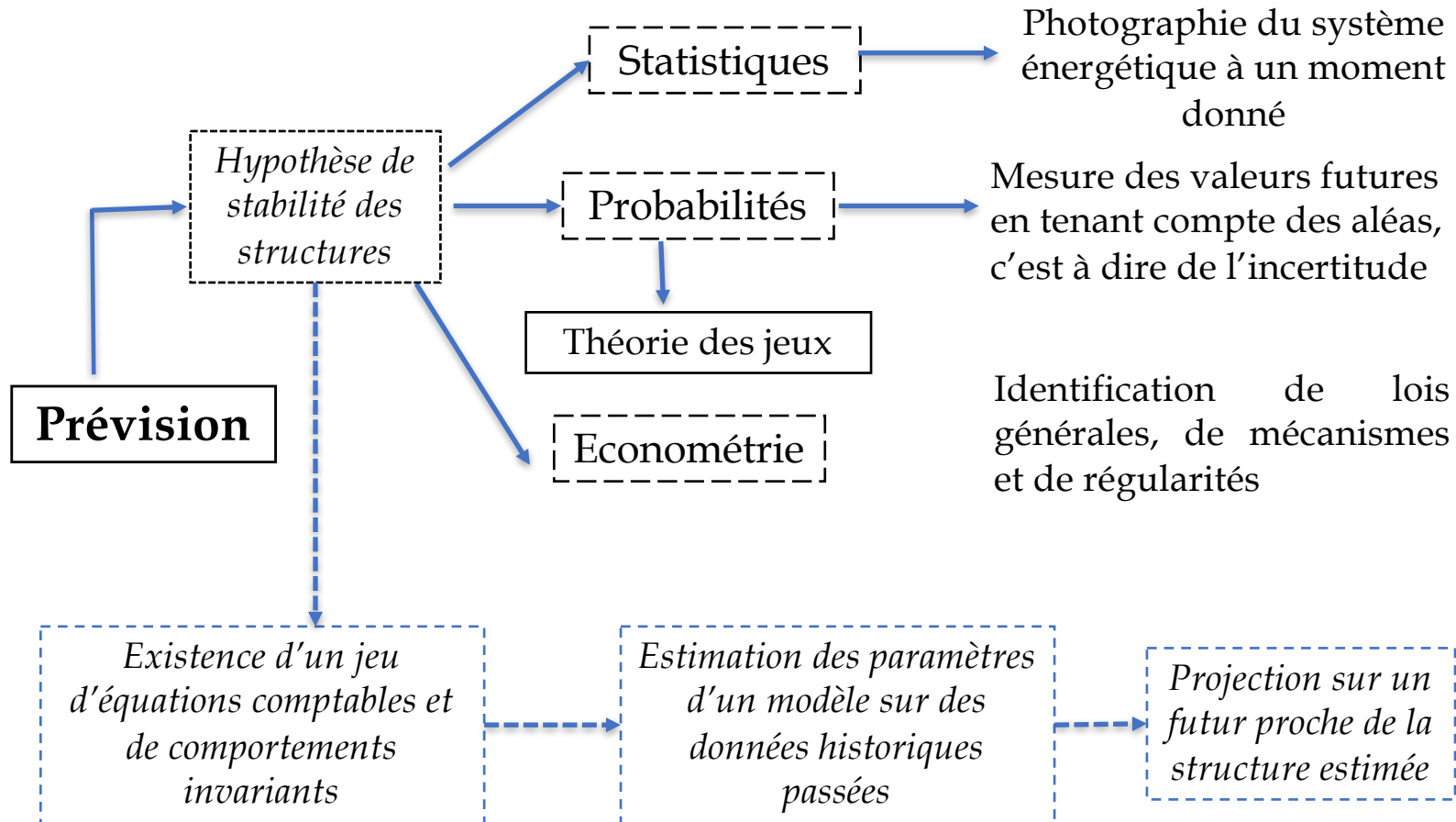
Scenario Analysis

Future prospects



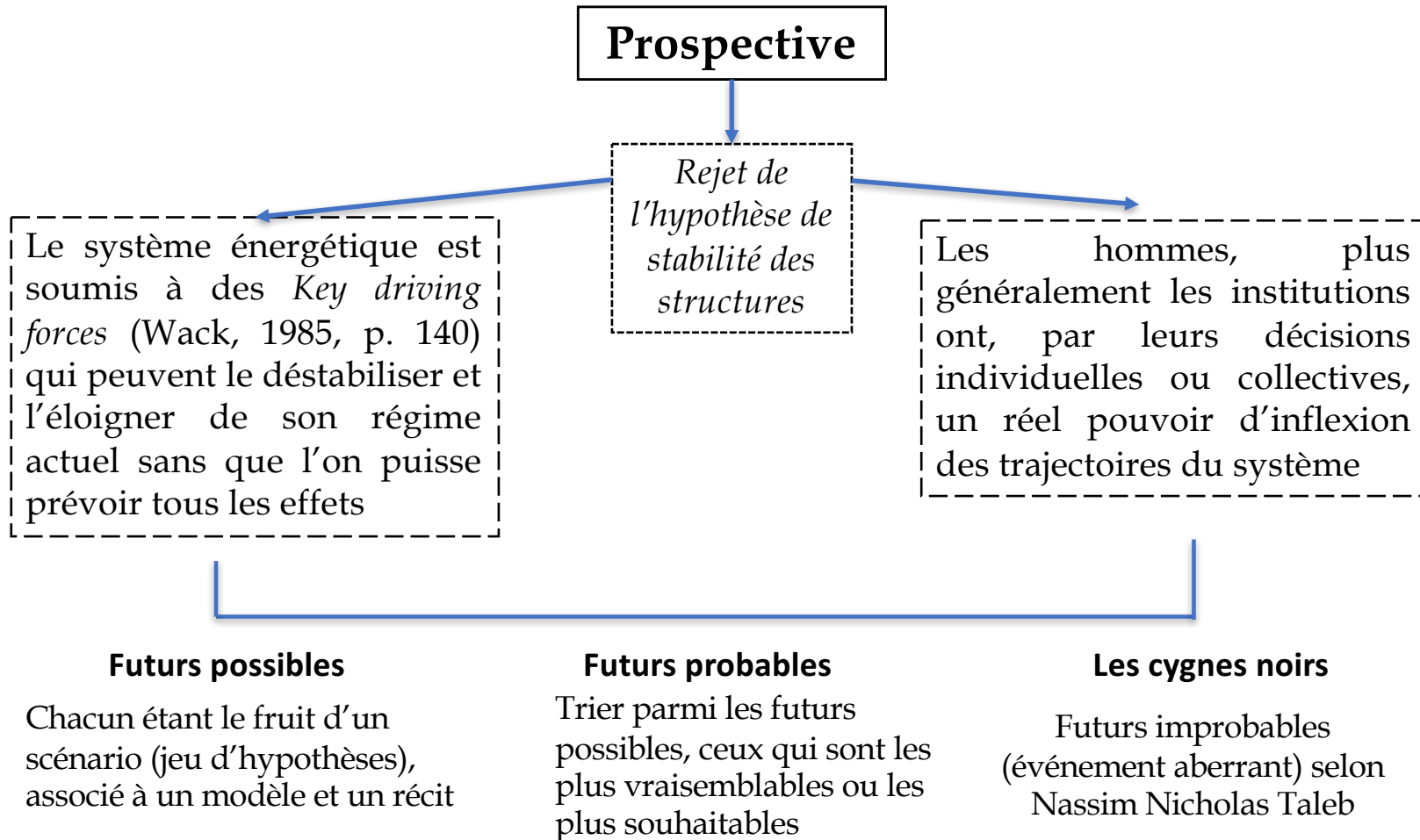
PREVISIONS, PROSPECTIVE ET SCENARIOS (1)

DIFFERENTES MANIERES DE PREDIRE L'AVENIR SANS NIER L'INCERTITUDE

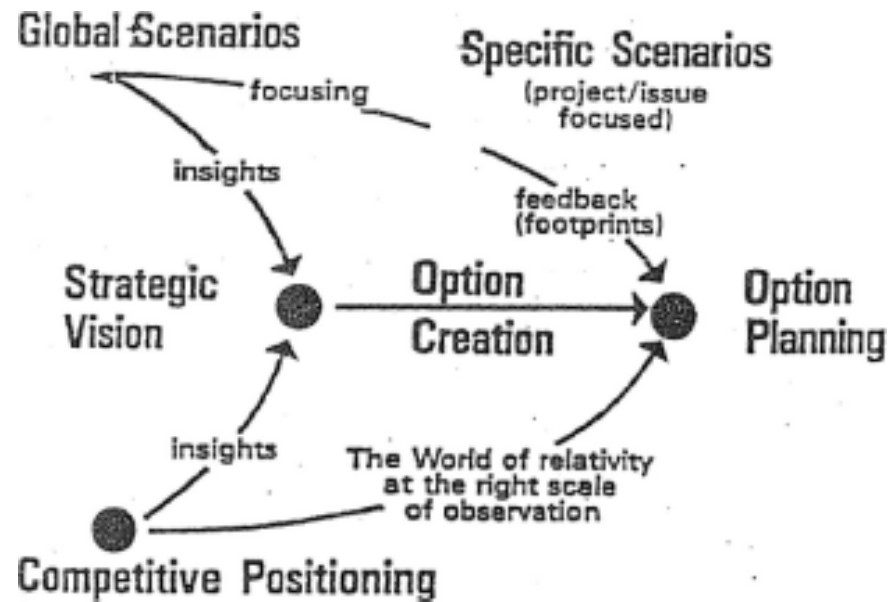
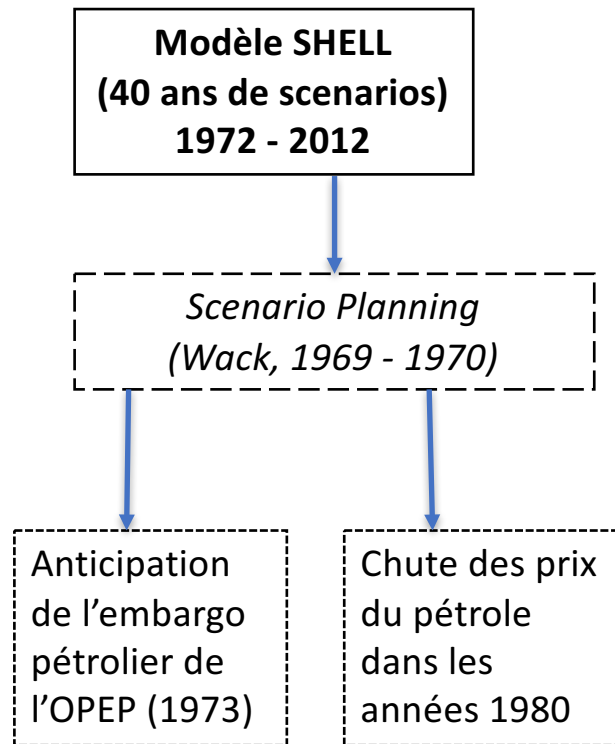


PREVISIONS, PROSPECTIVE ET SCENARIOS (2)

DIFFERENTES MANIERES DE PREDIRE L'AVENIR SANS NIER L'INCERTITUDE

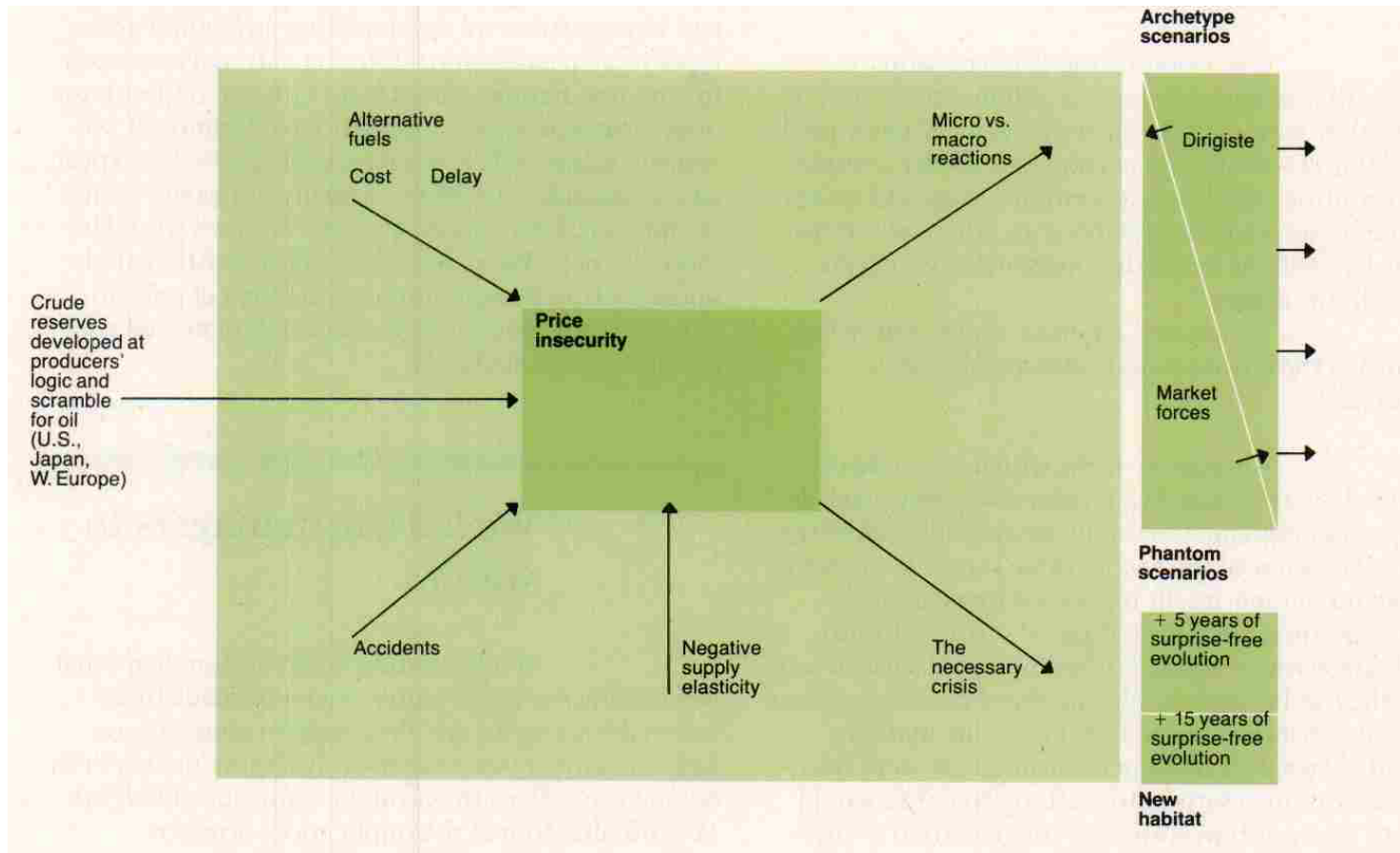


NAISSANCE DES SCENARIOS ENERGETIQUES



Source : Wack (1984, p. 93)

