

## **Scénario à long terme (2100)**

Qu'est-ce qu'un scénario

Un scénario constitue un outil d'exploration permettant de se faire une idée sur les implications à terme d'un jeu d'hypothèses. Il ne cherche aucunement à prédire ce que sera le futur.

Il est en effet souvent possible de projeter l'évolution possible ou souhaitable de certaines variables-clés, soit parce qu'elles suivent à peu près des lois statistiques, comme pour les populations, soit parce qu'elles peuvent correspondre à un projet politique volontariste, comme le choix d'un taux de croissance du PIB.

L'intérêt d'un scénario est qu'il met en évidence les principales tendances et définit ainsi un cadre utile pour une réflexion sur l'avenir.

Pour explorer l'avenir, il est nécessaire d'extrapoler la situation présente en limitant au maximum les incertitudes. Pour cela, on essaie généralement de relier la ou les grandeurs étudiées à des indicateurs stables s'il en existe. Toute extrapolation étant toujours risquée, le choix de ces indicateurs est fondamental.

Un scénario très simplifié

Si l'on s'intéresse à ce que pourraient être les consommations d'énergie à long terme, il est nécessaire d'utiliser une grandeur intermédiaire stable pour fonder nos extrapolations. A plusieurs reprises, nous avons exprimé que la consommation totale est égale au produit de la population par la consommation par tête.

$CENER = \text{population} * CENER/\text{hab}$

Comme il se trouve que l'évolution des populations est un phénomène stable, qui fait l'objet de nombreuses études, on peut s'appuyer sur les travaux prospectifs existant dans ce domaine et, pour passer aux consommations d'énergie, se fixer des hypothèses supplémentaires sur les niveaux de consommation d'énergie par tête.

Le scénario que nous vous proposons de construire est très simplifié, ce qui n'est pas gênant, car son objectif est essentiellement pédagogique : nous voulons vous montrer, sur un exemple simple, comment vous pouvez procéder. Il est clair que les scénarios qui sont bâtis par les prospectivistes sont beaucoup plus complexes.

Malgré le caractère caricatural d'un tel découpage, nous nous limiterons en particulier à deux groupes de pays, les pays en développement (PED) et les pays industrialisés (PI), et nous ne considérerons qu'un seul jeu d'hypothèses sur les évolutions des consommations d'énergie par tête.

Croissance démographique dans le monde

On connaît avec une bonne précision l'évolution de la population mondiale au cours des derniers siècles. On sait aussi qu'en règle générale la fécondité baisse jusqu'à un certain seuil lorsque le niveau de vie par tête augmente, de telle sorte que l'on peut escompter qu'à terme, la population mondiale cessera sa croissance exponentielle pour se stabiliser à un certain niveau, que les spécialistes qualifient de population stationnaire hypothétique.

Les Nations Unies estiment que la population stationnaire hypothétique mondiale pourrait se situer autour de 12 milliards d'individus, et pourrait être atteinte dans le courant du XXIème siècle. On notera que ce chiffre correspond à deux fois la population de 1999.

Retenant cette hypothèse, et en tenant compte des dynamiques très différentes dans les pays en développement et dans les pays industrialisés, on peut se fixer un modèle d'évolution de la population du type de celui présenté à l'écran.

### Consommations d'énergie par tête

L'estimation des consommations d'énergie par tête peut elle aussi être modélisée. En 2010, la moyenne mondiale de la consommation d'énergie par tête était égale à 1,83 tep/hab/an, mais on sait que ce chiffre masquait de fortes disparités : de l'ordre de 0,5 tep/hab/an dans les pays en développement, et de 5 tep/hab/an dans les pays industrialisés

Comment ces valeurs sont-elles susceptibles d'évoluer à l'avenir ?

De manière claire, il est impératif que les consommations par tête croissent dans les PED pour qu'ils aient une chance de se développer. En revanche, on a vu qu'il existe une certaine marge de manœuvre dans les pays industrialisés.

Depuis 1985, un grand nombre de scénarios ont été proposés pour estimer ce que pourraient être les consommations d'énergie mondiale. Ils diffèrent fondamentalement par les hypothèses qu'ils retiennent quant à l'évolution des consommations par tête.

Ce graphique montre l'évolution des consommations par tête en fonction du PIB par habitant entre 1990 et 2012 pour les principaux groupes de pays (les consommations par tête sont exprimées en kilo équivalent pétrole par habitant, et le PIB/habitant en dollar en Parité de Pouvoir d'Achat constant de 2005).

Etant donné que les PIB par tête des groupes de pays ont globalement augmenté pendant cette période, l'axe des abscisses indique aussi l'écoulement du temps.

