

# RAPPORT D'ETUDE n° 7

## QUELLE NOUVELLE REPARTITION DES SOURCES D'ENERGIE A L'HORIZON 2050 ? QUELS SERONT LES FLUX DE TRANSPORT D'ENERGIE ?

### *Résumé*

Malgré les efforts que les Etats, réunis à l'occasion de la COP 21, s'engagent à réaliser pour réduire les effets néfastes de l'énergie, les consommations, au plan mondial, ne cessent de croître, tirées par les pays en développement. Il est donc normal qu'une réflexion soit menée sur les évolutions possibles des sources et des consommations d'énergie, et sur les flux - maritimes en particulier - qui en découleront, mais force est de constater qu'il est très difficile de prévoir aujourd'hui quelle sera la situation à un horizon aussi éloigné que 2050. Comme l'expérience le montre, il peut en effet se produire des évolutions non prévues comme l'exploitation des gaz de schiste, et même des variations brusques liées à des événements ponctuels, à caractère technique, économique, voire politique.

La France, pour sa part, est très dépendante de l'extérieur pour son énergie, soit à plus de 98 % pour le pétrole, le gaz, le charbon ou encore l'uranium.

C'est sous forme électrique (42,6 %) que cette énergie est le plus consommée, puis sous forme de pétrole (30,1 %), et de gaz ((14,0 %). Cette hiérarchie ne devrait guère changer d'ici 2050. La principale question qu'on doit se poser est de savoir quelle part prendra à cette date le nucléaire dans la production d'énergie électrique. S'il présente des avantages certains (pas d'émission de CO<sub>2</sub>), il peut en effet être soumis (comme l'a encore montré récemment la catastrophe de Fukushima) à des changements importants et imprévisibles.

La part du nucléaire devrait, d'après la loi de transition énergétique de 2015, reculer des 80 % à 50 % en 2025, la relève étant prise par les énergies nouvelles et le gaz, nécessaire pour combler les insuffisances récurrentes de vent ou de soleil.

Les sources d'approvisionnement en énergie ne devraient guère changer et aucune difficulté majeure n'est aujourd'hui à prévoir compte tenu de la diversité de ces sources.

Pour ce qui concerne le pétrole, l'amélioration du rendement des moteurs, le développement des véhicules hybrides et l'abandon progressif du fioul pour le chauffage domestique devraient entraîner une baisse importante de nos importations, par navires pétroliers, de brut ou de raffiné. L'impact sur les flux pétroliers de l'ouverture probable de la route arctique est difficile à estimer.

Les importations de gaz, par oléoducs ou par méthaniers (GNL), devraient en revanche fortement augmenter.

Quant aux importations d'oxyde d'uranium, par conteneurs multimodaux, elles ne devraient, pas plus qu'aujourd'hui, soulever de difficultés.

Les tendances pour les autres pays européens devraient globalement être les mêmes que pour la France, à ceci près que la part du nucléaire dans la production électrique y est plus faible, et même nulle pour certains d'entre eux.

Pour le reste du monde, on peut prévoir une augmentation importante des besoins en énergie de la Chine et de l'Inde, du fait de leur taille et de leur développement, ainsi que du Japon et de la Corée du fait de leur manque de ressources. Les trafics correspondants concerneront en particulier l'océan Indien, la mer de Chine, les détroits d'Ormuz, de Malacca et de la Sonde.

# LA RÉPARTITION DES SOURCES D'ÉNERGIE À L'HORIZON 2050

## SON IMPACT SUR LES FLUX DE TRANSPORT

### 1- LE PROBLÈME POSÉ

Pouvoir disposer d'énergie en quantité suffisante et en toute sécurité est une exigence majeure de tout pays soucieux de son indépendance économique. Malgré un manque de ressources propres, la France a pu jusqu'à présent y satisfaire, grâce à une politique volontariste dont la création par l'Etat, en 1924, de la Compagnie Française des Pétroles (CFP, ancêtre de Total), la construction systématique de centrales hydroélectriques et, depuis les années 1960, la réalisation d'un important programme électronucléaire en sont de bons exemples.

Mais qu'en sera-t-il demain ou après-demain ? Où seront les ressources dont nous aurons besoin ? Comment pourra être assuré en toute sécurité le transport jusque chez nous des énergies nécessaires ? Une réponse à ces questions est de la plus haute importance pour tous les responsables de l'énergie mais, il ne faut pas l'oublier, c'est par voie de mer que nous arrivent principalement le pétrole, le gaz et l'uranium, sans compter le charbon. Aussi est-il normal que la Marine nationale, responsable opérationnel in fine de leur bon acheminement, puisse elle-même avoir, suffisamment à l'avance, des indications sur ce qui devrait se passer dans les décennies à venir.

La présente note est une contribution de l'Académie de marine à cette réflexion. Elle traite naturellement du cas français, mais il s'agit d'un problème qui dépasse le cadre national car les différentes sources d'énergie inter-réagissent pour ce qui concerne aussi bien leur disponibilité que leur prix ou les technologies mises en œuvre. Cette note aborde donc également, mais plus brièvement, les questions qui se posent au plan européen et au plan mondial.