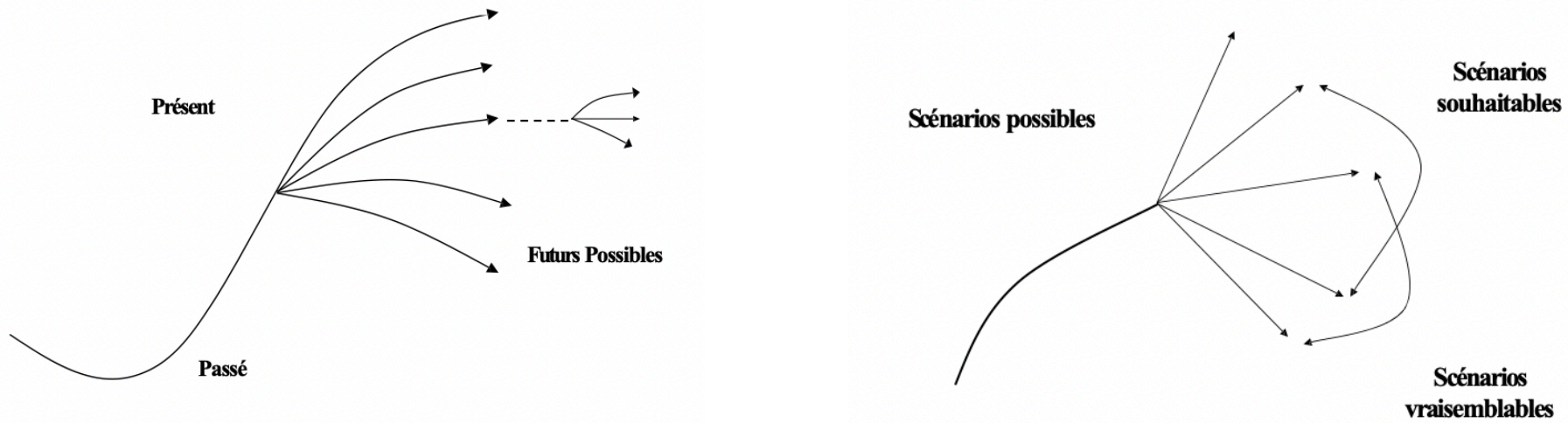
Scenario Planning, New Worldview



Source : Wack P. (1985), « Scenarios Uncharted Water Ahead », *Harvard Business Review*, September - October, p. 87

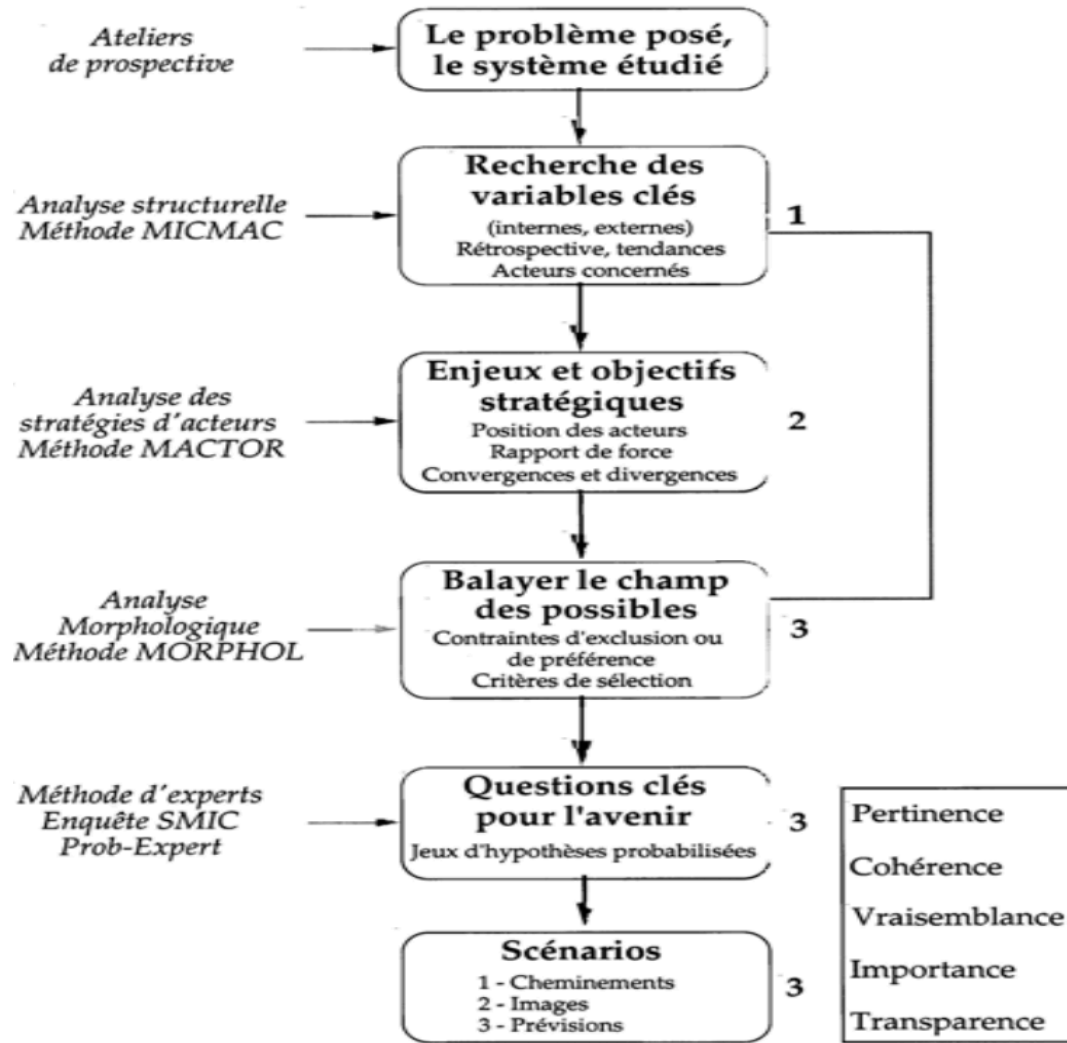
La prospective

Figure : Scénarios possibles, souhaitables et vrais

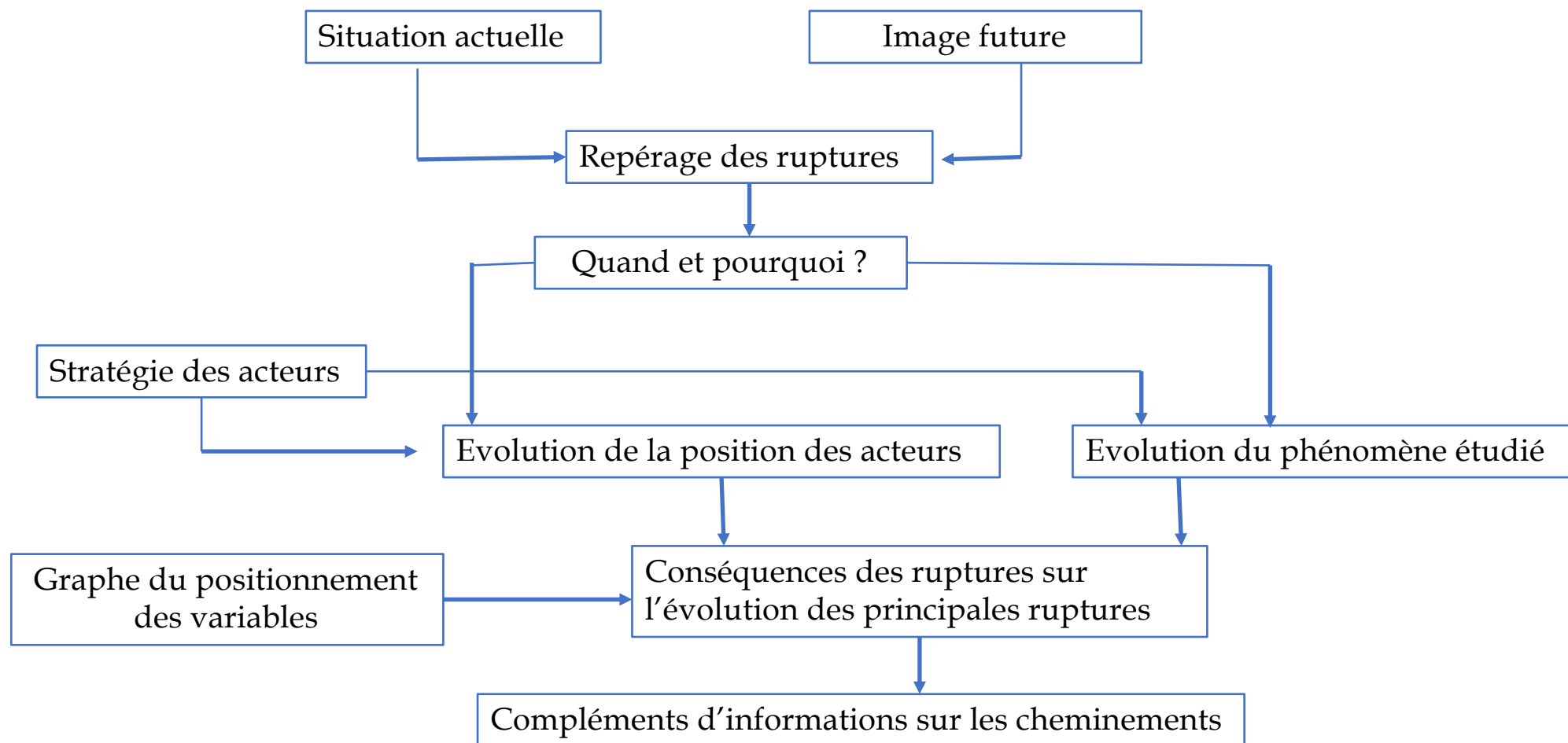


Source : Godet (1977, 1994)

Méthode des scénarios

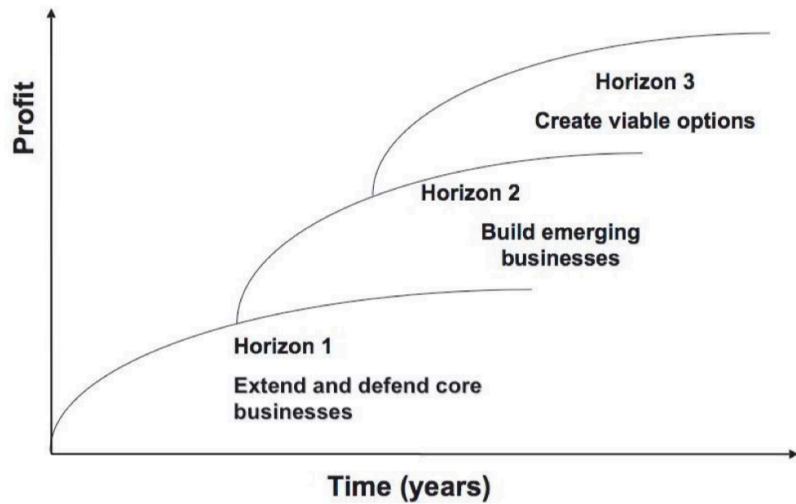


Construction des scénarios des images au cheminement



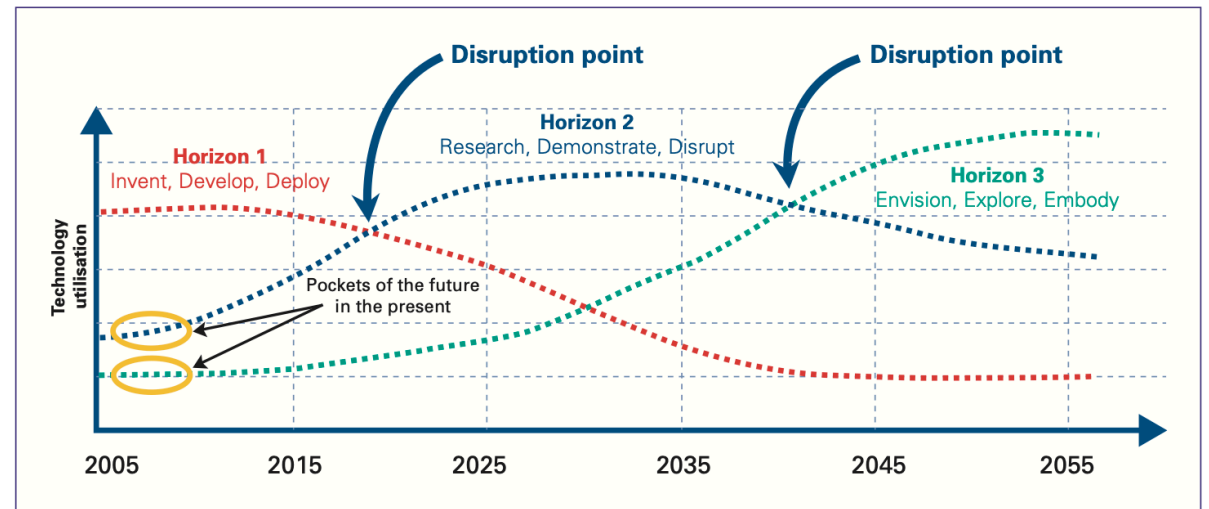
Les Three Horizons

Figure: Le modèle Three Horizons



Source : Mehrdad, Coley & White (1999)

Figure : Three Horizons pour anticiper les développements technologiques



Source : Sharpe & Hodgson (2006, p. 3)

