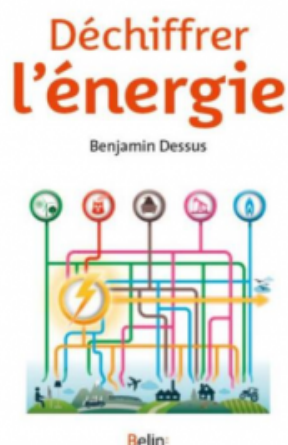


# Déchiffrer l'énergie

Benjamin Dessus, Ed. Belin, octobre 2014, 384 pages

Table des matières et extraits <sup>1</sup>



## TABLE DES MATIÈRES

### Introduction

- De quel débat parle-t-on ?
- Une démarche ascendante

### Partie 1

#### Des besoins de développement d'une société au bilan énergétique d'un pays

- Chapitre 1 : Les besoins d'énergie
- Chapitre 2 : De l'énergie utile à l'énergie finale : les services énergétiques
- Chapitre 3 : De l'énergie finale à l'énergie «primaire»
- Chapitre 4 : Déchiffrer un bilan énergétique
- Chapitre 5 : Les chiffres-clés de la demande énergétique

### Partie 2

#### L'offre d'énergie, les filières énergétiques et les questions d'environnement

- Chapitre 6 : Des ressources énergétiques aux caractéristiques contrastées
- Chapitre 7 : Ressources, réserves fossiles et fissiles, potentiels d'énergies renouvelables
- Chapitre 8 : Les filières de production d'énergie finale
- Chapitre 9 : Gros plan sur la production d'électricité (hors nucléaire)
- Chapitre 10 : La production d'électricité d'origine nucléaire
- Chapitre 11 : Le transport et la distribution de l'électricité
- Chapitre 12 : Stockage et déstockage des produits énergétiques
- Chapitre 13 : Les questions d'environnement

### Partie 3

#### L'économie des systèmes énergétiques

- Chapitre 14 : Les prix et les coûts : de qui parle-t-on ?
- Chapitre 15 : La face cachée des coûts
- Chapitre 16 : Du coût des énergies à la facture énergétiques
- Chapitre 17 : Les instruments régaliens et économiques d'une politique de l'énergie

### Partie 4

#### Prospective et transition énergétique

- Chapitre 18 : Du productivisme à la transition énergétique
- Conclusion

---

<sup>1</sup> Introductions des 4 parties, introductions et résumés des 18 chapitres

## Partie 1

### Des besoins de développement d'une société au bilan énergétique d'un pays

*«Il avait acheté une grande carte représentant la mer, sans le moindre vestige de terre, et l'équipage fut heureux de constater que c'était une carte qu'ils pouvaient tous comprendre.»*

Lewis Carroll, *La chasse au snark*, 1876

La démarche ascendante que nous avons proposée en introduction de cet ouvrage nous conduit à analyser, dans le détail, la nature et la quantification des besoins de services rendus par l'énergie à une société. Et ce, avant de remonter, par un processus itératif, à l'analyse de la nature et de la quantité de produits énergétiques nécessaires à leur satisfaction et enfin à celle des ressources énergétiques à mobiliser pour mettre à disposition ces produits.

Le développement des sociétés se traduit par l'accès à une diversité croissante de biens et services, (d'alimentation, de confort, de santé, de mobilité, de culture, de loisirs, etc.), qui impliquent pour la plupart des consommations d'énergie. Notre première ambition est donc d'explicitier les étapes et les chemins très divers qui conduisent de ces besoins de la société aux consommations des divers produits énergétiques dont elle peut disposer. Cela fera prendre conscience au lecteur de la très grande diversité des consommations d'énergie engendrées par les différents modes de satisfaction de ces services selon la nature des technologies mobilisées pour les mettre à disposition, mais aussi des infrastructures, des modes d'organisation de production et de vie des individus et des sociétés.

Nous nous intéresserons ensuite aux différents chemins qui permettent de remonter des produits énergétiques qui arrivent à notre porte (les carburants, l'électricité, le gaz, le fuel domestique, etc.) aux diverses ressources énergétiques fossiles, fissiles ou renouvelables disponibles. Nous décrirons en particulier les conséquences énergétiques des transformations que subissent ces diverses ressources primaires pour devenir utilisables par l'industrie et les ménages. En effet, ces transformations indispensables entraînent elles-mêmes des consommations d'énergie d'importances très diverses dont la connaissance est indispensable pour dresser des bilans comparatifs de performance d'accès à un service déterminé à travers des produits et des ressources diverses.

Les étapes qui conduisent d'un service énergétique aux ressources primaires étant ainsi explicités, nous nous attacherons à la description de la façon dont notre pays consomme annuellement les produits énergétiques finaux que les producteurs d'énergie mettent à disposition des divers usagers, par produit et par secteur économique. Cette description est synthétisée par une lecture détaillée du bilan énergétique de notre pays, avec une attention particulière aux nombreuses conventions qui sont associées à cette présentation synthétique et aux zones d'ombre de ce type de présentation.

Enfin, nous montrerons à travers de nombreux exemples la très grande diversité des situations énergétiques, aussi bien termes de demande que d'approvisionnement d'énergie qu'on rencontre dans les différents pays du monde.