### 2- LA DIFFICULTÉ DU PROBLÈME

Peut-on prévoir ce qui arrivera en 2050, horizon que s'est fixé l'EMM ?

Il existe naturellement des tendances lourdes en matière d'énergie, par exemple la baisse inéluctable des réserves disponibles, la montée en puissance des pays en développement, Chine et Inde notamment, l'émergence des énergies renouvelables (éolien, solaire), la lutte contre les gaspillages, ... Mais il peut se produire également des évolutions non prévues comme l'exploitation des gaz de schiste, et même des variations brusques liées à des événements ponctuels, à caractère technique, économique, voire politique.

Les accidents survenus, pour des raisons différentes, sur les centrales nucléaires de Tchernobyl en 1986 et de Fukushima en 2011, ont en particulier remis en cause l'existence même des centrales nucléaires dans certains pays, et entraîné des changements pour d'autres énergies (par exemple, à la suite de Fukushima, achat par le Japon, au prix fort, de GNL).

La menace de fermeture de gazoducs passant par l'Ukraine n'est de son côté que la conséquence d'une crise internationale.

Quant aux variations de la consommation et du prix du pétrole, elles sont largement liées à la crise qui a atteint l'ensemble des économies depuis près de dix ans.

Faire des prévisions pour 2050 est donc presque impossible, et les documents ou rapports publiés sur le sujet ne s'y sont pas encore hasardés\*. On trouve des données pour 2020 (Grenelle de l'environnement), pour 2035 (BP Outlook), pour 2040 (AIE AnnualEnergy Outlook), mais rarement pour 2050, c'est-à-dire pour dans pratiquement 35 ans. Et encore s'agit-il bien souvent d'extrapolations de tendances constatées dans un passé récent, ces extrapolations trouvant leur justification dans le fait que l'industrie de l'énergie est une industrie lourde, avec des coûts et des délais importants. Il faut en effet 5 à 10 ans pour construire une grosse centrale électrique ou pour développer un champ pétrolier).

---

\* Une liste de documents de référence est donnée à la fin de la note

### 3- LA SITUATION ACTUELLE DE LA FRANCE

#### 3.1 Degré de dépendance du point de vue énergétique

La France importe :

- 98,5 % de son pétrole (pays de l'ex-URSS, Moyen-Orient, Afrique, Mer du Nord, ...),
- 98 % de son gaz naturel (Norvège, Pays-Bas, Algérie, Russie, ...),
- 100 % de son charbon (Australie, Etats-Unis, Afrique du Sud, Colombie),
- 100 % de son uranium (Australie, Canada, Gabon, Niger, Russie).

#### 3.2 Répartition de la consommation d'énergie primaire en France métropolitaine

En 2014, la consommation d'énergie était de 256,6 Mtep (tonne d'équivalent pétrole). Sa répartition, corrigée des variations climatiques, était la suivante :

- électricité (production nucléaire, production hydraulique par pompage) : 42,6 %
- pétrole : 30,1 %
- gaz : 14,0 %
- charbon : 3,4 %
- énergies renouvelables : 9,5 % dont :
  - . bois-énergie : 3,8 %
  - . hydraulique : 2,1 %
  - . biocarburants : 1,2 %
  - . déchets urbains : 0,4 %
  - . éolien : 0,6 %
  - . autres : 1,4 %
- déchets urbains non renouvelables : 0,5 %.

La structure de la consommation d'énergie de la France a profondément évolué au cours de la période 1973-2013. La part du charbon est passée de 15 % à 5 %, celle du pétrole de 68 % à 30 %, alors que la part du gaz était multipliée par deux (de 7 % à 14 %), et celle de l'électricité primaire par plus de dix (de 4 % à 44 %). Cette évolution résulte de plusieurs facteurs tels que la diffusion de nouvelles techniques, la modification de la répartition de la consommation et de l'activité économique entre biens et services, la délocalisation d'activités « énergivores », les efforts en matière d'économie d'énergie, etc. En niveau, la consommation d'énergie primaire, corrigée des variations climatiques, a varié en moyenne annuelle de :

- + 1,4 % sur la période 1973 – 1990,
- + 1,5 % sur la période 1990 – 2002,
- - 0,3 % sur la période 2002 – 2011.

En 2012 et 2013, la consommation d'énergie primaire tournait autour de 260 Mtep, ce qui correspond au niveau atteint au plus fort de la crise économique, en 2009.

#### 3.3 Approvisionnement des centrales nucléaires françaises en combustible

Etant donné l'importance de l'énergie nucléaire en France, il paraît important de rappeler quelques éléments concernant l'importation de sa source d'énergie. 12 000 à 13 000 tonnes d'oxyde d'uranium (« yellow cake ») sont importées par an en provenance du Niger, du Canada, de l'Australie, du Kazakhstan. Ce produit est déchargé dans les ports de Sète, du Havre et de Hambourg. Il n'y a pas de difficultés particulières concernant son transport et sa manutention (voir appendice 1).