Figure : Three Horizons and Energy Security

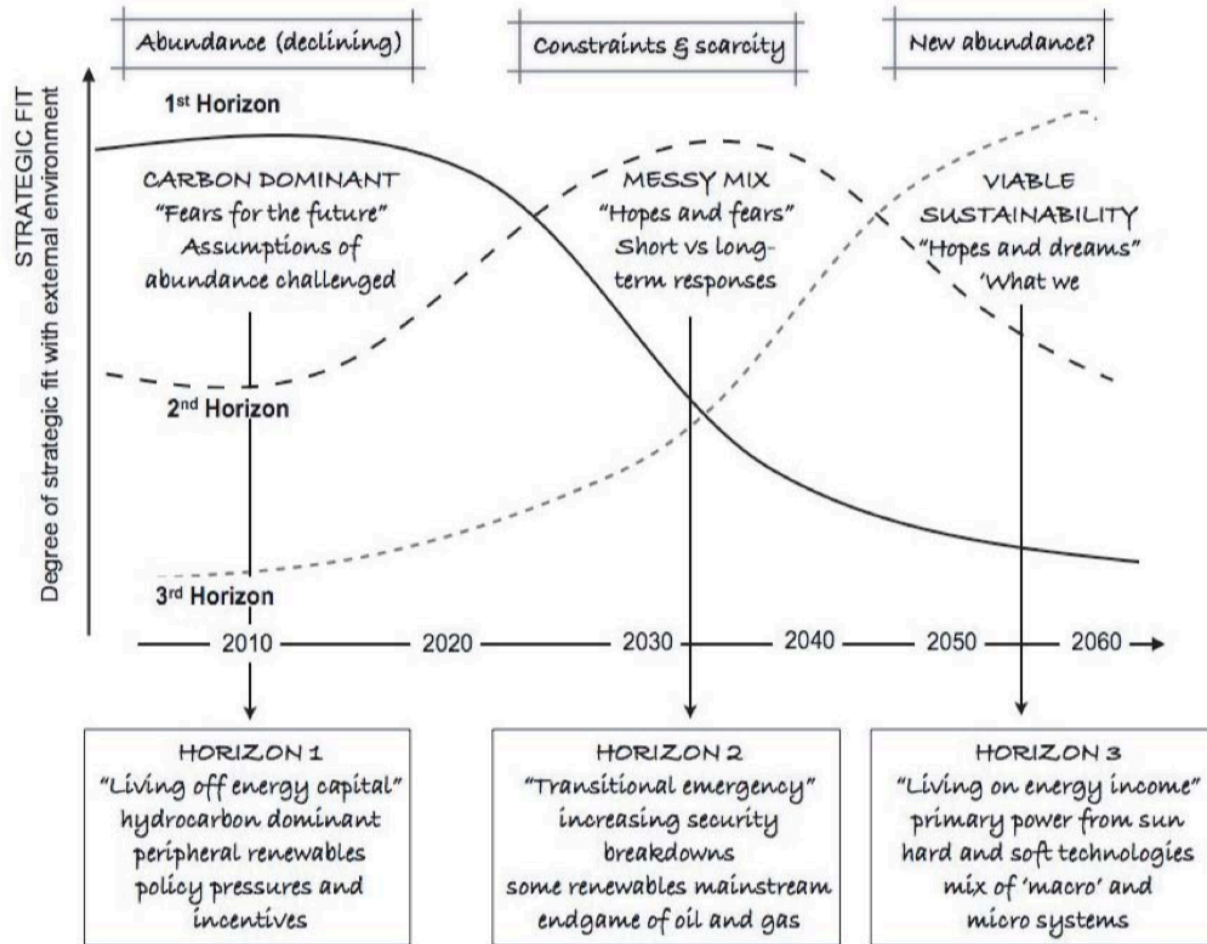
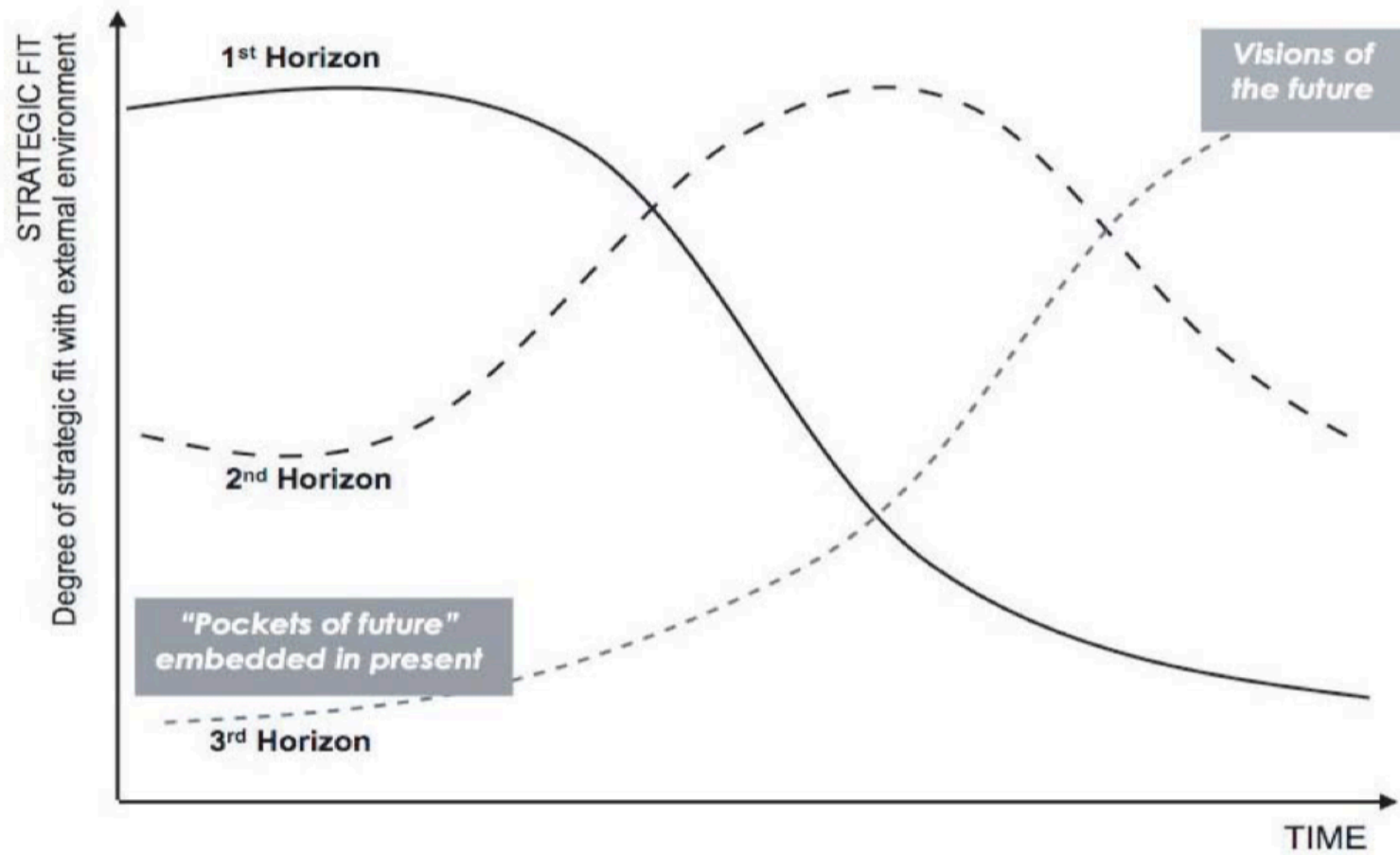


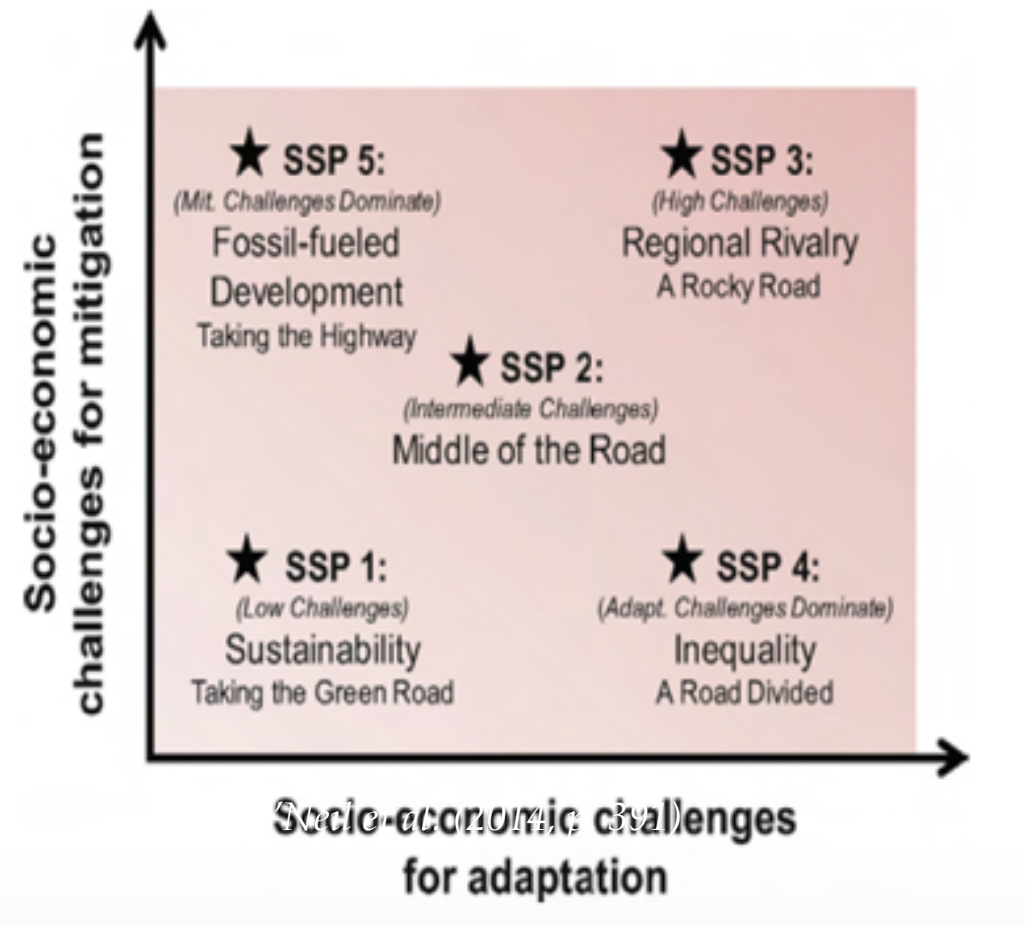
Figure : Le futur via l'approche des Three Horizons

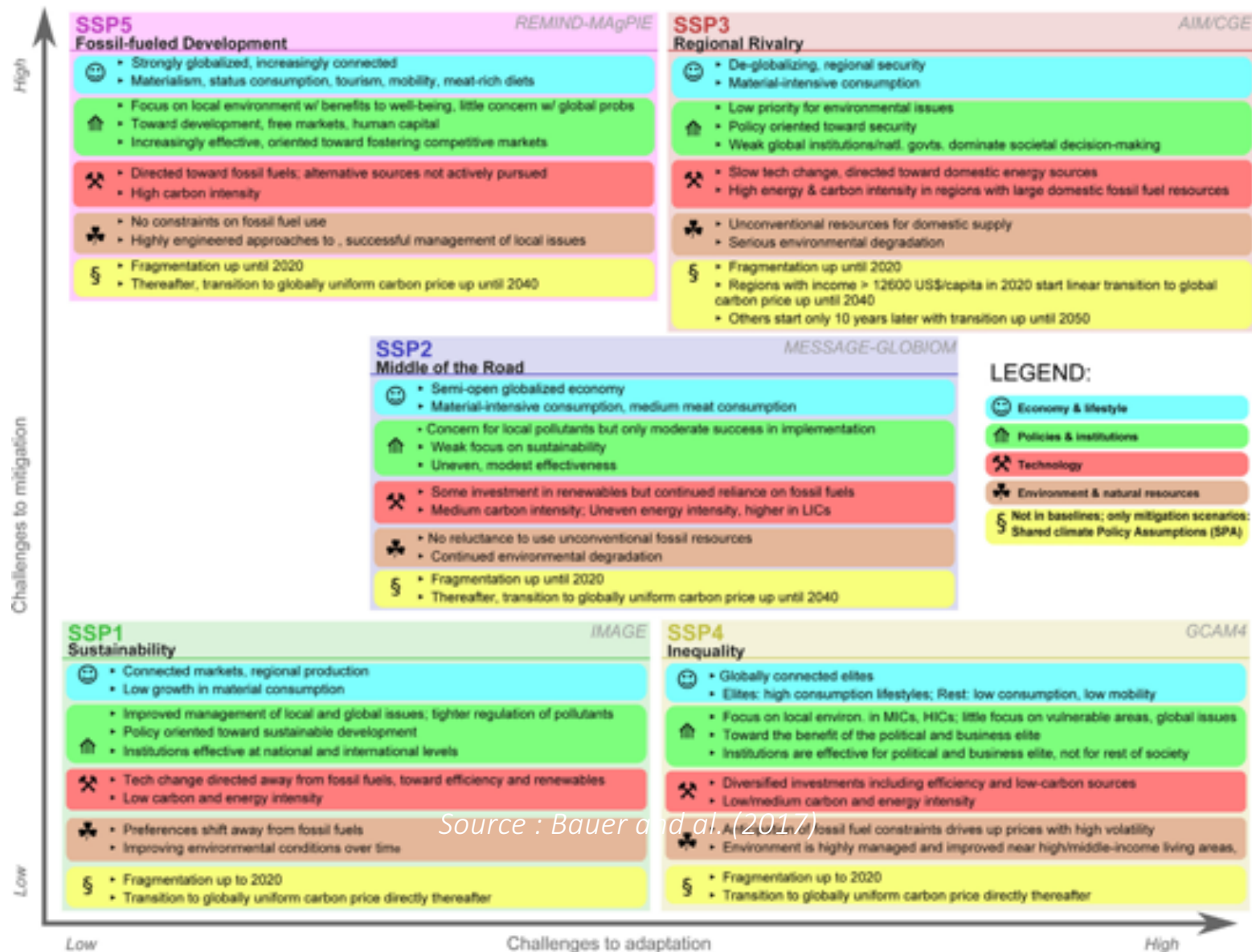


Les Narrative for Shared Socioeconomic Pathways

Les Shared Socioeconomic Pathways (SSP) sont définis comme " *des voies de référence décrivant des tendances alternatives plausibles dans l'évolution de la société et des écosystèmes sur une échelle de temps d'un siècle, en l'absence de changement climatique ou de politiques climatiques* " (O'Neill, 2014, p. 387).