Ce graphique montre que les augmentations des consommations par tête les plus fortes ont été réalisées dans les pays à revenu intermédiaire supérieur, en rouge sur la figure, pour lesquels elles ont presque doublé. Dans les pays à bas revenu et les pays développés les consommations par tête sont restées stables, à quelques fluctuations près pour les premiers

### Hypothèses retenues

Nous retiendrons comme hypothèse une stabilisation des consommations d'énergie dans les pays industrialisés au niveau de 4,5 tep/hab, et une croissance continue, de 2010 à 2100, des consommations d'énergie dans les PED de 1,25 à 2,15 tep/hab, ce qui représente une augmentation de 0,1 tep/hab tous les 10 ans.

Nous ne discuterons pas la validité de ces hypothèses, car cela nous entraînerait trop loin compte tenu du temps disponible dans le cadre de ce cours.

### Tableur initial

Le scénario peut facilement être construit sur tableur, en commençant par disposer les hypothèses sur cinq colonnes : années 2010 à 2100, population dans les PED et les PI, consommations par tête dans ces deux groupes de pays.

Nous avons préparé à votre attention un tableur au format Open Office, correspondant à ce qui est présenté à l'écran, où nous avons reporté des prévisions de croissance de la population mondiale établies par les Nations Unies il y a quelques années ainsi que les hypothèses sur les consommations par tête dont nous avons discuté auparavant.

Vous pouvez télécharger ce tableur ou bien le construire vous-même.

### Calcul du scénario

Pour calculer le scénario, vous devez ajouter trois colonnes destinées à déterminer les consommations d'énergie dans les deux groupes de pays et leur somme.

Le calcul de la consommation des PED se fait très simplement par la formule " $= B2*D2$ " dans la case H2.

Le calcul de la consommation des pays industrialisés se fait de manière analogue par la formule " $= C2*E2$ " dans la case I2. Il suffit pour l'obtenir de recopier la cellule H2 dans I2.

Enfin le calcul de la consommation mondiale se fait par la somme  $= H2+I2$  dans la cellule J2. Il faut ensuite recopier ces cellules pour les autres lignes.

### Représentation graphique

Pour tracer le graphique, commencez par recopier colonne G la colonne A donnant les années.

Sélectionnez ensuite les cellules G1 à J11 et utilisez l'assistant de création de diagrammes qui s'affiche en cliquant sur la petite icône représentant des barres, dont l'image est donnée en haut à droite de l'écran.

Comme type de diagramme, choisissez (XY) dispersion, et lignes seules, comme indiqué à l'écran.

Cliquez sur Terminer, ce qui crée le graphique.

Vous pouvez ensuite retravailler le graphique, par exemple pour faire apparaître un quadrillage principal sur les abscisses.

### Résultats du scénario

Ce scénario conduit à une estimation de la consommation d'énergie dans le monde proche de 19 Gtep en 2050 et de 25 Gtep en 2100, soit des augmentations de 53 % et de 107 % par rapport au niveau de 2010.

Il s'agit de consommations d'énergie très élevées.

### Cumul des consommations

Pour calculer le cumul des consommations, ajoutez dans la colonne M des formules du type de celle qui est affichée à l'écran : pour l'année 2020 (cellule M3), la valeur est égale à la moyenne des années 2010 à 2020, c'est-à-dire  $(J2+J3)/2$ , multipliée par le nombre d'année, soit 10.

Recopiez cette formule jusqu'à la cellule M11, puis tracez le graphique du cumul.

Les consommations cumulées croissent très rapidement, pour atteindre environ 500 Gtep en 2040, 1000 Gtep en 2070 et 1750 Gtep en 2100.

## Des réserves énergétiques suffisantes

Rappelons qu'en 2014, le total des réserves énergétiques était d'un peu plus de 1034 Gtep, dont 240 de pétrole, 174 de gaz naturel, 120 de schistes et sables asphaltiques, 454 de charbon et 46 d'uranium.

Cela signifie que les réserves d'hydrocarbures seules permettraient d'assurer la consommation globale cumulée jusqu'en 2070.

A cette date, la contribution des carburants non-conventionnels pourrait déjà être significative, fournissant peut-être jusqu'à 400 Gtep, ce qui donnerait encore 20 ans de répit sur la base des seuls combustibles fossiles.

Or, 70 ou 80 ans sont des délais tout à fait suffisants pour qu'une transition radicale du bilan énergétique puisse prendre place et que les énergies renouvelables telles que les énergies solaires ou la fusion puissent assurer le relais, à condition que les bonnes incitations soient mises en place rapidement au plan politique.

Comme de plus la pénétration de ces sources renouvelables a déjà commencé et sera progressive, on peut conclure que, même dans le cas d'un scénario de forte croissance, et de la population mondiale et des consommations d'énergie par tête, les réserves d'énergies fossiles devraient être amplement suffisantes à l'échelle de la planète pour que l'humanité ait le temps d'assurer la transition vers les sources d'énergie de l'avenir, renouvelables par nécessité.