### Chapitre 1 – Les besoins d'énergie

Qu'est-ce que l'on entend par «besoin d'énergie»? S'agit il de l'énergie elle-même ou des services qu'elle peut nous rendre? Quels services en attendons-nous? Quel est le contenu en énergie de ces différents services? Comment anticiper l'évolution de ces besoins en fonction du développement économique et social?

[...]

## *En résumé*

Le développement des sociétés se traduit par l'accès plus ou moins égalitaire à une diversité croissante de biens et services qui impliquent des consommations d'énergie. Mais les divers modes de satisfaction des besoins, auxquels ces services et ces biens répondent, entraînent des consommations d'énergie elles-mêmes très contrastées. Il n'y a donc pas de proportionnalité automatique entre les besoins de biens et de services d'une société et ses besoins d'énergie. Ces besoins d'énergie varient en effet considérablement pour un service donné en fonction de la façon dont celui-ci est satisfait. La question de la demande d'énergie d'une société ou d'un individu ne doit donc pas être confondue avec celle de la mise à disposition des services et des biens qu'elle attend. Le contenu en énergie de ces différents services dépend tout autant de la nature des infrastructures, des modes d'organisation de production et de vie des individus et des sociétés que des technologies mobilisées pour les mettre à disposition.

## **Chapitre 2 – De l'énergie utile à l'énergie finale : les services énergétiques**

Comment passe-t-on de l'énergie que nous ressentons comme réellement utile, la chaleur ou le froid dans notre logement, l'énergie mécanique de notre perceuse ou de l'essoreuse de notre machine à laver aux produits que nous proposent les distributeurs d'énergie, l'électricité, le gaz, le fioul, l'électricité, etc., auxquels on donne le nom «d'énergie finale»? Comment compte-t-on ces différents produits finaux pour dresser le bilan de consommation d'énergie d'une nation ou d'un secteur économique? Comment prendre en compte les variations horaires, journalières, hebdomadaires ou saisonnières des consommations des différents produits énergétiques?

[...]

## *En résumé*

Dans ce chapitre, nous avons parcouru les différentes étapes qui conduisent d'un service énergétique (se chauffer, se déplacer, s'éclairer) à la consommation des divers produits énergétiques mis à disposition des usagers. Nous avons montré la diversité des solutions susceptibles de procurer ces services selon la nature des infrastructures, les technologies et les modes d'organisation des sociétés. Nous avons constaté une grande diversité de caractéristiques de ces diverses solutions en termes d'efficacité énergétique.

Après avoir élucidé la question des unités qui permettent de comptabiliser les différents produits énergétiques, nous nous sommes attachés à la description de la façon dont un pays comme la France consomme annuellement les produits énergétiques finaux que les producteurs d'énergie mettent à disposition des divers usagers, par produit et par secteur économique.

Nous avons enfin examiné les lacunes d'un tel bilan en insistant sur trois points : la question des consommations par usage, la question de la répartition temporelle des consommations de produits énergétiques, la question de l'énergie grise.

## **Chapitre 3 – De l'énergie finale à l'énergie «primaire»**

Comment passer du produit énergétique, qui arrive à notre porte, à notre compteur, dans le réservoir de notre voiture (l'énergie finale) aux ressources d'énergie récoltées dans la nature qu'on appelle «énergies primaires»? Y a-t-il des pertes d'énergie au cours de ces transformations d'énergie primaire en énergies finales? Comment relier les kWh de notre facture de gaz ou d'électricité, les litres de fioul de notre chaudière, les litres de carburant sans plomb de notre voiture, les stères de bois que nous nous faisons livrer, aux ressources primaires qui ont permis de les produire? Comment comparer ces produits finaux et les filières qui permettent de les obtenir?

[...]

### *En résumé*

Les différentes ressources primaires, qu'elles soient fossiles, fissiles ou renouvelables ont presque toujours besoin de subir des transformations avant d'être utilisables par l'industrie ou les ménages. Ces transformations entraînent elles-mêmes des consommations d'énergie et des pertes qui doivent être prises en compte dans l'analyse du bilan énergétique d'obtention d'un service déterminé. C'est particulièrement le cas pour l'électricité (majoritairement produite encore en Europe par des centrales thermiques à charbon à gaz ou nucléaires) dont le bilan de production-transport-distribution est de l'ordre de 35%.

## **Chapitre 4 – Déchiffrer un bilan énergétique**

Le bilan énergétique d'un pays donne une image synthétique des caractéristiques principales de son système énergétique.

[...]

### *En résumé*

La lecture du bilan énergétique et son évolution au cours des années donne une image synthétique irremplaçable des caractéristiques principales du système énergétique d'un pays ou d'une région. Cette lecture suppose de bien comprendre la signification d'une série de conventions (parfois contestables) utilisées au niveau national ou international pour comptabiliser en une unité commune les différentes énergies finales et primaires. La comparaison des bilans énergétiques et électriques de la France et de l'Allemagne fait ressortir la diversité énergétique de deux pays voisins de même niveau de vie, aussi bien en termes de demande que d'offre d'énergie. Les bilans de quelques pays présentés en annexe 2 sont l'illustration de cette diversité des systèmes énergétiques existants.