Figure : Les trajectoires socio économiques partagées appliquées au couple climat - énergie





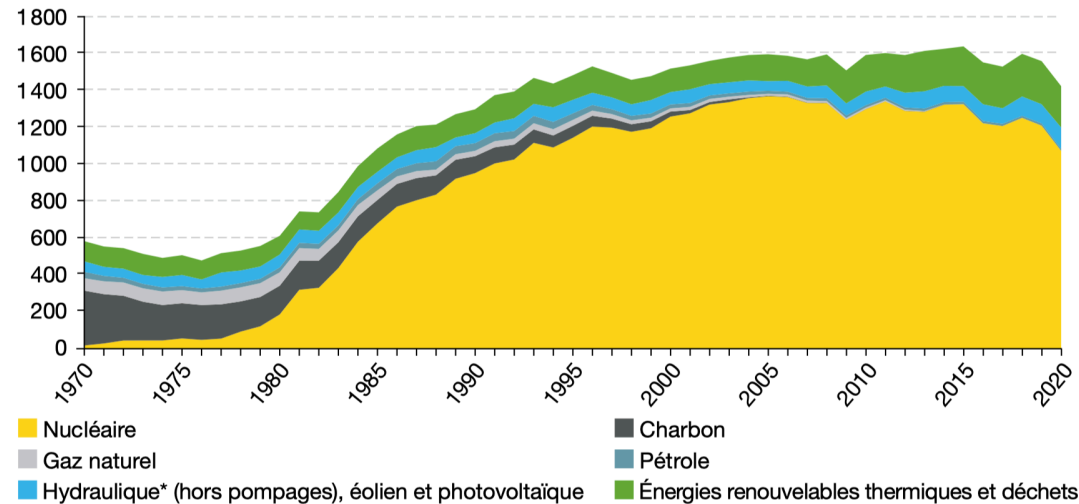
Des scénarios pour l'énergie

Bilan énergétique de la France

PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 1 423 TWh en 2020

En TWh



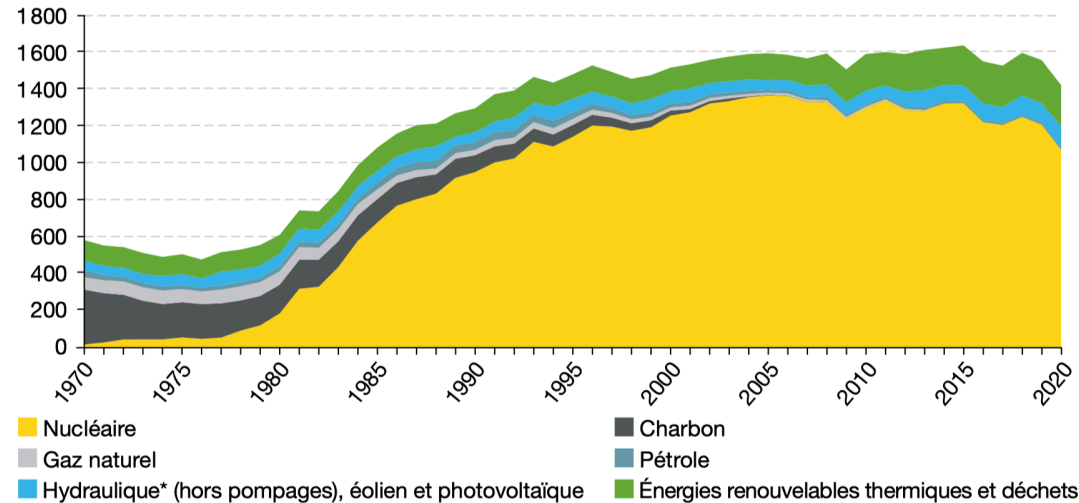
À la suite de la mise en place du programme nucléaire, la production française d'énergie primaire est passée de 514 TWh en 1973 (dont 9 % de nucléaire) à 1 423 TWh en 2020 (dont 75 % de nucléaire). Elle est en baisse de 8,7 % en 2020 par rapport à 2019, ce qui s'explique par le recul de la production nucléaire (- 11,3 %, à 1 072 TWh), affectée par de nombreuses indisponibilités au sein du parc,

Bilan énergétique de la France

PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 1 423 TWh en 2020

En TWh

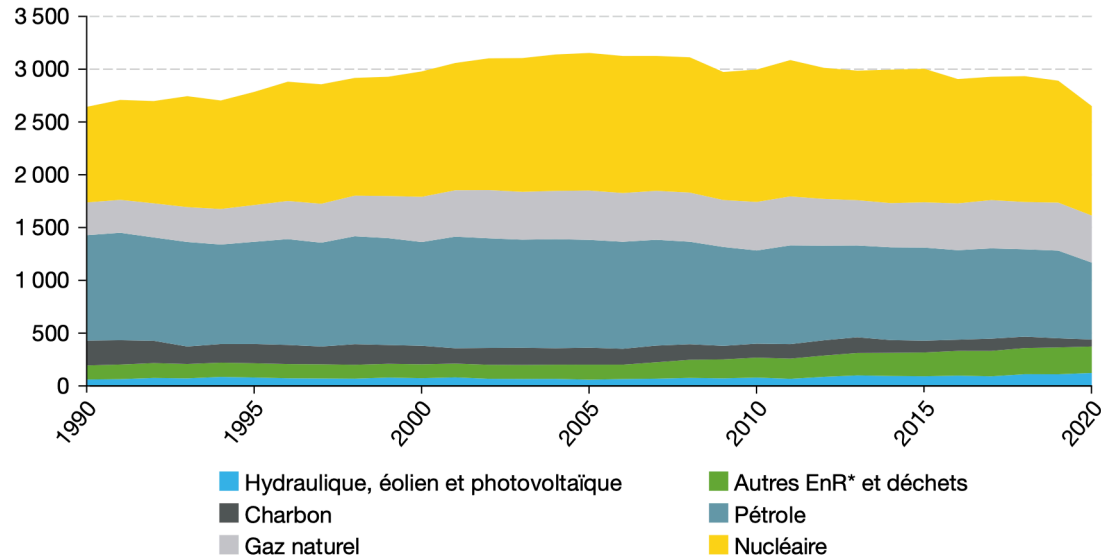


À la suite de la mise en place du programme nucléaire, la production française d'énergie primaire est passée de 514 TWh en 1973 (dont 9 % de nucléaire) à 1 423 TWh en 2020 (dont 75 % de nucléaire). Elle est en baisse de 8,7 % en 2020 par rapport à 2019, ce qui s'explique par le recul de la production nucléaire (- 11,3 %, à 1 072 TWh), affectée par de nombreuses indisponibilités au sein du parc,

CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 2 650 TWh en 2020 (données corrigées des variations climatiques)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)

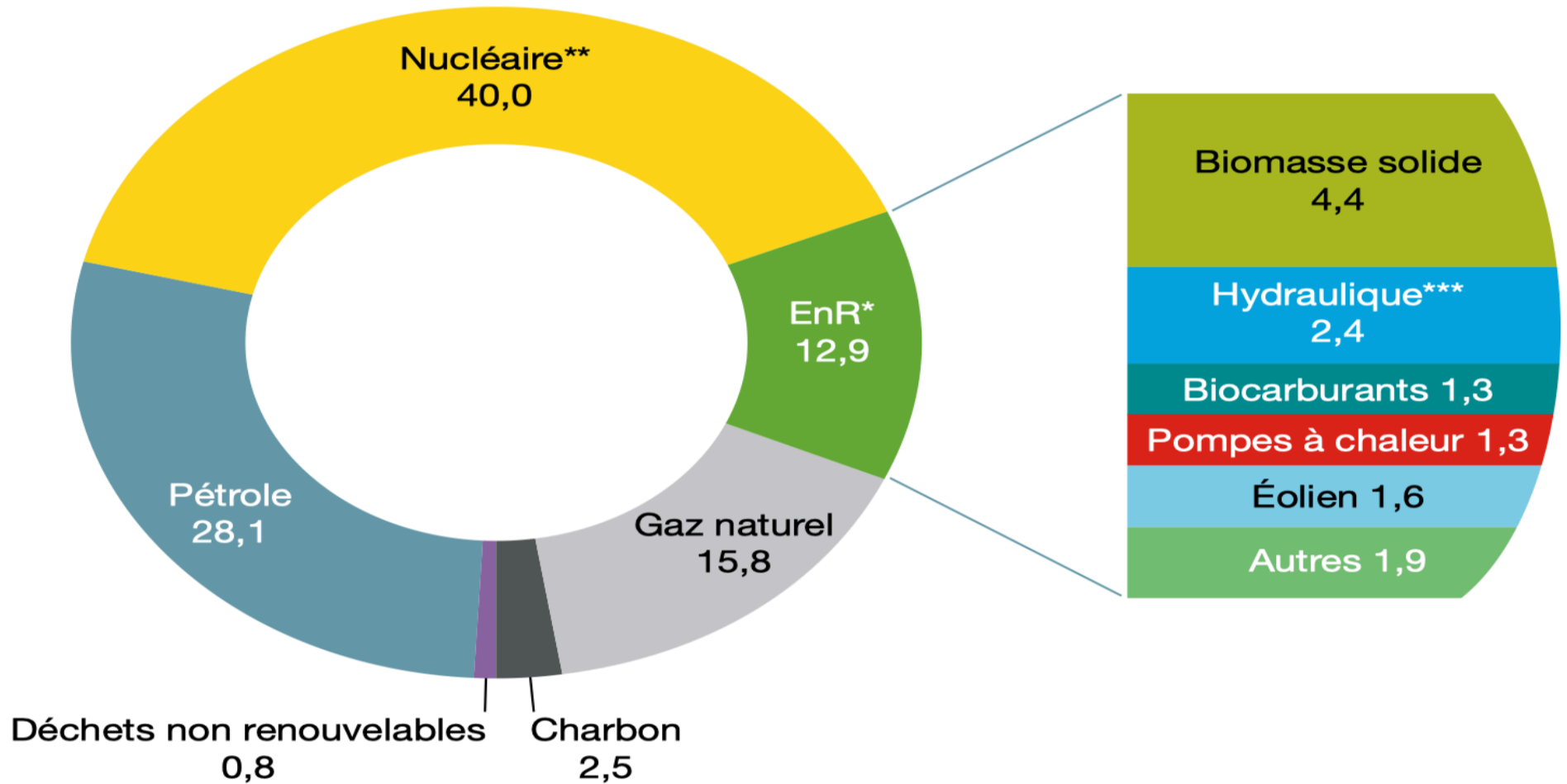


Après avoir régulièrement augmenté jusqu'en 2005 pour atteindre un pic à 3 155 TWh, la consommation d'énergie primaire, corrigée des variations climatiques, se replie légèrement depuis. L'évolution de long terme est contrastée entre énergies : depuis 1990, les consommations de charbon et de pétrole ont reculé respectivement de 72 % et 27 %. À l'inverse, celles de nucléaire et de gaz naturel ont augmenté respectivement de 15 % et 44 % tandis que celle d'énergies renouvelables a plus que doublé. En 2020, la baisse de la consommation primaire est historique, celle-ci diminuant de 8,3 %

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE

TOTAL : 2 571 TWh en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)

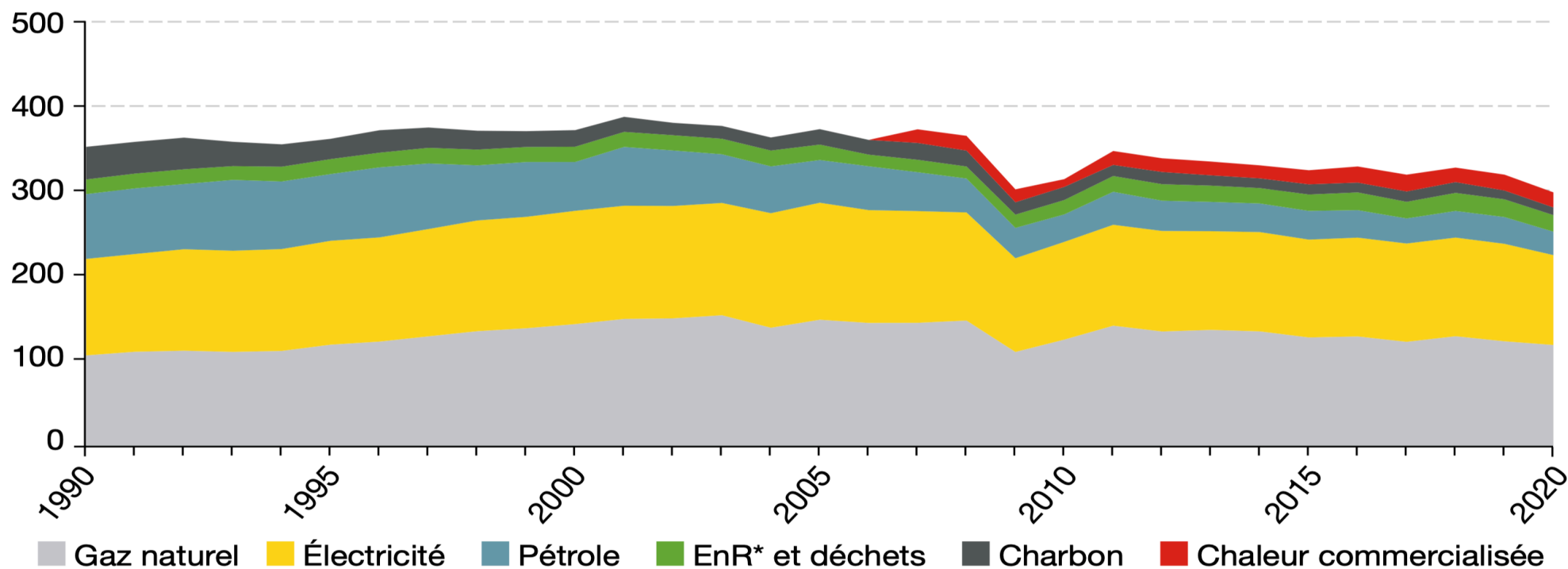
En % (données non corrigées des variations climatiques)



Consommation finale d'énergie par secteur et par énergie

INDUSTRIE : 302 TWh EN 2020 (DONNÉES CORRIGÉES DES VARIATIONS CLIMATIQUES)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)



Empreinte carbone moyenne en France 10 tonnes de CO₂e/an/pers.



÷2 d'ici 2030

Objectif d'ici 2050 :

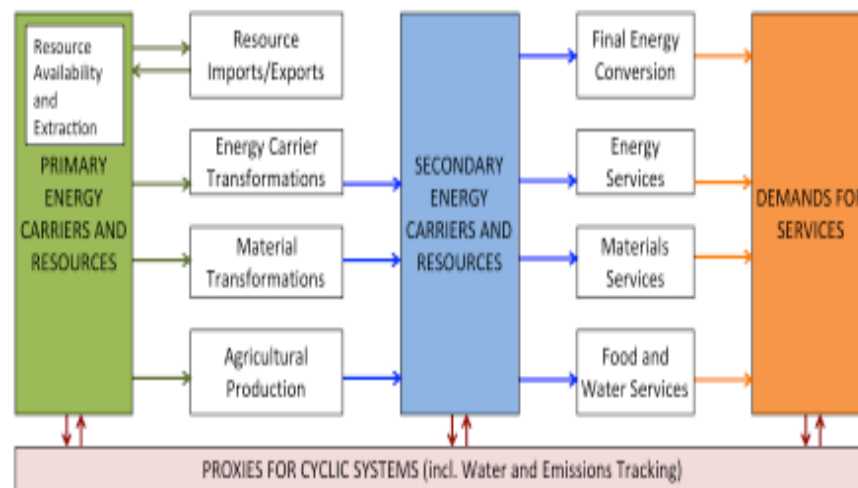


Des scénarios et des modèles

DES MODELES MODULAIRES AUX SCENARIOS FUTURISTES

Le modèle global CLEWS (Climate, Land, Energy and Water Strategies) a été proposé lors des discussions de Rio + 20. Ce modèle s'appuie sur des relations entre plusieurs modules (climat, land, énergie, eau).