## 4- UN SCÉNARIO POSSIBLE POUR LA FRANCE EN 2050

### 4.1 Aperçu général

Par rapport à l'Europe et au reste du monde, la France jouit actuellement d'une situation énergétique plutôt favorable, grâce à la part très importante de son électricité d'origine nucléaire et à la diversité de ses sources d'approvisionnement pour le pétrole et le gaz. Cependant, du point de vue économique, l'importation de ces deux hydrocarbures représente la majeure partie du déficit commercial de la France.

Les évolutions pour les 35 années à venir seront largement dictées par des considérations environnementales (décisions internationales, opinion publique, impact de la taxe sur le CO<sup>2</sup>, etc.) ou politiques, les consommateurs français semblant accepter une augmentation du prix de l'énergie, qui serait compensée par une diminution des quantités grâce à l'amélioration des rendements, à la faible consommation des véhicules, à l'isolation thermique des habitations, notamment. La consommation globale, actuellement de 260 Mtep/an, pourrait décroître légèrement jusqu'en 2050, alors que le PIB augmenterait légèrement.

### 4.2 La loi sur la transition énergétique

On rappellera seulement ici les principaux objectifs affichés dans la loi de transition énergétique, loi d'août 2015, qui précède donc de peu la tenue de la réunion de la COP21 (décembre 2015) :

- Réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990.
- Réduire de 30 % la consommation d'énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012.
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40 % de la production d'électricité.
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012.
- Réduire de 50 % les déchets mis en décharge à l'horizon 2025.
- Diversifier la production d'électricité et baisser à 50 % la part du nucléaire à l'horizon 2025.

### 4.3 Le pétrole

Le pétrole reste, et restera même au-delà de l'horizon 2050, notre flux d'importation d'énergie le plus important et le plus critique.

Globalement, l'importation de pétrole, brut ou raffiné, diminuera fortement grâce à l'amélioration des rendements des moteurs, au développement des véhicules hybrides, à l'abandon progressif du fioul pour le chauffage domestique (remplacé par le gaz), les besoins en pétrochimie et en industrie restant par ailleurs stables. La tendance récente (consommation globale de 85 Mt en 2000, et de 73 Mt en 2013) devrait se poursuivre. On peut donc imaginer une consommation d'environ 50 Mt à l'horizon 2050.

Il faut bien intégrer que notre civilisation actuelle est encore dépendante du pétrole pour les transports (terrestres, aériens, maritimes), pour la chimie et les matières synthétiques, engrais, plastiques, résines, colles, peintures, et pour de nombreux procédés industriels.

Le maintien du flux d'importation du pétrole (de plus en plus sous forme de produits raffinés) est donc essentiel pour la France.

### 4.4 Le gaz

Le gaz, importé par gazoducs ou sous forme GNL (40 Mtep/an environ), n'assure actuellement que 10 % de la production d'énergie, essentiellement pour le chauffage résidentiel, le tertiaire et l'industrie. Son importance devrait croître fortement, passant peut-être à 20 %, et apportant ainsi la flexibilité nécessaire au développement des énergies renouvelables dont la production est de fait fluctuante. Il faut d'ailleurs noter ici que la politique actuelle de développement rapide de ces énergies ne dit pratiquement rien de la nécessité de disposer à l'avenir de centrales au gaz couvrant suffisamment leurs fluctuations.

En 2050, la situation risque d'être tendue. Les gaz d'Algérie, de la mer du Nord et des Pays-Bas seront en effet presque épuisés, mais on devrait pouvoir tabler encore essentiellement sur la Russie et ses pays satellites, sur le Qatar et l'Australie (dont les exportations se font toutefois de plus en plus vers l'Extrême-Orient). Quant aux productions gazières d'Afrique et des Amériques (Sud et Nord), elles devraient être alors largement consommées sur place après avoir passé un stade d'exportation dans la période 2020-2030.

Et il ne faut pas trop compter sur les hydrates de méthane sous-marins (clathrates), dont les réserves mondiales estimées sont le double de celles du gaz classique, mais dont l'exploitation pose des problèmes technologiques non résolus à ce jour ; un essai a été fait au Japon, avec quelques difficultés.

Pour les importations, le problème auquel on sera confronté est que d'autres pays vont aussi devoir augmenter leur part de gaz dans leurs mix énergétiques, en particulier ceux qui abandonnent le nucléaire (Allemagne, Japon), ainsi que les pays émergents (Afrique, Chine, Inde, ...). Le prix du gaz et du GNL rendu en Europe risque donc de s'en ressentir.

Par ailleurs, le stockage du gaz reste une préoccupation : le stockage souterrain en France n'est en effet aujourd'hui que d'environ 90 TWh, soit 2 mois de consommation.

L'ensemble de ces considérations montre l'importance et les aspects critiques pour la France des approvisionnements à moyen terme de gaz, bien plus que ne pourrait le laisser penser une situation confortable à court terme.

#### 4.5 L'électricité

La part de l'électricité dans le bilan des consommations énergétiques devrait augmenter, passant de 42 % en 2014 à plus de 50 % en 2050 (développement des véhicules hybrides, du chauffage électrique domestique et tertiaire, etc.).