## **Chapitre 5 – Les chiffres-clés de la demande énergétique**

Les situations énergétiques des pays sont très diverses aussi bien en termes de demande que d'approvisionnement d'énergie, même pour des pays comme l'Allemagne et la France, pourtant voisins, à la fois sur le plan du développement et sur le plan géographique. Qu'en est-il pour les grandes régions : monde, OCDE, pays émergents, pays en développement, Europe ? Quelles relations entre degré de développement et consommation d'énergie finale ou primaire des différentes régions ? Quelles disparités de consommation par habitant et par secteur d'activité économique ?

[...]

### *En résumé*

Les différentes zones du monde présentent des consommations d'énergie finale et primaires par habitant très diverses, non seulement en valeur absolue, mais aussi en parts de produits énergétiques ou de ressources mobilisées.

Au sein de l'OCDE, l'Union européenne apparaît comme plutôt vertueuse, dans la mesure où sa consommation d'énergie finale et primaire par habitant sont nettement plus faibles que celle de l'ensemble des pays de l'OCDE (22% et 23%) et que ses intensités énergétiques finales et primaires y sont également inférieures de 15% à celle de l'ensemble de l'OCDE. Il n'en reste pas moins que ses consommations par habitant sont encore près de deux fois supérieures à celles de la moyenne des pays hors OCDE.

La France apparaît comme mauvais élève sur presque tous les indicateurs par rapport à la moyenne européenne. Seule son intensité énergétique finale se situe 2% au-dessous de la moyenne européenne. Par contre, son rendement énergétique est près de 9 points inférieurs à celui de l'UE, sa consommation finale d'énergie par habitant est supérieure de 4%, sa consommation primaire par habitant est supérieure de 22% et son intensité énergétique primaire est supérieure de 11% par rapport à la moyenne de l'UE.

## Partie 2

### L'OFFRE D'ÉNERGIE, LES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES ET LES QUESTIONS D'ENVIRONNEMENT

*«Les enfants, vous savez ce que c'est les ressources naturelles ?  
Si vous ne savez pas, c'est pas grave, de toute façon, il n'y en a presque plus !»*

**Grand corps malade, *Le blues de l'instituteur*, 2008**

Dans la première partie de ce livre, nous nous sommes intéressés aux étapes qui conduisent des ressources primaires jusqu'à l'énergie utile aux usagers, pour satisfaire leurs besoins. Dans cette seconde partie, nous allons analyser l'amont du système énergétique et nous intéresser aux caractéristiques des diverses ressources primaires des filières de production qui conduisent aux différents produits énergétiques finaux.

Dans un premier temps, nous décrivons les caractéristiques physiques principales des différentes ressources fossiles, fissiles et renouvelables comme leur caractère de flux ou de stock, leur disponibilité spatiale et temporelle, leur densité ou leur valeur énergétique.

Après cette analyse générale, nous décrivons plus précisément les diverses ressources énergétiques potentiellement mobilisables par l'homme : ressources conventionnelles de charbon, de pétrole ou de gaz naturel, ressources non conventionnelles des différents types, ressources et réserves d'énergie fissile, ressources et potentiel mobilisable des différentes énergies renouvelables.

Vient ensuite une description détaillée des caractéristiques physiques et techniques des principales filières de production des produits énergétiques finaux, combustibles, carburants, électricité, chaleur directe. La très grande spécificité des filières de production d'électricité nous conduit à y consacrer deux chapitres. Le premier, qui décrit les différentes filières de production d'électricité à partir de ressources fossiles ou renouvelables, montre la diversité des solutions envisageables. Il met en relief l'émergence de filières de production d'électricité décentralisée qui peuvent à terme bouleverser l'organisation des réseaux électriques traditionnels. Le second de ces chapitres est entièrement consacré à la filière nucléaire dont on connaît l'importance particulière dans notre pays.

Après avoir analysé les questions qui concernent le transport, le stockage et la distribution des différents produits énergétiques, avec un zoom sur les réseaux électriques et l'émergence des réseaux intelligents, nous aborderons en détail les questions d'environnement local, régional et global que suscitent le recours à ces différentes filières énergétiques. Ce dernier chapitre traite des principales sources de pollution atmosphériques liées à l'énergie, des liens entre énergie et réchauffement climatique, du rôle des différents gaz à effet de serre émis par les différentes filières et présente une analyse quantitative précise des émissions de ces différents gaz pour chacune des grandes filières de production des produits énergétiques finaux.

#### **Chapitre 6 – Des ressources énergétiques aux caractéristiques contrastées**

Les produits énergétiques finaux que nous utilisons, chaleur, carburants, combustibles, électricité, peuvent être produits à partir de différentes ressources par ce qu'on appelle des «filières de production». Elles expriment la chaîne des actions et transformation nécessaires à l'obtention du produit énergétique final recherché. Ces ressources présentent des caractéristiques et des propriétés physiques très diverses qu'il est indispensable d'analyser pour comprendre les opportunités et les limites de leur emploi pour un usage final déterminé.

[...]