- Les sources d'énergie primaire (charbon, gaz, pétrole, vent, nucléaire, eau, géothermie, biomasse) sont extraites et transformées en énergie secondaire.
- L'énergie est ainsi utilisée par les ménages et les industries (chauffage, éclairage...).
- La terre utilise de l'énergie de l'eau pour l'irrigation et des fertilisants pour produire des aliments qui vont assurer la demande globale.
- Les industries utilisent de l'énergie et des matériaux pour produire du ciment, aluminium, acier, papier...
- L'utilisation de carburants dans les secteurs de l'énergie, terre et matériaux engendre des émissions de CO₂.



4 scénarios

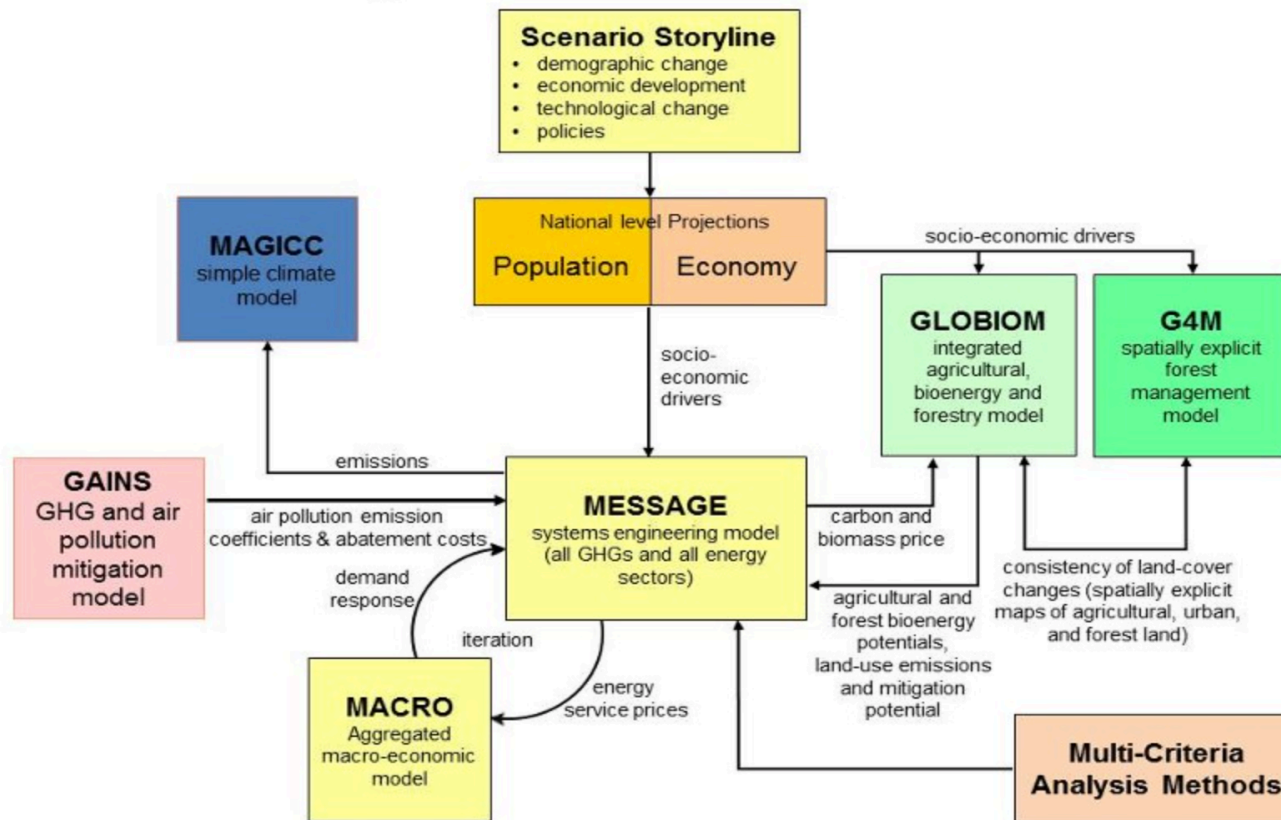
Scenario basic : business-as-usual scenario.

Scenario 4 C°

Scénario 2 C°

Scénario Taxe Carbone : 1\$/t en 2016 et 25 \$/t en 2050

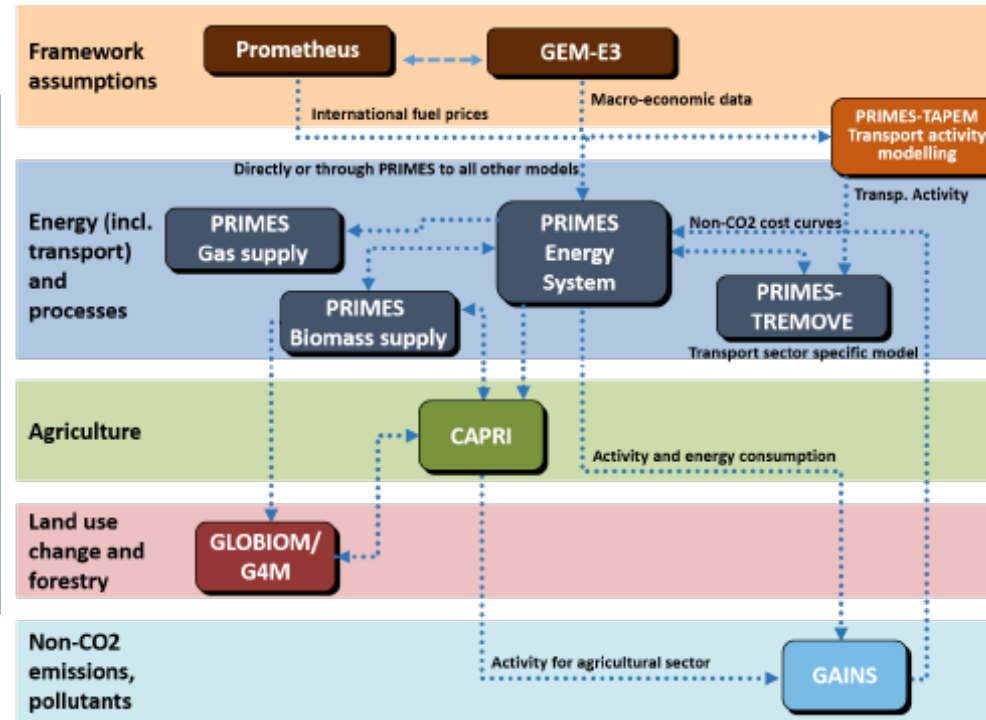
MODELE MESSAGE



MODELE D'EQUILIBRE GENERAL CALCULABLE AVEC PROJECTIONS

Scénario de référence

PROMETHEUS est un modèle mondial d'énergie multi-régional. Il fournit des projections en matière de demande d'énergie, d'offre d'énergie, émissions de CO2 et de prix mondial de l'énergie.

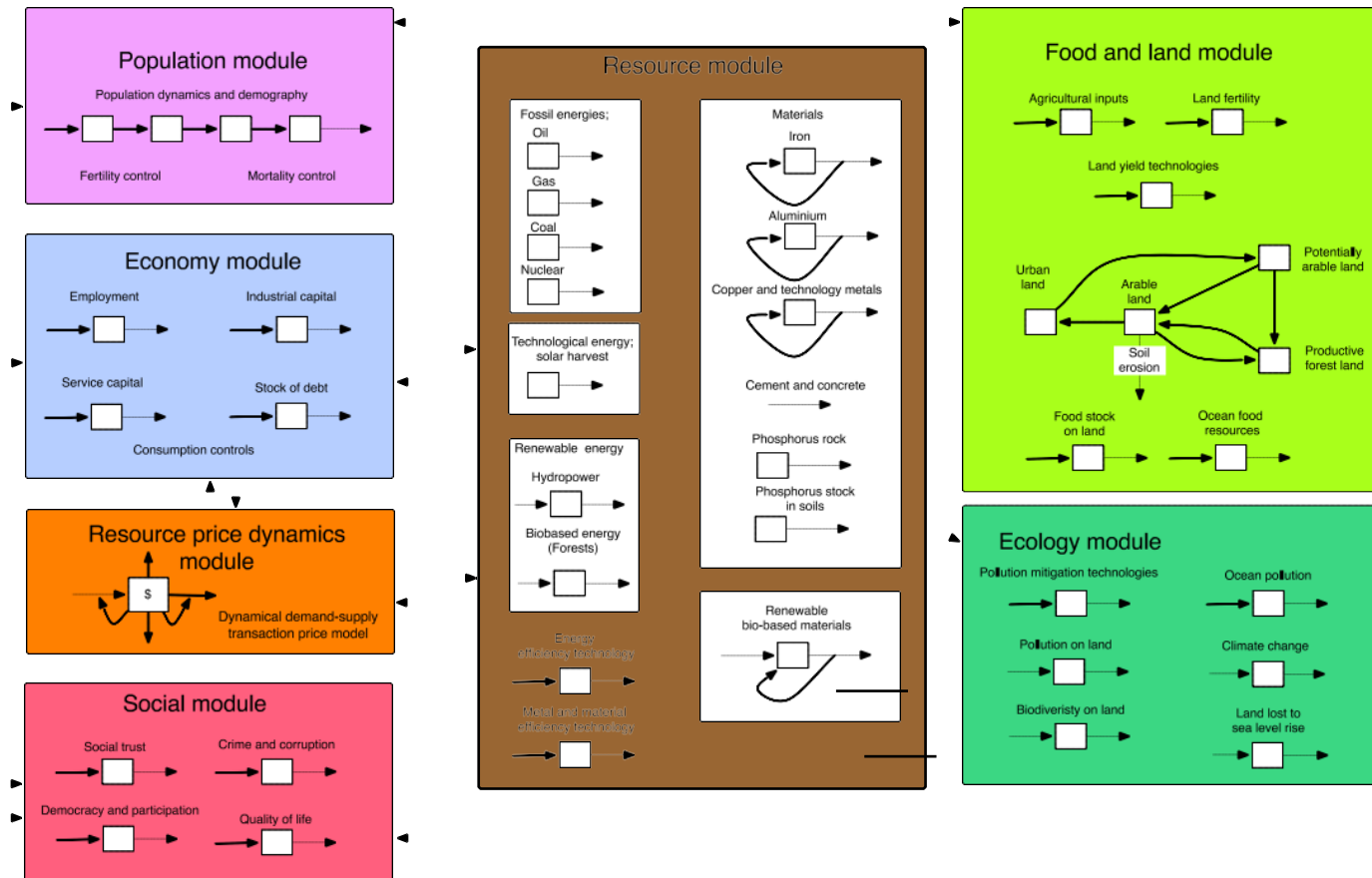


GEM-E3 est un modèle macroéconomique multi pays et multi sectoriel. C'est un modèle d'équilibre général calculable intégrant une analyse économie - environnement.

PRIMES-TAPEM est un modèle économétrique pour les projections d'activités de transport.

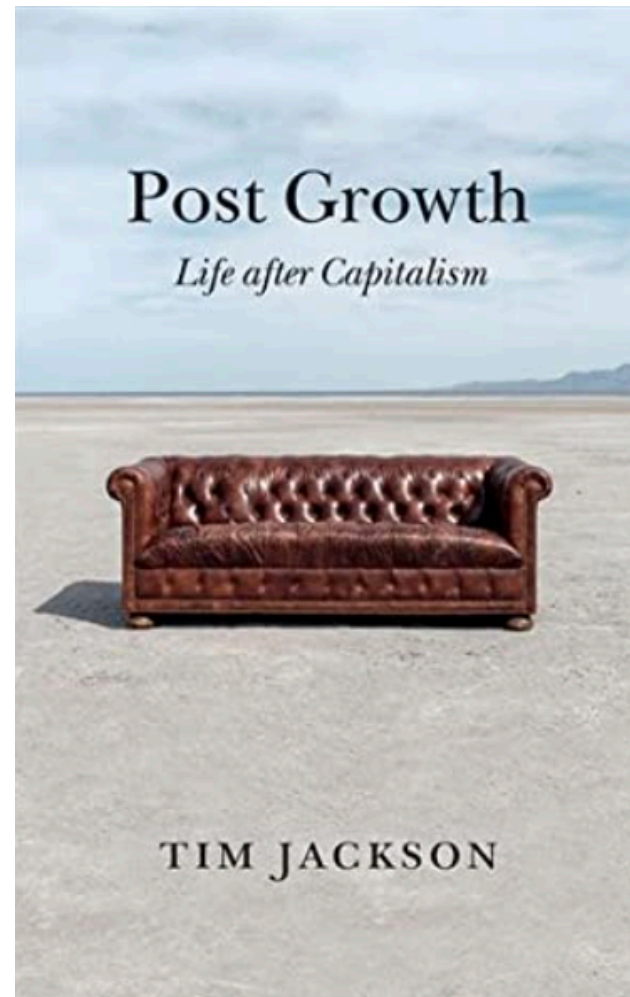
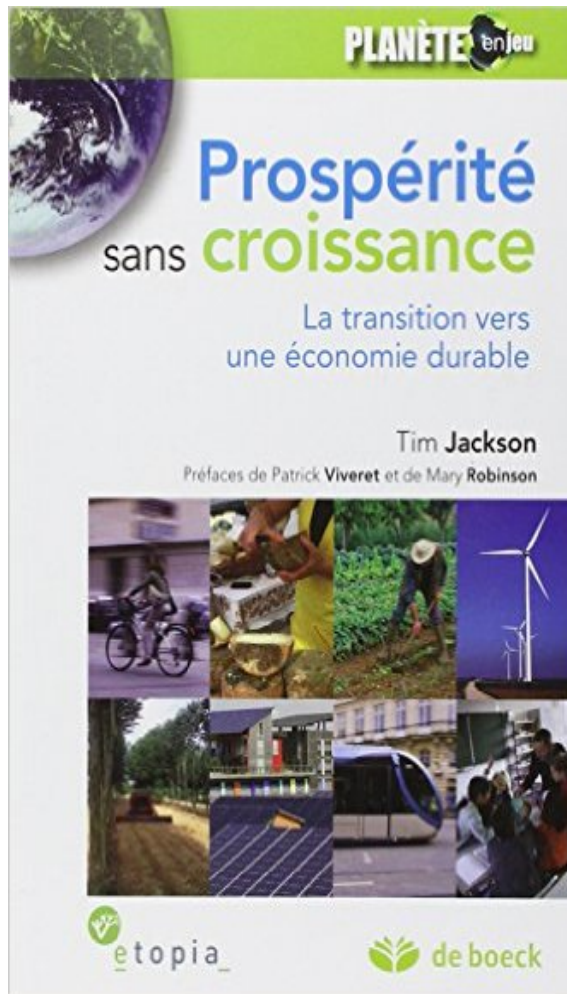
- Hypothèses macroéconomiques et démographique (structure)
- Projections sur les prix des énergies fossiles
- Projections sectorielles, Projections technologiques, courbe d'apprentissage...)