Mais il existe une grande inconnue, c'est la part que prendra effectivement le nucléaire dans cette évolution, et donc dans l'évolution des flux d'énergies car, malgré ses avantages incontestables (pas d'émission de CO<sup>2</sup>), il est soumis aux aléas des opinions publiques et des décisions des pouvoirs politiques. Selon la loi sur la transition énergétique de 2015, le retrait progressif des centrales nucléaires anciennes, malgré des cures de rajeunissement pour certaines d'entre elles, devrait faire passer cette part des 80 % actuels à 50 % en 2025.

Une forte augmentation de nos exportations d'électricité vers nos pays voisins (Allemagne, Italie, Suisse, Espagne, Royaume-Uni), actuellement marginale (1,8 Mtep en 2013), pourrait justifier une moindre diminution de nos capacités dans la filière nucléaire.

La relève, probablement partielle, du nucléaire devrait être assurée par les énergies nouvelles, éolien et solaire, mais il faut bien noter que ces énergies sont intermittentes, et que le coût du stockage de l'électricité est encore élevé, ce qui nécessitera le maintien de centrales au gaz.

## 5- LA SITUATION AU NIVEAU EUROPÉEN ET AU NIVEAU MONDIAL

### 5.1 Union Européenne

#### 5.1.1 Situation actuelle

L'Europe importe 53 % de son énergie (France : 46 %, UK : 45 % ; Allemagne : 61 % ; Espagne : 73 % ; Italie : 76 %). Ces valeurs ont peu varié depuis 10 ans.

Concernant le gaz, il est importé :

- depuis la Norvège (101 Gm<sup>3</sup>) par gazoducs sous-marins ;
- depuis l'Algérie (27 Gm<sup>3</sup>) et la Libye (5,5 Gm<sup>3</sup>) par trois gazoducs sous-marins ;
- depuis la Russie (157 Gm<sup>3</sup>) par gazoducs terrestres et sous-marins ;
- depuis l'Algérie, le Qatar et l'Afrique de l'Ouest (49 Gm<sup>3</sup>) via 9 terminaux de réception, dont 3 situés en France.

#### 5.1.2 Prévisions pour 2035

D'après BP (appendice 2), la situation en 2035 pour l'Union Européenne, comparée à celle de 2015, pourrait être la suivante :

- la consommation globale chuterait de 6 %,
- les énergies fossiles compteraient encore pour 66 % de l'énergie primaire consommée (pétrole : 29 %, gaz : 29 %, renouvelables : 18 %, charbon : 8 %),
- la consommation chuterait pour tous les secteurs :
  - . transports : - 14 %,
  - . industrie : - 9 %,
  - . autres secteurs : - 4 %,
- la consommation sous forme électrique augmenterait de 7 % ;
- les importations de sources d'énergies primaires chuteraient de 6 % (pétrole de 57 % à 48 % ; gaz : 45 % en 2035),
- les émissions de carbone chuteraient de 25 %.

### 5.2 Situation mondiale

En 2015, la consommation mondiale d'énergie était, d'après BP, de 13 186 Mtep, en croissance constante et très faiblement impactée par les crises économiques récentes. Pour 2035, elle devrait être en augmentation de 33 %.

La part du pétrole (et des bio-fuels) devrait passer de 32,5 % à 28,9 %, celle du gaz de 24,3 % à 26,1 %, celle du charbon de 29 % à 26,1 %, celle de l'énergie nucléaire de 4,3 % à 4,8 %, celle de l'hydroélectricité de 6,8 % à 7,1 %, et celle des énergies renouvelables de 2,6 % à 7,1 %.

Les énergies nouvelles et le gaz augmenteraient donc leur part au détriment du pétrole et du charbon.

## 6- LES FLUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE

### 6.1 Remarques générales

Les deux derniers diagrammes figurant dans l'appendice 2 montrent quels étaient, d'après BP, en 2014, les flux à travers le monde, pour le pétrole d'une part, pour le gaz (par gazoduc et par voie maritime) d'autre part.

Comme pour les consommations, les prévisions de flux à l'horizon 2050 sont assez aléatoires, bien qu'au-delà des soubresauts à court terme les évolutions soient lentes. Les facteurs politiques (instabilité de nombreux pays producteurs, politiques énergétiques des Etats concernés) joueront très probablement davantage que les évolutions technologiques.

Pour les transports par voie maritime, il sera sans aucun doute nécessaire de pouvoir compter comme aujourd'hui sur la disponibilité des navires spécialisés que sont les pétroliers et les méthaniers. En revanche, le transport de l'oxyde d'uranium, qui s'effectue dans des conteneurs multimodaux, ne devrait pas poser de problème particulier.

### 6.2 Le cas de la France et de l'Europe

A part une baisse des quantités, les voies de transport de l'énergie importée ne devraient guère changer d'ici à 2050.

Le pétrole, de plus en plus sous forme de produits raffinés, devrait continuer à venir du Moyen-Orient et de la Russie.

Le gaz continuerait à venir :

- par gazoduc depuis la Russie et ses pays satellites, et depuis l'Algérie et la Libye (avec des portions critiques sous-marines : Baltique, mer Noire, gazoducs transméditerranéens),
- et sous forme de GNL de provenances variées.