### *En résumé*

À l'issue de ce tour d'horizon rapide, retenons que les diverses ressources énergétiques fossiles, fissiles et renouvelables présentent des caractéristiques physiques très diverses. Elles ne sont donc pas totalement interchangeables comme le laisse à penser la comptabilité dans une seule unité (la tep) qu'on en fait dans les bilans énergétiques.

## **Chapitre 7 – Ressources, réserves fossiles et fissiles, potentiels d'énergie renouvelables**

La question des ressources des différentes énergies fait l'objet d'appréciations très diverses et de nombreuses polémiques. La diversité des chiffres mis en avant recouvre bien souvent une aussi grande diversité de concepts : parle-t-on de ressources découvertes et exploitables avec les technologies et dans les conditions économiques du moment ? De ressources découvertes mais pas encore exploitables ? De ressources espérées mais non encore découvertes ?

[...]

### *En résumé*

Les réserves d'énergies fossiles conventionnelles sont limitées pour le pétrole et le gaz naturel et très probablement pratiquement épuisées au cours du siècle qui vient. Les réserves de charbon, plus importantes, pourraient dépasser le siècle, mais le rythme d'exploitation risque d'être profondément limité par les craintes de réchauffement climatique. Les ressources non conventionnelles ont des potentiels qui apparaissent importants, mais leur exploitation potentielle pose des problèmes d'environnement local et global généralement très supérieurs à ceux déjà rencontrés avec les ressources conventionnelles. Les ressources en uranium sont limitées. Elles, pourraient être démultipliées par l'émergence de réacteurs rapides capables de brûler l'isotope <sup>238</sup> de l'uranium, mais au prix de risques techniques, économiques et environnementaux considérables.

Les potentiels annuels d'énergie renouvelables sont reconnus aujourd'hui comme très importants aussi bien dans les pays du Nord que dans les pays du Sud à long terme, mais ils font encore l'objet d'appréciations contrastées sur les méthodes de leur mobilisation.

## **Chapitre 8 – Les filières de production d'énergie finale**

Quelles sont les principales filières de production des produits énergétiques, combustibles, carburants, chaleur, etc. que nous utilisons ? À quels types de ressources font-elles appel ? Quels sont leurs caractéristiques, leurs qualités et leurs défauts ?

[...]

### *En résumé*

Il existe de nombreuses filières de production des principaux produits énergétiques finaux que nous utilisons à partir des ressources fossiles fissiles ou renouvelables. Certaines de ces ressources, en particulier le pétrole, se prêtent sans difficulté à la fabrication de l'ensemble des produits énergétiques finaux. D'autres, comme le nucléaire ou les énergies renouvelables, ne sont pratiquement utilisées que pour la fabrication de produits énergétiques bien déterminés. L'ensemble des produits énergétiques obtenus l'est avec des rendements énergétiques eux-mêmes très divers.

## **Chapitre 9 – Gros plan sur la production électrique (hors nucléaire)**

Dans les pays industrialisés, le système électrique a pris une place considérable aussi bien dans l'organisation industrielle que dans le confort domestique ou l'ensemble des

services. En Europe, où l'électricité n'arrive qu'en troisième position avec 20% des dépenses d'énergie finale, loin derrière les produits pétroliers (42%) et juste derrière le gaz naturel (21%), le réseau électrique est devenu indispensable à la mise en œuvre d'autres produits énergétiques finaux dans la plupart des usages (à l'exception des transports automobiles). Dans les pays en transition et en développement, l'accès aux services de l'électricité de réseau est considéré avec raison comme l'image même du progrès.

[...]

#### *En résumé*

Après une domination sans partage de la production d'électricité par des moyens centralisés au cours des 50 dernières années, on assiste depuis une dizaine d'années à l'émergence de technologies décentralisées de production électrique à rendement de plus en plus élevé. Leur emploi pourrait à court terme se justifier dans les cas où il est possible de valoriser la chaleur produite localement. Avec des rendements globaux qui peuvent atteindre plus de 80%, ces systèmes de cogénération permettent alors des économies d'énergie et des économies de gaz à effet de serre.

La production d'électricité renouvelable mondiale est également encore dominée par l'hydroélectricité (3600 TWh) avec une part importante de très grandes installations. La croissance de cette production (3% par an) est tirée par l'Asie (10%/an), l'Afrique et l'Amérique du sud dont les potentiels d'équipement sont très loin d'être saturés. L'éolien avec 370 TWh en 2011 est encore loin derrière mais ses perspectives de croissance sont considérables (15 à 20% par an dans les 10 ans qui viennent). Le solaire photovoltaïque, dont la production est encore marginale (69 TWh, 0,3% de la production mondiale), sort cependant de la marginalité dans certains pays européens. Il connaît actuellement un développement très rapide qui devrait se confirmer avec la maturité technico-économique attendue dans les prochaines années.

Ce développement attendu des différentes filières renouvelables comme des moyens de cogénération pourrait être l'occasion d'un rééquilibrage en faveur d'une décentralisation significative de la production d'électricité, porteur d'économies globales d'énergie.