ADAPTECON II : WORLD 6 MODEL (2015 – 2019)



V. Ragnarsdottir, H. Sverdrup, B. Davidsdottir, G. Gladkykh, N. Spittler, T. Bennich, F. Dierickx, J. Torres, A. Diemer, J. Gisladdottir

Prospérité sans croissance



Dans son ouvrage « *Prospérité sans croissance* », le chercheur britannique Tim Jackson formule de manière originale des questions centrales dans le débat économique et politique :

Comment réduire l'impact environnemental de l'activité économique ?

Comment définir et améliorer le bien-être humain ?

Quels buts collectifs les sociétés contemporaines doivent-elles désormais se donner au-delà de l'accumulation matérielle ?

D'abord publié sous la forme d'un rapport en 2009, puis sous la forme d'un livre la même année, traduit en français en 2010.

La réflexion de Tim Jackson a pour point de départ une définition de la prospérité comme un état dont nous jouissons « *quand les choses vont bien pour nous, en conformité avec nos espoirs et nos attentes.* » (2010, p. 19).

Mais dans nos sociétés, nos espoirs et nos attentes étant d'abord matériels, l'idée de prospérité renvoie à un imaginaire de l'abondance et du toujours-plus, indissociable de la croissance.

Or, estime l'auteur, le dépassement des limites écologiques de la planète nous oblige aujourd'hui à remettre en cause cette conception de la prospérité fondée sur la croissance : « *la remise en question de la croissance est vue comme le fait de fous, d'idéalistes ou de révolutionnaires. Mais cette remise en question est indispensable.* » (2010, p.31).

La croissance n'est plus possible, ni même souhaitable, puisque dans ces conditions elle n'offre plus qu'un semblant de prospérité : « *la prospérité aujourd'hui ne signifie rien si elle sape les conditions dont dépend la prospérité de demain. Et le message le plus important de la crise financière de 2008, c'est que demain est déjà là.* » (2010, p.47).

Dans le jargon des économistes, nous dirons que l'impossibilité d'un **découplage absolu entre la croissance économique** (mesurée par celle du PIB) **et son impact environnemental** (mesuré par les émissions de CO2 et la consommation des ressources naturelles) occupe le coeur de la démonstration de Tim Jackson.

Les sociétés et les économies contemporaines peuvent éventuellement parvenir à un découplage relatif entre croissance et consommation/pollution, le rythme des secondes devenant moins rapide au fil des innovations technologiques que celui de la première.

Mais le découplage absolu, qui verrait la croissance du PIB augmenter tandis que son impact environnemental recule est, selon Jackson, hors d'atteinte et constitue même une dangereuse illusion.

L'argument clé utilisé par Tim Jackson fait appel à l'équation IPAT, formulée par Ehrlich et Holdren (1971, 1972) et Commoner lors d'une controverse sur le rôle de la croissance démographique dans la dégradation du milieu naturel.

C'est cette équation qui prendra la forme, quelques années plus tard, d'une identité comptable, intitulée identité de Kaya, et qui servira aux projections et aux scénarios du GIEC (2007).

Dans ce qui suit, nous nous proposons, dans un premier temps, de revenir sur ces deux outils, de manière à illustrer les différentes représentations du changement climatique et ses conséquences en matière de transition énergétique. Dans un second temps, nous illustrerons nos propos par l'automobile.

1. De L'équation IPAT

L'équation IPAT a été formulée à l'occasion d'une controverse entre Ehrlich – Holdren (1971, 1972) et Barry Commoner (1972) sur le rôle de la croissance démographique dans la dégradation du milieu naturel.



Paul Ralph Ehrlich (Université de Stanford) est un biologiste américain, (1932 -) connu en tant qu'écologue et démographe pour notamment ses engagements néo-malthusiens.

Il s'est fait connaître à la suite de son ouvrage controversé intitulé « La Bombe P » (The population Bomb) en 1968 dans lequel il met en garde des dangers de la surpopulation.

Barry Commoner (28 mai 1917, 30 septembre 2012).



Engagement de Commoner contre les essais nucléaires

Livres sur les effets écologiques (présence de strontium 90 dans les dents de lait des enfants) des essais nucléaires

1970 Lauréat de *l'international Humanist Award*

Directeur du centre de biologie et d'étude des systèmes naturels de Queens College.

Science and Survival. New York : Viking, 1966. (Trad. fr. : *Quelle terre laisserons-nous à nos enfants ?*, Traduit de l'américain par Chantal de Richemont. Préface de C. Delamare Deboutteville. Paris, Seuil, 1969. 20 cm, 207 p. Collection : Science ouverte.)

The Closing Circle: Nature, Man, and Technology. New York : Knopf, 1971. (Trad. fr. : *L'encerclement : problèmes de survie en milieu terrestre*, traduit de l'américain par Guy Durand. Paris, Seuil, 1972. 21 cm, 300 p. Collection : Science ouverte.)

Ehrlich et Holdren (1971) ont utilisé le modèle initial IPAT pour tenter de répondre à la question suivante : Est ce que les pays riches sont responsables de la dégradation de l'environnement ? Ou est-ce que la croissance exponentielle de la population des villes est responsable ?

Leur modèle initial a été illustrée par la formule suivante : $I = P \times F$

I est l' impact total

P est la population

F est un fonction qui mesure l'impact par habitant

La relation tendrait à montrer que la population est non seulement un facteur clé, mais que la différence spatiale de l'impact de la production par habitant suggère que l'impact environnementale n'est pas une fonction uniforme. En d'autres termes, les lieux les plus industrialisés sont susceptibles d'avoir une plus incidence plus importante sur la dégradation de l'environnement, à population donnée (constante).

Cette équation en apparence simple, révèle certaines complexités. F augmente avec la consommation par habitant si la technologie est maintenue constante cependant elle peut diminuer dans certains cas si des innovations « bénines » sont introduites pour répondre à un niveau constant de consommation

Toute la démonstration de Ehrlich et Holdren (1971, p. 1212) repose sur 5 théorèmes :

1. Population Growth causes a disproportionate negative impact on the environment
2. Problems of population size and growth, resource utilization and depletion, and environmental deterioration must be considered jointly and on a global basis. In this context, population control is obvious not a panacea – it is necessary but not alone sufficient to see us through the crisis
3. Population density is a poor measure of population pressure and redistributing population would be a dangerous pseudosolution to the population problem.
4. Environment must be broadly construed to include such things as the physical environment of urban ghettos, the human behavioral environment and the epidemiological environment.
5. Theoretical solutions to our problems are often not operational and sometimes are not solutions.

Selon Commoner (1972), cette formule serait incomplète.

Il ne nie pas le fait que la population joue un rôle important dans la dégradation de l'environnement. Cependant, il a fait valoir que la consommation, la richesse et le développement étaient les composants de l'impact anthropique sur l'environnement qui devrait être abordé en premier.

La population est bien entendu un problème, cependant il prendra encore de nombreuses décennies pour contrôler la croissance de la population. Commoner s'appuie sur les exemples de Chine (avec sa politique de l'enfant unique) et l'Inde qui ont longtemps lutté pour contrôler la croissance de leur population. Selon lui, ces politiques ont échoué à bien des égards. Par la suite, l'affluence (richesse) et la technologie ont été ajoutés au modèle afin de remédier à ces lacunes, conduisant à la formule de l'identité IPAT maintenant largement reconnu pour analyser les effets des activités humaines sur l'environnement :

$$I = P \times A \times T$$

I représente la quantité d'émissions d'un polluant considéré (GES)

P la population

A la richesse (affluence) formalisée par la production par habitant (PIB/hab)

T les émissions du polluant par unité produite, dépendantes de la technologie.

Dans les années 90, l'équation IPAT représente un outil utile pour évaluer l'impact anthropique sur le changement climatique. Toutefois, ce modèle a fait l'objet de plusieurs critiques.

Waggoner et al. (2002) ont apporté une modification au modèle en séparant les choix des consommateurs (C) et des réalisations de production (T). L'équation fût ainsi transformé en $I = PACT$.

Ils ont baptisé cette nouvelle équation IMPACT et montré que le changement en matière d'impact environnemental signifiait de modifier les quatre forces suivantes : le nombre de personnes, la force économique, la fraction de l'activité économique consacrée au bien et l'impact de produire le bien.

Par exemple, pour évaluer les émissions de CO₂ à l'aide de l'équation IPAT traditionnel, cela suggérait que les émissions totales (I) étaient le produit de la population (P), du PIB par habitant (A) et des émissions de CO₂ par unité de PIB (T)

Avec l'équation IMPACT, le modèle considérait que les émissions totales de CO₂ étaient le produit de la population (P), du PIB par habitant (A), de la consommation d'énergie par unité de PIB (C) et des émissions de CO₂ par unité de consommation d'énergie (T). L'objectif principal de l'équation IMPACT était d'identifier les facteurs clés susceptibles d'influer sur chaque facteur afin de réduire leur niveau facteur d'autocorrélation.

Identité de KAYA

L'identité de Kaya (1990, 1993) utilisée dans les travaux du GIEC (Rogner et al., 2007) reprend l'équation IPAT en considérant l'impact environnemental des émissions de CO₂.

De plus, elle scinde la composante technologique en deux facteurs, l'intensité énergétique (IE) et l'intensité carbonique (IC).

L'intensité énergétique est la consommation d'énergie primaire (EP) par unité de produit intérieur brut (PIB), soit l'inverse de la productivité du facteur énergie.

L'intensité carbonique est le contenu énergie fossile d'une unité de consommation d'énergie primaire.

L'équation de Kaya est donc la suivante : $CO_2 = P \times PIB/P \times IE \times IC$

$$\text{Emissions de CO}_2 = \underbrace{\frac{\text{Emissions de CO}_2}{\text{Energie consommée}}}_{\text{Contenu en carbone de l'énergie}} \times \underbrace{\frac{\text{Energie consommée}}{\text{PIB}}}_{\text{Intensité énergétique du PIB}} \times \underbrace{\frac{\text{PIB}}{\text{Population}}}_{\text{PIB par personne}} \times \text{Population}$$

L'intérêt de l'identité de Kaya réside dans le fait que les termes ainsi obtenus sont concrets et statistiquement connus.

- La population mondiale : les perspectives démographiques sont, en ordre de grandeur, assez bien connus ; on parle de 8 à 9 milliards d'habitants en 2050.
- Le PIB (produit intérieur brut) par personne est bien mesuré dans la plupart des pays, son augmentation est l'objectif principal de la plupart des politiques économiques.
- l'intensité énergétique du PIB correspond à l'efficacité énergétique de l'économie ; c'est la réponse à la question « combien doit-on consommer de tonnes de pétrole pour produire 1 point de produit intérieur brut ? »
- le contenu en carbone de l'énergie est également une grandeur physique connue pour toutes les énergies utilisées

A partir de cette équation, les effets des différentes variables et leur évolution dans le temps peuvent être étudiés quelle que soit l'échelle géographique choisie (ville, région, pays, Monde).

Depuis les années 1970, à l'échelle mondiale, les variations de la population et du PIB par tête sont décrites par le GIEC comme deux puissants facteurs d'augmentation des émissions de CO₂. Le lien positif et de long terme entre le produit par habitant et l'impact écologique contredit la courbe environnementale de Kuznets, qui semble vérifié pour certains polluants locaux mais pas pour les émissions de CO₂ (Grossman et Krueger, 1995, Meuni., 2004).

Les effets démographique et de richesse sont partiellement compensés par la baisse de l'intensité énergétique consécutive au 1^{er} choc pétrolier, et par celle de l'intensité carbonique des années 1980 et 1990.

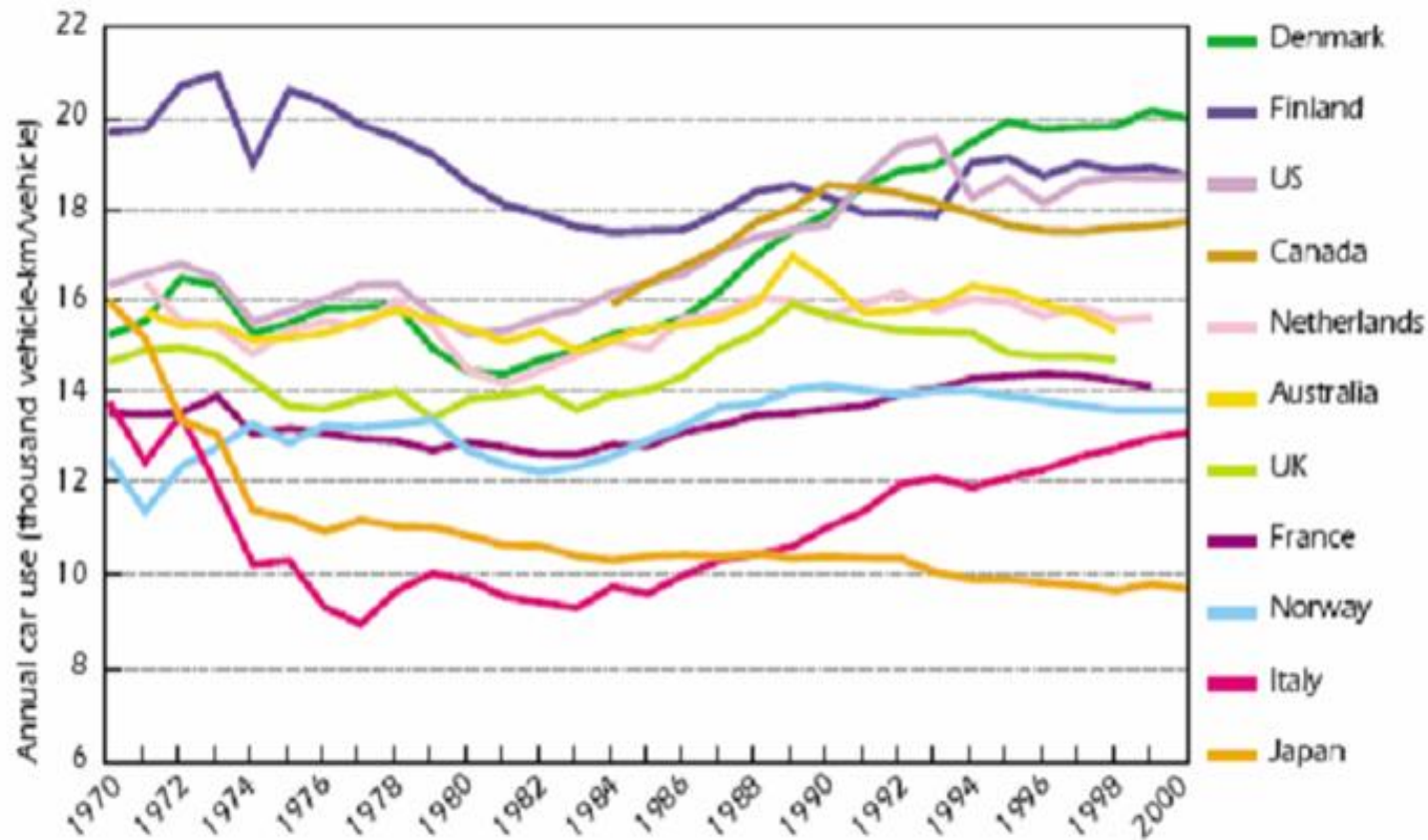
La présentation proposée par Y. Kaya pose clairement l'enjeu suivant : quel doit être l'effort d'investissement supplémentaire dans la transformation du système énergétique, dans la mesure où les progrès enregistrés dans l'efficacité énergétique et la décarbonisation de l'énergie n'ont pas suffi à contrebalancer l'impact des autres variables ?