La diversité croissante des sources d'approvisionnement énergétique fait que la criticité des détroits se réduit. L'impact de l'ouverture de la route arctique reste par ailleurs difficile à estimer. On notera seulement à ce sujet que la Russie devrait bientôt exporter du GNL à partir de la péninsule de Yamal en Sibérie.

### 6.3 La situation au plan mondial

Au niveau mondial, on prévoit que les gros flux d'énergie par voie maritime en 2050 concerneront l'Asie :

- la Chine et l'Inde, du fait de leur taille et de leur développement ;
- le Japon et la Corée, du fait de leur manque de ressources.

Les énergies transportées seront essentiellement le pétrole et le GNL depuis le golfe Arabo-Persique, le charbon et le GNL depuis l'Australie. Ces trafics, en nette augmentation par rapport à ceux d'aujourd'hui, concerneront l'océan Indien, la mer de Chine, les détroits d'Ormuz, de Malacca et de la Sonde. Il y a en revanche peu de flux énergétiques à travers le Pacifique.

---

### Documents de référence

- Doc. Commissariat général au développement durable Édition 2015 (février 2016)
- Doc. Ademe : « *L'énergie en France. Etat des lieux et perspectives* » (juillet 2012)
- BP « *Energy Outlook 2035: Country and regional insights - EU* » (bp.com/Energy Outlook)
- BP « *Statistical Review of The World Energy* » (juin 2015)
- EIA « *Annual Energy Outlook 2015 (with projections to 2040)* » (avril 2015)

### Appendices

A 1 L'électricité nucléaire en France

A 2 Diagrammes résumant les estimations faites par BP

## **L'ÉLECTRICITÉ NUCLÉAIRE EN FRANCE**

### 1- Présentation générale

On peut raisonnablement penser qu'en 2050 la part de l'électricité dans la consommation française d'énergie augmentera, mais que les mesures de sobriété énergétique prises au cours du temps conduiront à un niveau de production électrique comparable à celui d'aujourd'hui (environ 550 TWh), sans préjuger des origines de cette électricité. Assurer la sécurité des approvisionnements nécessaires à la production d'électricité restera donc un impératif majeur.

La production nationale d'électricité est actuellement réalisée pour l'essentiel à partir de trois grands secteurs : le nucléaire (75 à 80 % à l'aide de réacteurs à eau pressurisée), les renouvelables (15 à 20 %, comprenant hydraulique, éolien, solaire, biomasse, déchets, ...), et le gaz, qui complète les deux précédents. Il existe en plus des échanges avec les pays limitrophes dans lesquels la France, grâce à son nucléaire, est globalement exportatrice, mais est parfois importatrice, par exemple d'électricité allemande.

Même si à terme les proportions sont amenées à changer avec une diminution de la part du nucléaire au profit des renouvelables (position officielle selon la loi sur la transition énergétique), les trois filières de production d'électricité coexisteront en 2050 et le nucléaire devrait rester à un niveau élevé.

L'évolution réelle de l'électronucléaire est imprévisible. Il continue à se développer dans le monde (Chine, Russie et même pays du Golfe, ...). Même si, en France et en Allemagne notamment, l'accent est actuellement placé sur ses inconvénients, faciles à mettre en avant, il n'est pas sûr que ses avantages ne reviennent pas un jour en force dès lors que les problèmes controversés mais conjoncturels d'aujourd'hui, tels que ceux des déchets fortement radioactifs, ou encore des durées et coûts de construction de nouvelles centrales, auront trouvé des solutions adaptées. On peut en effet citer en faveur du nucléaire, et à titre d'exemples, les faibles émissions de CO<sup>2</sup> associées à des moyens de production de grandes capacités, nécessaires à l'alimentation continue des grandes entreprises ou des systèmes de transport type TGVet, pour la France, la très forte indépendance électrique que lui confère son industrie nucléaire quasiment autonome, même si l'uranium naturel est importé, ce qui ne pose pas de problème difficile à maîtriser, comme on va le montrer.

### 2- L'approvisionnement des centrales nucléaires françaises en uranium

Dans le domaine des centrales électronucléaires, la France dispose d'une industrie pratiquement autonome en matière de cycle du combustible : fabrication des assemblages contenant le combustible, fabrication des pastilles de combustible, mise en place dans les réacteurs (transports, manipulations), extraction, stockage des assemblages usés sur les sites de centrale et de façon centralisé, retraitement...

Après la fermeture des mines françaises d'uranium, il est cependant devenu nécessaire d'importer la matière première, c'est-à-dire l'uranium naturel, point de départ du cycle du combustible. Cela n'est, comme on va le voir, ni difficile ni risqué, ni sur le plan technique ni sur le plan géopolitique, ce qui justifie la fermeture des mines françaises.

La France a besoin annuellement de 8 500 à 9 000 tonnes d'uranium naturel pour alimenter ses centrales nucléaires. L'exploitant des centrales nucléaires, EDF, achète les assemblages de combustible au fabricant, Areva, qui lui-même dispose de sources d'approvisionnement en amont d'uranium dans différentes zones géographiques, Niger, Canada, Kazakhstan, éventuellement Australie.