### **Chapitre 10 – La production d'électricité d'origine nucléaire**

La production d'électricité nucléaire est au cœur du débat sur la transition énergétique. Cet ensemble de filières assez diverses au départ, qui s'est développé à partir des années 1950 aux États-Unis et un peu plus tard en Europe, s'est concentré majoritairement à partir des années 1970 sur la filière des réacteurs à eau (bouillante ou pressurisée) à uranium faiblement enrichi. C'est le cas en France où, après l'abandon de la filière graphite gaz, le très ambitieux programme français de 58 réacteurs construits sur une période d'une vingtaine d'années a été fondé sur la francisation d'un réacteur de la société Westinghouse, lui-même dérivé d'un réacteur de sous-marin. Quelles sont les filières actuelles ? Quelles filières à court et moyen terme sont-elles proposées ? Quelles sont les questions posées par le cycle du combustible et l'aval de la filière (démantèlement des réacteurs, retraitement et stockage des déchets) ? Quels risques d'accident et quels problèmes d'environnement ?

[...]

#### *En résumé*

Après le foisonnement initial de filières nucléaires qui ont été expérimentées dans les années 1960 (la génération 1), on assiste à partir des années 1970 à un développement important du nucléaire autour de filières de réacteurs à eau, dits de deuxième génération qui constituent l'essentiel du parc mondial actuellement en fonctionnement de plus de 400 réacteurs. L'ensemble de la filière ainsi développée bute aujourd'hui sur trois types de problèmes : le risque d'accident majeur, avéré depuis Tchernobyl et Fukushima, les

risques environnementaux à court, moyen et long terme entraînés par l'aval du cycle nucléaire (traitement et stockage des déchets, démantèlement), les risques de prolifération du nucléaire civil vers le nucléaire militaire.

La génération 3 de ces réacteurs, issue de la même filière des réacteurs à eau, dont les premiers prototypes sont actuellement en construction, se fixe des objectifs 10 fois plus ambitieux de sûreté que pour la génération 2. Plus que sur la réduction du risque intrinsèque lui-même (largement hors de portée puisqu'il s'agit de réacteurs de la même filière que la précédente génération), c'est sur les conséquences de ce risque que portent les efforts principaux de sûreté de ce type de réacteurs. Mais la complexité des systèmes à mettre en place qu'induit cet objectif jette un doute sur les chances de l'atteindre.

À plus long terme, la génération 4 se fixe l'objectif d'un usage beaucoup plus efficace des réserves d'uranium par mobilisation de l'uranium 238 dans des filières très différentes de celle des générations 2 et 3, alors que seul l'uranium 235 est actuellement mobilisé dans les générations actuelles de réacteurs. Mais cette ambition suppose la conception de réacteurs à neutrons rapides mettant en œuvre du plutonium et de l'uranium dans des réacteurs dont la sûreté reste problématique et qui posent des problèmes majeurs de prolifération.

Enfin les perspectives affichées à très long terme par la fusion thermonucléaire (après 2080) supposent franchies une série de barrières scientifiques et technologiques majeures. Les réacteurs de fusion suscitent des doutes très importants, aussi bien en ce qui concerne la fiabilité, les risques d'accident et les risques environnementaux qu'ils pourraient engendrer.

## **Chapitre 11 – Le transport et la distribution de l'électricité**

La mise à disposition d'énergie électrique aux usagers suppose d'acheminer en tout point d'un territoire et à tous les usagers des quantités d'électricité extrêmement variables au cours du temps. Or les outils de production sont également répartis sur le territoire et les profils de production temporels obéissent à des lois imposées par la nature ou la technique (intermittence du Soleil, variabilité du vent, difficulté de modulation de la puissance des centrales nucléaires, etc.).

[...]

### *En résumé*

La plupart des grands réseaux de transport et distribution d'électricité européens se sont développés au cours des 60 dernières années sur un modèle centralisé de type «top-down» avec des flux électriques unidirectionnels transitant majoritairement de grands sites de production vers le consommateur final à travers une cascade de lignes de tension décroissante. Le développement des productions décentralisées d'électricité, des outils nouveaux de communication et de calcul informatique change fondamentalement la donne pour l'avenir. Il ouvre une voie possible pour des réseaux «intelligents» capables de gérer et d'optimiser l'équilibre de l'offre et de la demande d'électricité au niveau territorial. Au delà des problèmes techniques soulevés, les questions de gouvernance et de régulation de ces nouveaux réseaux auront des conséquences importantes sur la réalité des gains attendus pour les ménages, la collectivité nationale et l'environnement.

## **Chapitre 12 – Stockage et déstockage des produits énergétiques.**

Le stockage de l'énergie est évidemment un enjeu important puisqu'il permet de découpler au mieux le rythme de production des produits énergétiques de celui de leur usage final. Mais alors qu'il ne pose pas de problème majeur pour un certain nombre de combustibles ou de carburants, il en pose pour la chaleur de réseau et l'électricité, parce que la variation de production de ces vecteurs dans le temps ne s'accorde pas toujours à la variation de la demande.

[...]