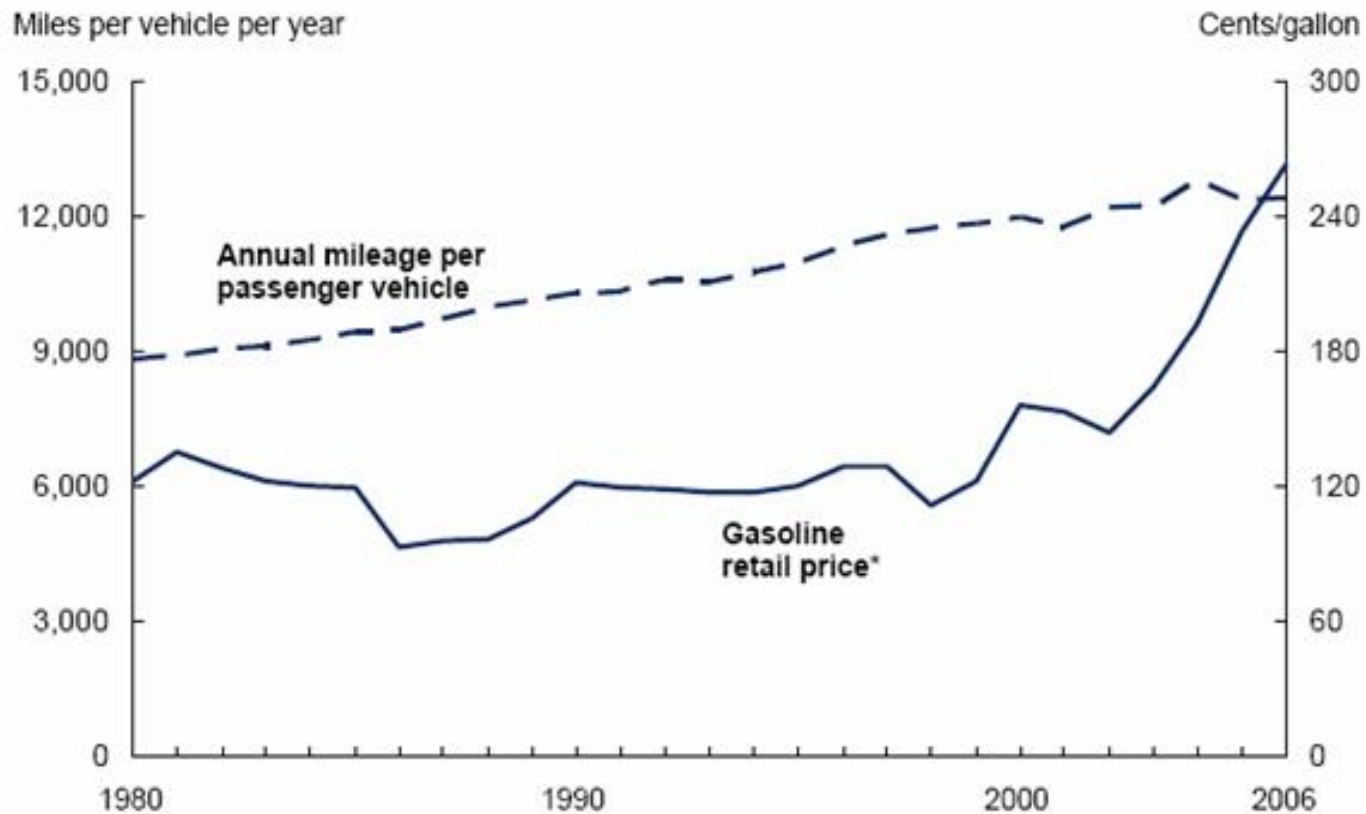
La réduction absolue des émissions de CO₂ prônée par le GIEC à l'horizon 2050 pour éviter une augmentation de plus de 2°C de la température implique que les deux derniers facteurs de l'équation diminuent un rythme supérieur à celui de la hausse des deux premiers. La difficulté est d'autant plus ardue que des analyses (Raupach et al., 2007) mettent en évidence une moindre diminution des facteurs technologiques pour la décennie 2000.

Les travaux s'appuyant sur l'équation de Kaya procèdent généralement à une décomposition par période des effets des différents facteurs sur les émissions de CO₂. On peut ainsi affecter à chaque facteur la variation des émissions qui lui incombe, puis analyser les évolutions d'une période à l'autre (Criqui et al., 2010).

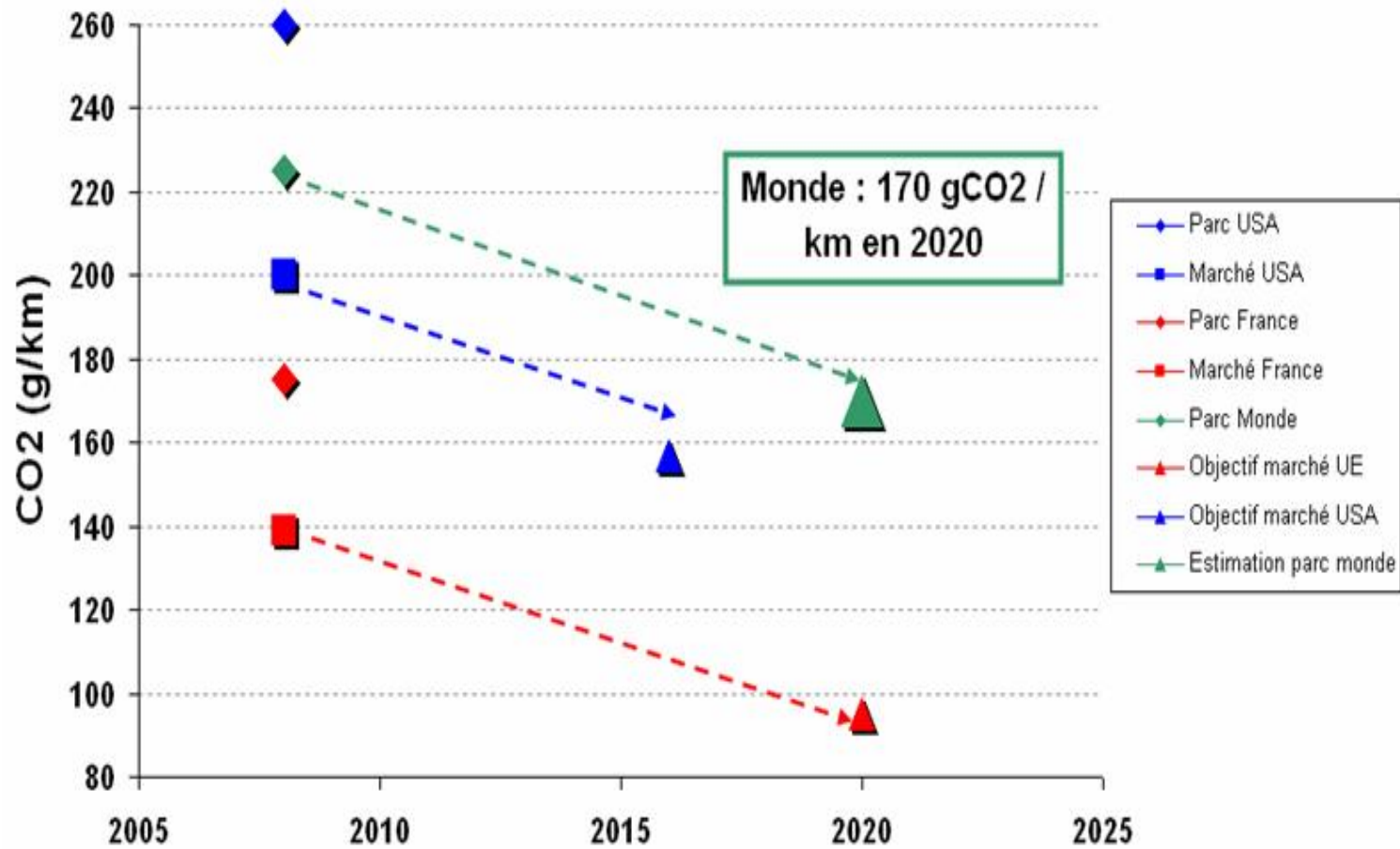
TD : Energie, équation de Kaya et automobile

A partir de l'équation de Kaya, effectuez les modifications nécessaires pour analyser les conséquences d'une augmentation du nombre de voitures du parc mondial ?






Evolution de la distance moyenne par véhicule(VP) aux Etats-Unis - Source : U.S Energy Information Administration and Department of Transportation



Evolution de la consommation du parc automobile mondial d'ici à 2020
Source : Launay (2010)

En posant une équation du même type centrée sur l'automobile nous pouvons écrire que :

$$\begin{array}{l} \text{Emissions} \\ \text{de CO}_2 \end{array} = \frac{\text{Emissions de CO}_2}{\text{Energie consommée}} \times \frac{\text{Energie consommée}}{\text{Distance parcourue}} \times \frac{\text{Distance parcourue}}{\text{Nombre de véhicules}} \times \text{Nombre de} \\ \text{véhicules}$$



Contenu en carbone
de l'énergie

Intensité énergétique
par kilomètre

Distance moyenne
par véhicule

Le contenu en carbone de l'énergie relève du domaine des énergéticiens. Ce paramètre est connu pour les énergies fossiles, pour le pétrole il est d'environ 250 grammes de CO2 par kWh. Pour l'électricité il dépendra du moyen de production utilisé, pour les biocarburants il dépendra de la filière, etc. Le transport automobile est aujourd'hui quasiment exclusivement dépendant du pétrole. Ce paramètre est donc aujourd'hui connu et constant.

L'intensité énergétique par kilomètre relève du domaine des constructeurs automobiles. Elle dépend du besoin énergétique brut (on parle d'énergie à la roue) qui est fonction du poids de la voiture, de son aérodynamique, etc, et du rendement énergétique global du véhicule. Ce paramètre est le seul sur lequel on ait vraiment agi jusqu'à maintenant en améliorant fortement les rendements, l'augmentation des besoins énergétiques bruts ayant en partie masqué les gains obtenus. Ce paramètre vaut aujourd'hui 900 Wh.

On peut regrouper ces deux paramètres en un unique qui est « l'émissions de CO2 par kilomètre » dont la moyenne mondiale est d'environ 225 grammes.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Emissions} & = & \text{Contenu en carbone} & \times & \text{Intensité énergétique} & \times & \text{Distance moyenne} & \times & \text{Nombre de} \\ \text{de CO2} & & \text{de l'énergie} & & \text{par kilomètre} & & \text{par véhicule} & & \text{véhicules} \\ & & & & & & & & \\ & & \underbrace{\hspace{10em}} & & & & & & \\ & & \text{Emissions de CO2 par kilomètre} & & & & & & \end{array}$$

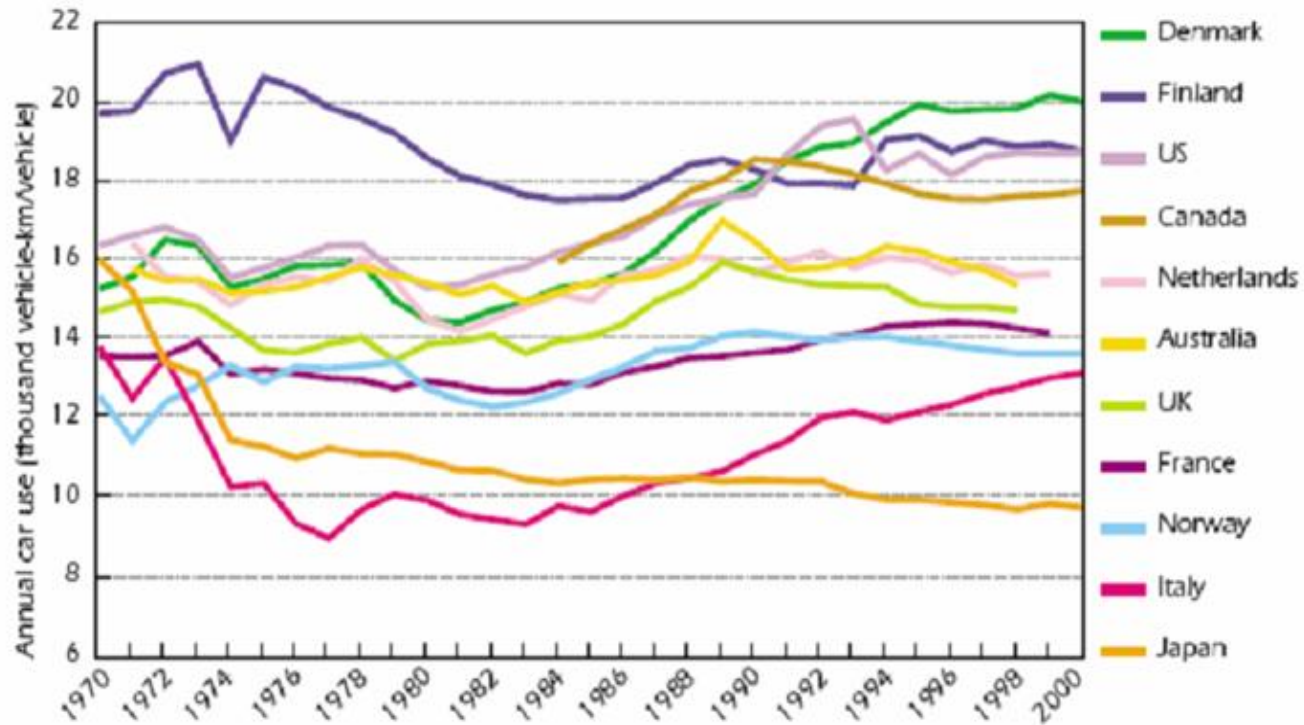
Les deux derniers paramètres nous font sortir du domaine de la technique. Le nombre de véhicules en circulation et la distances qu'ils parcourent déterminent le niveau de la mobilité mondiale, qui a elle-même un impact important sur nos modes de vie, sur l'économie mondiale, etc. Il est certain que les constructeurs automobiles n'ont pas beaucoup de prise sur ces paramètres mais ils ont tout intérêt à ce qu'ils continuent à croître !

$$\underbrace{\text{Emissions de CO}_2}_{\sim 3,4 \text{ Gt CO}_2 / \text{an}} = \underbrace{\text{Emissions de CO}_2 \text{ par kilomètre}}_{225 \text{ g CO}_2 / \text{km}} \times \underbrace{\text{Distance moyenne par véhicule}}_{15\,000 \text{ km} / \text{an}} \times \underbrace{\text{Nombre de véhicules}}_{1 \text{ milliard}}$$

Tout le problème consiste alors à faire respecter la contrainte globale sur les émissions de CO₂ tout en permettant à la mobilité de poursuivre son développement, c'est-à-dire en permettant aux deux termes de droite de croître ...