Les teneurs en uranium des gisements sont très variables (0,4 à 40 kg par tonne de minerai), les gisements exploités actuellement ayant des teneurs variant plutôt entre 1 et 4 kg par tonne. Les gisements uranifères sont nombreux dans le monde. Si, pour des raisons géopolitiques, un pays n'était plus en état d'assurer sa production, un autre pourrait prendre le relais.

Les réserves mondiales sont estimées à 5,5 Mt d'uranium naturel au coût actuel (40 \$/kg). Elles augmentent rapidement avec le coût admissible (15 Mt pour un coût de 80 à 100 dollars).

Les teneurs en minerai étant faibles, il convient d'éviter de transporter des masses importantes de matières stériles. Le minerai est pour cela concentré sur place. Après plusieurs étapes de concentration et de purification, l'uranium naturel se trouve sous forme d'une poudre de couleur jaune appelée *yellow-cake* qui est, en base, un oxyde d'uranium, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, facile à manipuler.

Le *yellow-cake* contient environ 750 kg/t d'uranium naturel. Cet uranium naturel ne contenant que 0,7 % d'uranium fissile (U<sup>235</sup>), le *yellow-cake* n'est que très faiblement radioactif. Son transport doit observer les règles nationales et internationales (émises par l'AIEA notamment) relatives aux transports de produits radioactifs mais, à l'intérieur de celles-ci, le transport du *yellow-cake* ne fait l'objet d'aucune disposition spécifiquement contraignante, à la différence par exemple des matières irradiées. Les emballages et les conteneurs de transport utilisés sont donc des équipements classiques faisant l'objet de suivis et de contrôles classiques.

La poudre de *yellow-cake* est habituellement placée dans des bidons en acier d'une contenance individuelle de 200 litres, eux-mêmes regroupés par séries de 36 dans des conteneurs multimodaux d'une quinzaine de tonnes pouvant se transporter par voie terrestre ou par voie maritime.

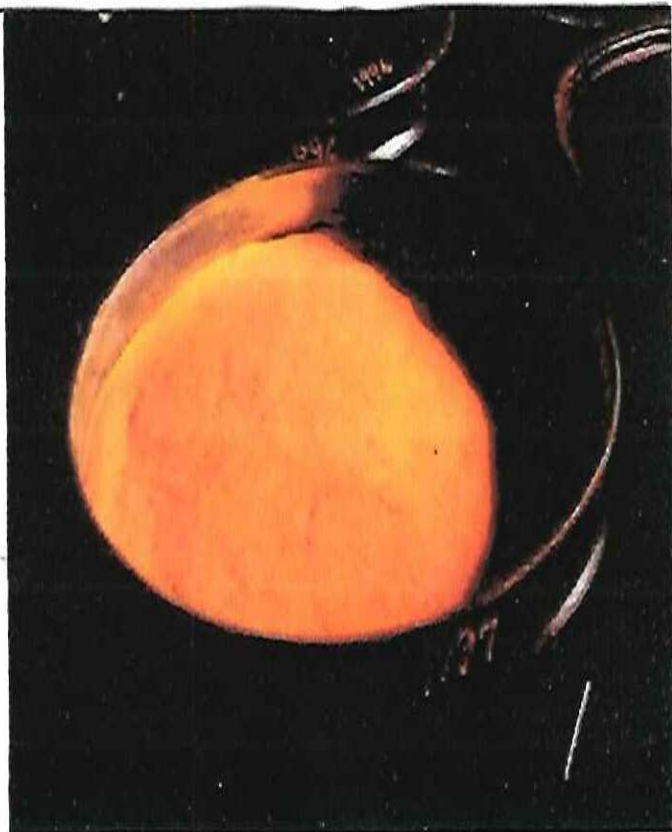
La France ayant besoin pour l'approvisionnement des centrales à eau pressurisée de 12 à 13 000 tonnes par an de *yellow-cake* (8 500 à 9 000 t d'uranium naturel), on voit que les transports correspondants se font à l'aide d'un nombre de conteneurs, 1 000 à 2 000, très faible comparé au nombre de conteneurs transportés annuellement par voie maritime à destination de la France.

Les ports de déchargement sont, en France, Le Havre et Sète, et Hambourg en Allemagne ; ils n'ont pas fait jusqu'à présent l'objet de problèmes difficiles à résoudre ni techniquement, ni politiquement. La poudre de *yellow-cake* a ainsi toujours pu être acheminée vers les usines d'enrichissement où commence véritablement le cycle du combustible.

En complément, pour éviter toute confusion, on notera qu'un certain nombre de centrales nucléaires françaises utilisent des éléments combustibles contenant une part de matière fissile provenant du retraitement de combustible usé (combustible MOX). Les transports et manutentions afférents à ces assemblages font l'objet de spécifications et contrôles étroits mais, pour les centrales françaises, toutes les opérations en cause sont terrestres.

Pour les pays étrangers qui font retraiter leurs combustibles usés en France, les transports maritimes spécialisés et les réglementations internationales à leur sujet sont contraignantes et doivent évidemment être intégralement respectées dans le cadre d'accords entre pays partenaires. Il s'agit là d'opérations de commerce international de matières sensibles.