### *En résumé*

Le stockage des combustibles solides et des carburants s'effectue aujourd'hui sans grande difficulté. Les technologies de stockage du gaz donnent également satisfaction. Par contre, s'il existe de nombreuses technologies de stockage de l'électricité, aucune d'entre elles ne connaît aujourd'hui de développement suffisant pour répondre aux besoins à grande échelle qu'engendrent les fluctuations de la production et de la consommation d'électricité des grands réseaux. Cependant, de nouvelles technologies comme la méthanation ouvrent des perspectives nouvelles. Elles pourraient à moyen terme faire évoluer sensiblement la situation actuelle et permettre un stockage substantiel d'électricité.

## **Chapitre 13 – Les questions d'environnement**

Avec l'augmentation très rapide des consommations des diverses ressources énergétiques qui a accompagné ces cent dernières années de croissance démographique mondiale, d'industrialisation et de développement économique, les questions d'environnement liées à l'énergie ont changé à la fois de nature et de dimension géographique.

[...]

### *En résumé*

L'histoire des 50 dernières années est celle d'une montée progressive des problèmes d'environnement liés à la production et à la consommation d'énergie : extension des problèmes de pollution locale à la plupart des pays de la planète, régionalisation transfrontière, puis globalisation à la fois spatiale et temporelle des questions d'environnement liées à l'énergie. Les systèmes énergétiques sont responsables d'une part importante des pollutions atmosphériques locales et régionales engendrées, des émissions de gaz et de particules nocives par leur taille ou leur radioactivité pour la santé des hommes. Ils sont également responsables de plus de 60% d'émissions des gaz à effet de serre mondiales qui sont en rapide croissance. La prise en compte des gaz à effet de serre autres que le dioxyde de carbone, en particulier des émissions de méthane, permet de chiffrer la contribution relative à des horizons de temps divers (20 ans, 100 ans) de chacun de ces gaz pour l'ensemble des filières de mise à disposition des produits énergétiques finaux. Ces inventaires mettent en particulier en relief l'importance souvent négligée des émissions de méthane sur l'évolution du climat à court et moyen terme (2030–2050).

## Partie 3

### L'ÉCONOMIE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

*«Je me sers de mon argent pour faire des économies  
et je me sers de mes économies pour dépenser de l'argent.»*

**Francis Blanche, *Mon père*, 2012**

La première partie de ce livre était consacrée à l'analyse des étapes qui conduisent des ressources primaires à l'énergie utile aux usagers. La seconde a décrit les caractéristiques des diverses ressources primaires des filières de production qui conduisent aux différents produits énergétiques finaux et a abordé les questions d'environnement qu'entraîne leur exploitation.

Forts de ces bases, nous pouvons maintenant tenter d'apporter un éclairage sur un certain nombre de questions économiques et sociales, qui sont au cœur de la gestion et de l'optimisation des systèmes énergétiques. Il n'est pas dans notre propos d'aborder l'ensemble des questions théoriques et pratiques qui concernent cette thématique. Beaucoup de ces questions font déjà l'objet d'ouvrages récents. Ces ouvrages s'intéressent principalement aux questions des marchés de l'offre d'énergie et à sa régulation. On trouve beaucoup moins de publications sur l'économie de la demande et encore moins sur les outils économiques d'optimisation de l'ensemble offre-demande d'un système énergétique.

C'est la raison pour laquelle nous tenterons de développer des concepts et de décrire des types d'outils qui concernent tout autant la demande que l'offre d'énergie et qui permettent d'envisager une optimisation de l'ensemble d'un système énergétique.

Nous commencerons par une discussion sur la question des coûts et des prix de l'énergie. Que recouvrent ces notions, comment se forment ces coûts et ces prix, comment comparer entre eux les coûts d'énergie en provenance de filières dont les caractéristiques techniques et économiques sont extrêmement variées, pourquoi et comment utiliser la notion d'actualisation pour calculer ces coûts ?

Après avoir justifié l'usage d'une des méthodes qui recourt à la notion d'actualisation, la méthode de calcul du « Coût courant économique », nous serons en mesure de comparer les coûts unitaires non seulement des différentes filières de production de produits énergétiques finaux mais aussi les coûts d'économie de production ou de distribution de ces mêmes produits finaux. Cette analyse sur une base économique commune de la production et de l'économie d'un produit énergétique déterminé nous paraît centrale pour l'optimisation du système énergétique.

Nous nous intéresserons alors à la description et aux méthodes de prise en compte des coûts et des bénéfices qui n'apparaissent pas dans les coûts précédemment calculés d'une activité énergétique, mais qui lui partiellement ou totalement imputables : coûts ou bénéfices environnementaux (santé, effet de serre, paysages, accidents, radioactivité etc.), coûts ou bénéfices économiques (devises, emplois, etc.). Le chapitre suivant montrera comment les factures, des ménages, des entreprises ou d'un État (qui sont le produit de quantités par des prix de produits énergétiques) peuvent faire l'objet d'optimisations, individuelle et/ou collective, grâce aux différents outils économiques décrits précédemment.

Le dernier chapitre enfin explicitera, comparera et décrira les avantages et les inconvénients, les efficacités et les complémentarités éventuelles des différents instruments économiques dont peuvent disposer les pouvoirs publics pour orienter les politiques énergétiques qu'ils préconisent.