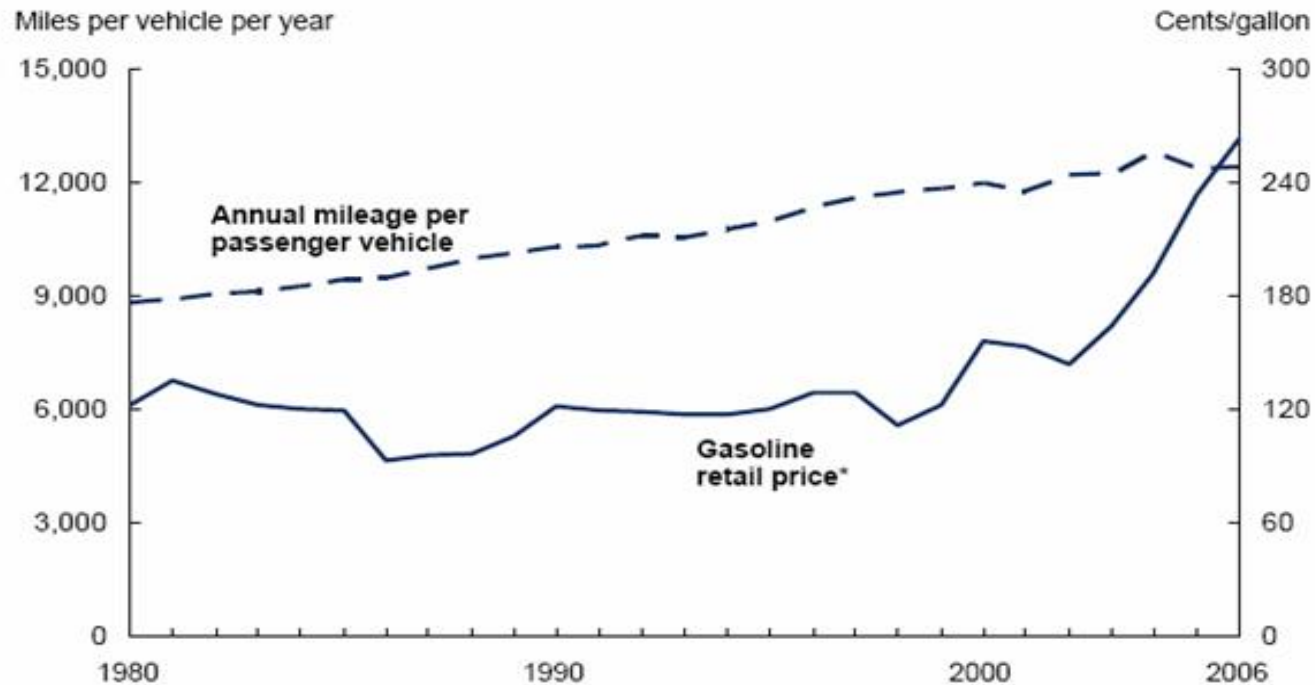
Quelles émissions en 2020 ?

Commençons par raisonner en tendancielle, c'est-à-dire à décrire un avenir proche sans rupture forte. Concernant le nombre de véhicules en circulation, les projections tendancielle donnent 1.3 milliards en 2020. Pour ce qui est de la distance moyenne parcourue annuellement, les projections semblent moins simples à faire. Elle est aujourd'hui d'environ 15 000 kms avec de nombreuses disparités.



Source
: AIE

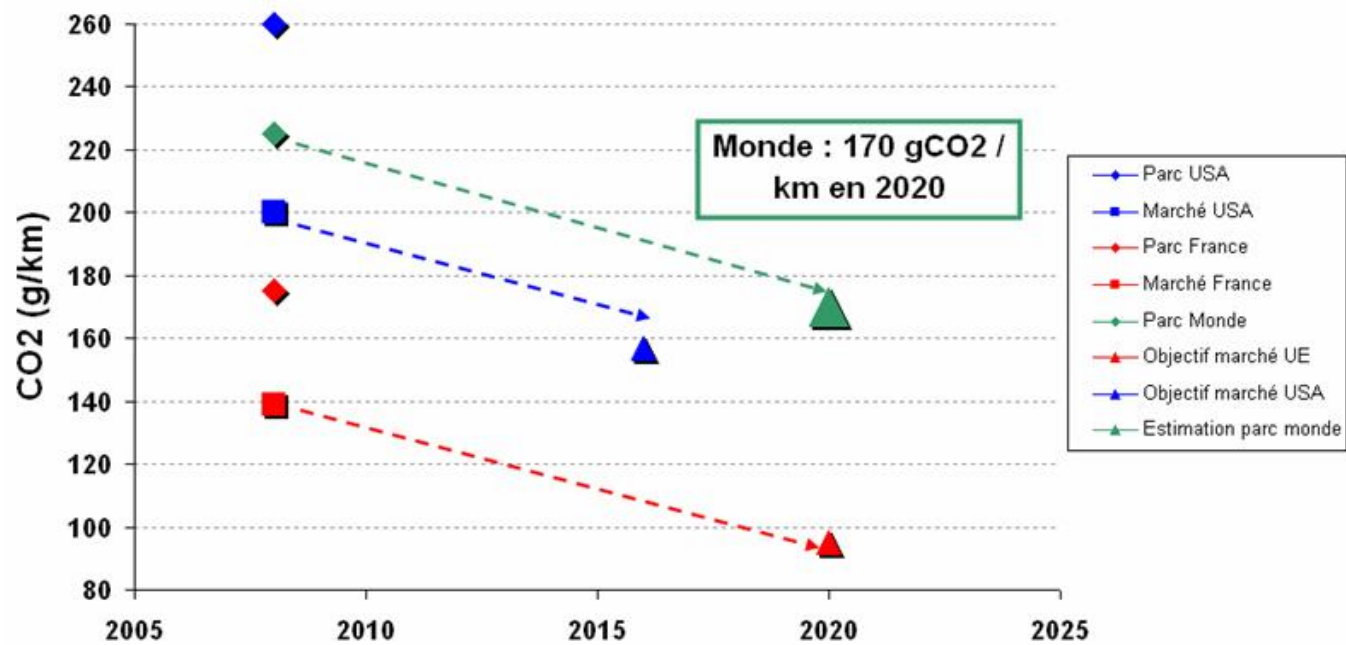
On voit aussi sur cette série statistique que la valeur moyenne semble assez stable sur les 30 années observées. On constate bien une baisse plus ou moins marquée lors des chocs pétroliers mais avec un impact faible sur la moyenne. On constate également des variations importantes qui ne semblent pas liées au prix du carburant comme la forte baisse au Japon et la forte hausse aux Etats-Unis. L'évolution récente aux Etats-Unis semble montrer une légère inflexion en lien avec la hausse du prix du pétrole mais avec une élasticité somme toute assez faible ... du moins pour l'instant.



Pour la France, après être passé par un pic en à 14.000 kilomètres en 2001, cette distance moyenne a diminué progressivement (de l'ordre de 1,3% par an) et se situe en 2014 à 12.000 kilomètres.

L'évolution de cette variable n'est pas simple à anticiper et dépend probablement de nombreux paramètres : urbanisation, transport en commun, caractéristiques du parc automobile, etc. La simple évolution du poids des différents parcs automobiles (augmentation aux Etats-Unis, diminution en Europe et au Japon) va modifier cette moyenne. Ceci étant dit, au vue des variations enregistrées depuis 1970 et hors crise majeure, il ne semble pas idiot de la considérer comme constante sur les 10 prochaines années.

Le dernier terme « émissions de CO2 par kilomètre parcouru » est calculé pour des besoins réglementaires. Les engagements actuels pris par les états pourraient au mieux faire baisser les émissions moyennes de 225 à 170 grammes de CO2 par km à l'horizon 2020.



Source : Launay (2010)

Un tel scenario donnerait pour 2020 des émissions globales de CO2 pour l'automobile d'environ 3,3 Gigatonnes soit à peu près les émissions actuelles.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Emissions} & = & \text{Emissions de CO2} & \times & \text{Distance moyenne} & \times & \text{Nombre de} \\ \text{de CO2} & & \text{par kilomètre} & & \text{par véhicule} & & \text{véhicules} \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{2.5cm}} & & \underbrace{\hspace{2.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\ \sim 3,3 \text{ Gt CO2 / an} & & 170 \text{ g CO2 / km} & & 15\,000 \text{ km / an} & & 1,3 \text{ milliards} \end{array}$$

En clair, cela veut dire que tous les efforts faits pour réduire les émissions de CO2 des véhicules pourraient tout juste être en mesure de compenser l'augmentation du parc automobile. Certes c'est une vision beaucoup plus optimiste que celle du passé où les émissions ont cru de manière très importante mais est-ce bien à la hauteur de l'enjeu ?

Rappel sur les préconisations du GIEC : les émissions de CO2 devraient être divisées par 3 d'ici à 2050.

Quelles solutions pour respecter la contrainte du GIEC en 2050 ?

Même si ce scénario 2020 permet une stabilisation, une rupture est nécessaire pour atteindre l'objectif en 2050. Reprenons notre équation et regardons les différents scénarios qui pourraient nous permettre de respecter la contrainte du GIEC.

Un premier scénario dit « technologique » consiste à penser que la contrainte est atteignable par les seuls progrès techniques et que le modèle de croissance de la mobilité ne doit donc pas être remis en cause. Dans ce scénario, le parc continue d'augmenter pour atteindre 2 milliards de véhicules en 2050 et la distance moyenne parcourue chaque année reste constante.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Emissions} & = & \text{Emissions de CO2} & \times & \text{Distance moyenne} & \times & \text{Nombre de} \\
 \text{de CO2} & & \text{par kilomètre} & & \text{par véhicule} & & \text{véhicules} \\
 \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} \\
 \sim 3,4 \text{ Gt CO2 / an} & & 225 \text{ g CO2 / km} & & 15\,000 \text{ km / an} & & 1 \text{ milliard} \\
 \\
 \mathbf{/ 3} & & \mathbf{/ 6} & & \mathbf{\sim \text{constant}} & & \mathbf{\times 2}
 \end{array}$$

Respecter la contrainte du GIEC signifie alors diviser les émissions de CO2 par kilomètre par un facteur 6. Le parc automobile actuel émet en moyenne 225 grammes de CO2 par kilomètre. Si l'on divise par 6 on obtient des émissions moyennes de 37,5 grammes de CO2 par kilomètre en 2050 (soit 1.6 l aux 100 kms ou 145 mpg).

L'âge moyen du parc automobile dans le monde est probablement supérieur à 10 ans, il faudrait donc que la moyenne des émissions de CO2 des véhicules neufs vendus soit d'environ 40 grammes de CO2 par kilomètre en 2040.

Ces émissions doivent s'entendre « du puits à la roue » c'est-à-dire intégrer le CO2 émis pour produire l'électricité des futurs véhicules électriques ou des hybrides...

Un autre scénario consisterait à réduire la mobilité globale liée à l'automobile par 3 Ce qui nous fait revenir au même niveau qu'en 1950 (avant les trente glorieuses !). Un tel scénario pourrait être associée à la décroissance...

En d'autres termes, le choix est simple : Révolution technologique ou faillite de la promesse de mobilité pour tous ...

Bibliographie

- JACKSON T. (2010), *Prospérité sans croissance : la transition vers une économie durable*, De Boeck-Etopia.
- CHERTOW M. R. (2001), "The IPAT Equation and Its Variants; Changing Views of Technology and Environmental Impact," *Journal of Industrial Ecology*, 4.4, p. 13-29.
- COMMONER B. (1972), "The Environmental Cost of Economic Growth." in *Population, Resources and the Environment*. Washington, DC: Government Printing Office, pp. 339-63.
- DIETZ T., ROSA E.A (1994), "Rethinking the Environmental Impacts of population, Affluence and Technology", *Human Ecology Review*, vol 1.1.
- EHRlich P.R, HODREN J.P (1971), « Impact of Population Growth », *Science*, vol 171, p. 1212 - 1217.
- Office, pp. 339-63.
- EHRlich P.R, HODREN J.P (1970), *Population, Resources, Environments : Issues in Human Ecology*, second édition (1972), W. H. Freeman.
- FISHER-KOWALSKI M., AMANN C. (2001), « Beyond IPAT and Kuznets curves: Globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism », *Population Environment* 23.1, p. 7-47.
- KAYA Y. (1993), *Environment, Energy, and Economy : strategies for sustainability* .
- SEMAL L. (2011), « Tim Jackson, prospérité sans croissance », *Développement durable et territoires*, vol 2, n°1, mars.
- WAGGONER P.E, AUSUBEL J.H (2002), "A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity." *Proc National Academy of Science*, 99.12, p. 7860-7865.
- YORK R.E.A, DIETZ T. (2003), "STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts" *Ecological Economics*, 46.3, p. 351-365.