*YELLOW-CAKE*

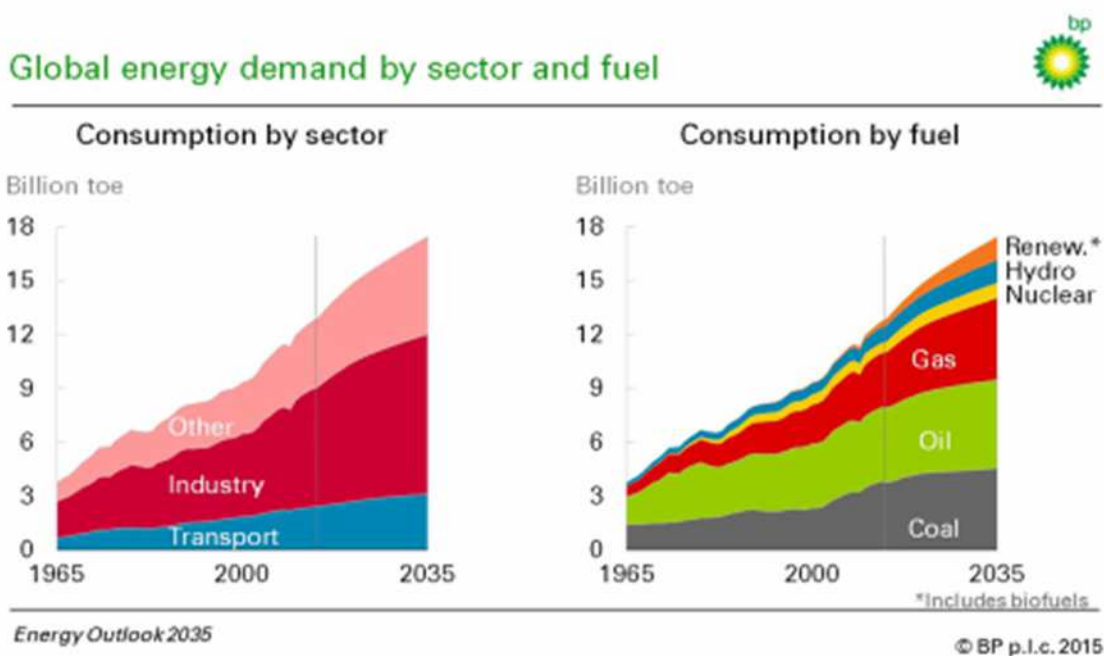


## APPENDICE 2

### DIAGRAMMES RÉSUMANT LES ESTIMATIONS FAITES PAR BP

#### 1- Evolution des consommation par secteur et par type d'énergie de 1965 à 2035

### DIAGRAMMES RESUMANT LES ESTIMATIONS FAITES PAR BP



D'après ces diagrammes, les crises économiques auraient un impact modéré sur les consommations d'énergie au niveau mondial.

#### 2- Flux d'énergie pour le pétrole et pour le gaz en 2014

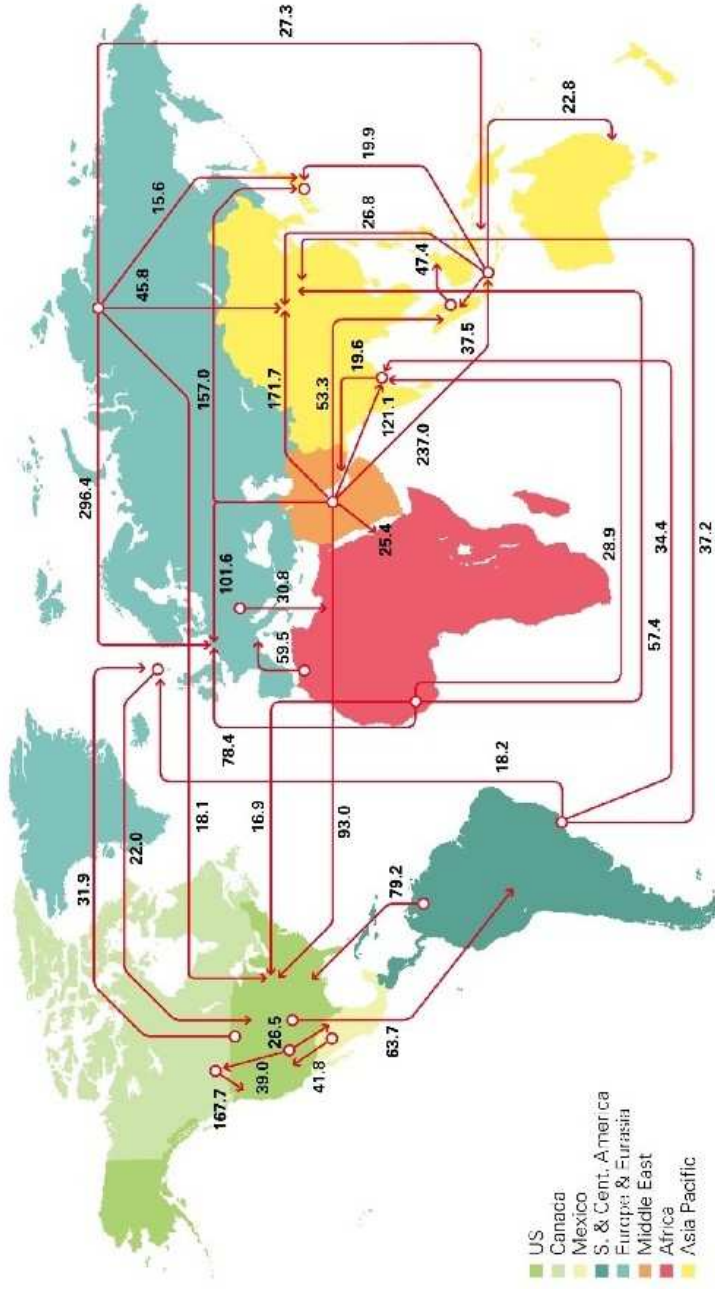
Le premier diagramme montre, pour le pétrole et les produits raffinés, le caractère multidirectionnel des flux. On notera, pour le transport par oléoduc, l'importance particulière des trajets Russie-Europe, Russie-Chine, Canada-Etats-Unis et, pour le transport par voie maritime, l'importance de l'océan Indien, le plus gros du flux allant de diverses zones de production vers l'Asie.