## **Chapitre 14 – Les prix et les coûts : de quoi parle-t-on ?**

Quand on parle de coûts et de prix de l'énergie, on parle à la fois de ceux des ressources énergétiques, de ceux d'un baril de pétrole, d'une livre d'uranium, d'une tonne de charbon, mais aussi de ceux du litre d'essence que nous achetons au poste d'essence, de l'électricité ou du gaz qui arrivent à notre compteur. Mais on parle aussi des économies d'énergie et de leurs coûts. Comment s'y reconnaître dans cette jungle ? Comment comparer ces différents coûts, ces différents prix ?

[...]

### *En résumé*

La comparaison des coûts ou des prix de produits énergétiques qui proviennent de filières très diverses, aussi bien en termes de structure de coût (investissement, frais d'exploitation, fin de vie, gestion des déchets, etc.) qu'en termes de durées de vie des installations, impose la mise en place de méthodes de calcul économiques spécifiques qui reposent toutes sur la notion d'actualisation. Parmi celles-ci, la méthode du «coût complet économique» (CCE) présente l'avantage de permettre la comparaison des coûts de produits énergétiques en provenance de filières présentant des profils temporels très divers. Cette méthode permet aussi d'accéder aux coûts des mesures d'économie d'énergie. Cette harmonisation des méthodes de calcul permet une comparaison directe des coûts entraînés par la mise à disposition d'un produit énergétique et l'économie de ce produit.

## **Chapitre 15 – La face cachée des coûts**

En même temps que les effets bénéfiques qu'on est en droit d'en attendre, l'activité énergétique, comme toutes les activités industrielles, provoque ou risque de provoquer des atteintes à l'environnement local ou global plus ou moins réversibles, des atteintes ou des risques sanitaires plus ou moins importants.

[...]

### *En résumé*

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence les effets pervers ou bénéfiques qui accompagnent la mise à disposition de différents produits énergétiques ou l'économie des mêmes produits. Ces effets pervers ou bénéfiques pour la société ne sont généralement pas pris en compte dans les coûts de production et donc dans les prix des produits énergétiques proposés par les industriels aux différents usagers. Les coûts ou bénéfices correspondants sont donc implicitement pris en charge ou engrangés par la société. L'internalisation de ces coûts ou de ces bénéfices pose une série de questions éthiques, méthodologiques et pratiques et fait donc débat dans chaque société.

Dans les cas où ces coûts ou ces bénéfices peuvent faire l'objet d'une appréciation objective et partagée, leur prise en compte peut affecter considérablement le coût réel des produits énergétiques. C'est le cas par exemple pour l'internalisation des émissions de gaz à effet de serre ou celle des coûts d'un accident majeur éventuel dans le calcul des coûts de production de carburants, de chaleur ou d'électricité.

## **Chapitre 16 – Du coût des énergies à la facture énergétique**

La facture énergétique de chacun des produits énergétiques (chaleur directe, carburants, électricité, gaz, etc.), qu'utilise un ménage, une entreprise ou un pays, est la somme de factures d'usages d'importance très variable de ces produits. Comment apprécier l'importance de ces usages dans la facture globale et quelles sont les marges de manœuvre pour maîtriser au mieux cette facture globale ?

[...]

### *En résumé*

Pour les ménages, les entreprises ou la collectivité nationale, ce n'est pas tant la maîtrise des prix des énergies que la facture énergétique qui compte. Cette facture est le produit de prix unitaires d'énergies par des quantités d'énergie. Il faut donc prendre en compte les marges de manœuvre que constituent les économies d'énergie et leur coût dans un calcul d'optimisation.

### **Chapitre 17 – Les instruments régaliens et économiques d'une politique de l'énergie**

La gestion et l'optimisation d'un système énergétique destiné à permettre l'accès aux services énergétiques pour tous dans les meilleures conditions sociales, économiques ou environnementales sont une affaire complexe qui implique un très grand nombre d'acteurs et qui doit répondre à des critères très divers.

[...]

### *En résumé*

Les pouvoirs publics des différents niveaux territoriaux disposent d'une gamme étendue d'instruments économiques pour gérer et optimiser le système énergétique : réglementations et normes, taxes, quotas et mécanismes de marché, accords volontaires, subventions et réductions d'impôt, etc. Ces instruments peuvent se révéler plus ou moins efficaces selon les secteurs d'activité et l'état de l'économie d'un pays. Ils présentent parfois des lacunes, voire des effets pervers. Ce n'est donc pas le choix d'un instrument unique, mais le plus souvent la combinaison de ces instruments qui constitue la politique de l'énergie qui doit se décliner de l'État central jusqu'à l'échelle locale, mais tout autant du citoyen-consommateur vers les pouvoirs publics.

## Partie 4

### PROSPECTIVE ET TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

«*Quel genre d'utopie laisse les enfants se faire dévorer par des bêtes sauvages ?*»

**Michael Diamond Resnick, *Kirinyaga, une utopie africaine*, 2000**

Depuis des décennies, l'histoire de l'énergie est rythmée par la parution de scénarios de prévision ou de prospective de l'approvisionnement énergétique mondial et régional. Le domaine de l'énergie est d'ailleurs un des rares domaines, avec la démographie, dans lesquels les prospectivistes, conscients de la très grande inertie des systèmes de production énergétique, aient pris le risque d'anticipations mondiales à 50 ou 100 ans.