Pour le gaz, la majeure partie du trafic maritime actuel (GNL, traits bleus), va du Moyen-Orient et de l'Australie vers la Chine, le Japon et la Corée, et du Moyen-Orient vers l'Europe (via le canal de Suez). Les exportations africaines et sud-américaines sont actuellement modestes mais elles devraient croître ; quant aux Etats-Unis, ils devraient être exportateurs de GNL dans les années 2020.



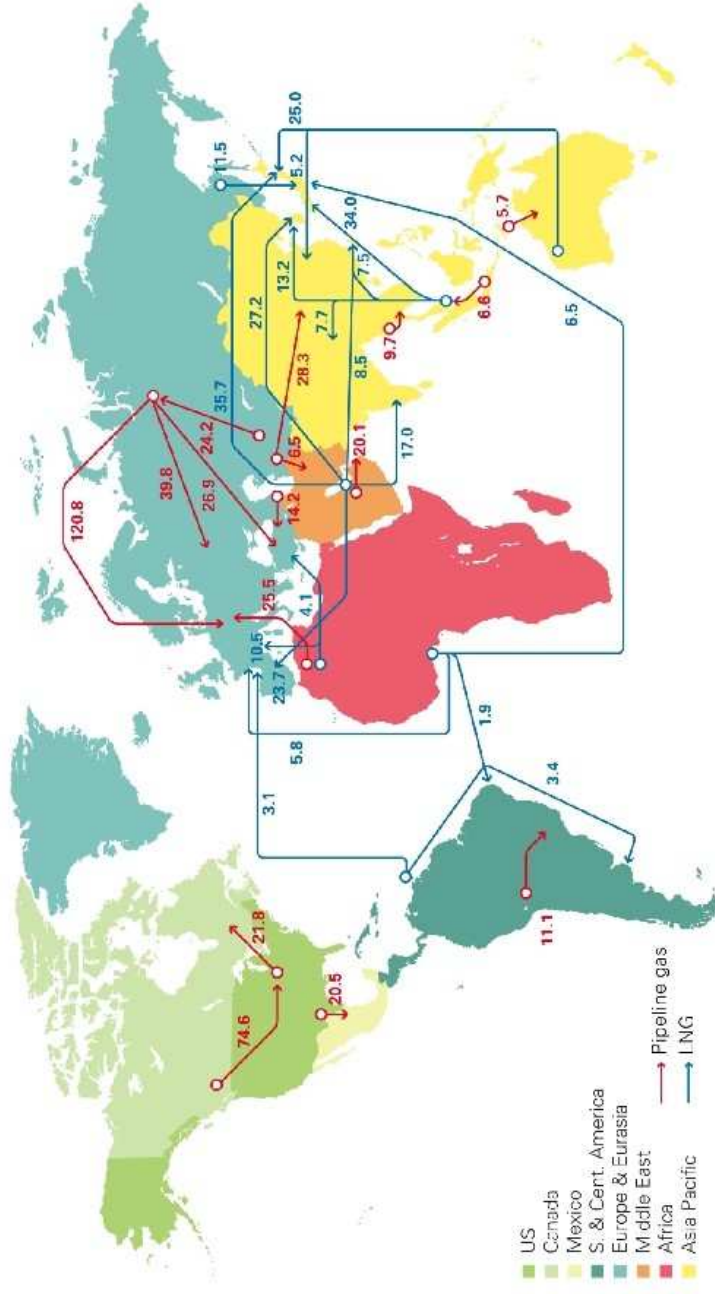
# Major oil trade movements 2014

Trade flows worldwide (million tonnes)





## Major gas trade movements 2014 Trade flows worldwide (billion cubic metres)



Source: Includes data from Cedigaz, CISSat, FGE MENagas Service, IHS CERA, PIRA Energy Group.