Les scénarios mondiaux sont restés longtemps le monopole du Conseil mondial de l'énergie (CME) qui regroupait l'ensemble des grands producteurs d'énergie, en particulier les pétroliers, les gaziers et les électriciens. Le relais en a été pris au tournant du siècle par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le bras armé pour les questions énergétiques de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) qui regroupe les pays industrialisés.

L'histoire des scénarios de prospective énergétique mondiaux ou nationaux des trente dernières années est très éclairante, car elle montre bien l'évolution des concepts et des préoccupations.

Jusqu'à la fin des années 1980, la plupart des scénarios imaginaient pour 2050 des consommations d'énergie mondiale trois à quatre fois supérieures à celle des années 1980. Certains scénarios du Conseil mondial de l'énergie par exemple, sur l'hypothèse d'une loi quasiment inéluctable liant linéairement croissance économique et croissance énergétique, envisageaient sans sourciller des dépenses énergétiques mondiales supérieures à 30 Gtep par an en 2050.

Malgré le premier avertissement qu'avait constitué dès 1972 le rapport du club de Rome «Halte à la croissance», il faut attendre la fin des années 1970 en France et les années 1980 au niveau international pour voir apparaître des images de l'avenir énergétique dans lesquelles la croissance indéfinie des consommations d'énergie n'apparaît plus comme un dogme intangible et où la question de la demande énergétique n'est plus considérée comme une donnée exogène des scénarios présentés.

À partir de la fin des années 1980, la prise de conscience des menaces globales qui pèsent sur la planète (réchauffement climatique, destruction de la biodiversité, risques nucléaires, épuisement des ressources) conduit à des scénarios d'un type nouveau qui s'imposent des contraintes environnementales à horizon plus ou moins lointain préfigurant le concept de transition énergétique.

Enfin, au tournant des années 2010, les scénarios nationaux ou mondiaux qui viennent donner un contenu prospectif au concept de transition énergétique illustrent bien les divergences stratégiques profondes qui se cachent derrière ce vocabulaire commun.

#### **Chapitre 18 – Du productivisme à la transition énergétique**

Il aura fallu une génération pour que les scénarios d'un avenir énergétique mondial économe en énergie et s'alimentant principalement à partir des énergies renouvelables, proposés par quelques pionniers, commencent à être sérieusement pris en considération par les institutions nationales et internationales. Cependant, même si ces images de l'avenir apparaissent aujourd'hui comme indispensables pour dessiner la transition, l'utilité de leur mise en œuvre reste souvent contestée au nom de réflexes culturels et de visions encore parfois très productivistes.

[...]

## *En résumé*

L'analyse historique des scénarios prospectifs mondiaux et français depuis 30 ans montre bien l'évolution des préoccupations et des débats qui ont traversé nos sociétés. Après les trente glorieuses caractérisées par une énergie abondante et très bon marché qui tirait la croissance économique des pays occidentaux, les crises pétrolières de années 1970 et 1980 font prendre lentement conscience au monde de la fragilité d'anticipations uniquement fondées sur les principes de l'extrapolation des tendances passées.

À la fin des années 1970, c'est dans le milieu universitaire ou parmi les critiques aux programmes nucléaires engagés dans les pays occidentaux que s'impose la nécessité d'une prospective détaillée et argumentée de la demande énergétique associée au développement des sociétés. En 1985, cette démarche est étendue et systématisée par José Goldemberg au niveau mondial, avec une attention particulière aux nécessités du développement des pays du Sud. À la fin des années 1980, apparaissent les premiers scénarios mondiaux ou nationaux qui s'imposent des conditions environnementales normatives (émissions de gaz à effet de serre, déchets nucléaires) et décrivent des trajectoires fondées sur la maîtrise de la demande d'énergie et le développement des énergies renouvelables. Il faut cependant attendre le milieu de la première décennie du siècle actuel pour voir ces préoccupations environnementales diffuser dans les sphères internationales officielles. L'analyse prospective détaillée de la demande énergétique et la limitation des émissions de gaz à effet de serre trouvent droit de cité dans les scénarios des instances internationales. Il faut cependant attendre le début des années 2010 pour voir apparaître la traduction sous forme de scénarios du concept de «transition énergétique», souvent encore abusivement réduit à la question de la réduction des émissions du CO<sub>2</sub> des systèmes énergétiques.

Au terme de cette lente évolution, plusieurs acquis incontestables : la reconnaissance de la nécessité d'une prospective de la demande énergétique et de la prise en compte des émissions de CO<sub>2</sub> associée à la satisfaction de cette demande d'énergie ; la prise de conscience de l'importance des économies d'énergie dans les stratégies énergétiques.

Reste un débat important sur la légitimité du recours au nucléaire ou d'autres technologies non encore industrialisées (stockage du CO<sub>2</sub> par exemple) pour satisfaire une demande d'énergie mondiale ou nationale. Reste surtout un débat non tranché sur les modes de vie, les modes de gouvernance et le rythme nécessaires à une réelle transition énergétique.