

Comment est calculé le coût de l'électricité nucléaire ?

Serge DEGUEUIL

1. MÉTHODOLOGIE D'APPROCHE DE LA DÉMARCHE

Le coût comparatif de l'électricité des différentes filières de production constitue actuellement un sujet de divergence notoire entre les différents acteurs. Ces divergences proviennent principalement :

- du message qui veut être diffusé
- des éléments qui sont pris en compte dans l'estimation du coût
- de la méthode de calcul
- de la disponibilité des données
- de la période sur laquelle porte l'estimation ...

Cette comparaison est d'autant plus difficile que les facteurs qui entrent dans l'estimation des coûts sont souvent très différents entre filières et dans une même filière, ces estimations peuvent même dépendre du point de vue dans lequel on se place (coût global, coût comptable, coût cash...).

Cet article n'abordera que la filière électronucléaire en se référant à **l'étude de la Cour des comptes de 2012¹**. Il a essentiellement pour but de dresser un inventaire de tous les éléments qui entrent dans le calcul des coûts et de sensibiliser le consommateur sur le rapport entre les investissements engagés et le prix de revient du KWh électronucléaire.

Ceci permettra entre autre d'établir un canevas d'analyse qui facilitera par la suite la comparaison poste par poste avec les autres filières.

Le coût global décline les dépenses réelles engagées, l'estimation des dépenses futures permettant de mener le parc à son terme de 40 ans et le coût des dépenses annuelles de production.

Deux exemples de calcul du prix du KWh sont donnés à titre indicatif.

Ce prix est exprimé en **€ / kWh pour le service rendu**, c'est-à-dire en prenant en compte la totalité de l'énergie fournie par le parc² nucléaire pendant toute sa durée de vie.

2. PARC DE PRODUCTION

Puissance installée : 62 510 MW

- **palier 900** : 34 réacteurs de 39 à 35 ans
- **palier 1300** : 20 réacteurs de 32 à 25 ans donc 10 réacteurs de plus de 30 ans et plus
- **palier 1450** : 4 réacteurs de 17 à 15 ans

Durée de vie minimale prévue 40 ans

Energie fournie sur 40 ans par le parc actuel avec un taux de disponibilité forfaitaire³ de 80 % :

$$62\,510 \times 8\,760 \times 0,8 \times 40 = 1,7 \cdot 10^{13} \text{ kWh}$$

¹ Cette étude demandée par le premier ministre avait pour but d'éclairer le gouvernement sur les coûts de la filière électronucléaire

² Les investissements et les différentes dépenses s'étendant sur une très longue période, tous les coûts ont été ramenés € 2010

³ Depuis 2006 le taux de disponibilité décroît régulièrement de 83.6 à 78.5 % faute d'investissements de maintenance suffisants. La politique actuelle de maintenance d'EDF a pour objectif de ramener ce taux à 85 % dans un proche avenir

3. ÉLÉMENTS À PRENDRE EN COMPTE DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE NUCLÉAIRE

La filière nucléaire de par la complexité du domaine constitue une science en soi intégrant de très nombreux domaines de recherche et de développement que l'on ne retrouvera pas systématiquement dans les autres filières de production d'électricité :

- dépenses courantes (production)
- coût de la construction investissement initial
- investissement de maintenance
- dépenses de recherche
- dépenses de démantèlement
- charges de gestion du combustible irradié (transport et retraitement)
- gestion des déchets radioactifs

Tous ces thèmes couvrent la totalité du cycle de l'électricité depuis la recherche initiale jusqu'au démantèlement et la gestion des déchets sur le long terme.

4. ANALYSES PAR THÈMES

4.1. DÉPENSES COURANTES DE PRODUCTION

Les dépenses courantes annuelles couvrent les dépenses de production de l'électricité elles-mêmes (combustible, personnel, consommations externes, impôts et taxes, et fonctionnement des centrales) ainsi que les frais de production

	8 954 M€
Frais de sécurité, sûreté et transparence	644 M€
Total dépenses courantes de production	9 598 M€

Ce coût correspond au fonctionnement annuel (référence année 2010, production totale 407,9 TWh)

4.2. COÛT DE CONSTRUCTION ET DÉPENSES INITIALES

Coût de la construction	72 862 M€
Frais d'ingénierie et de main d'œuvre EDF	6 888 M€
Frais de pré exploitation, mise et route, essais, formation...	3 488 M€
Frais intercalaires	12 800 M€
Coût total des constructions 2010	96 038 M€

4.3. INVESTISSEMENTS ARÉVA-COGÉMA

Investissement pour l'enrichissement	8 000 M€
Investissement de retraitement	22 000 M€
Investissement total	30 000 M€
Coût pour la France (50 % financé par les clients)	15 000 M€

4.4. INVESTISSEMENT DE MAINTENANCE

Les investissements de maintenance sont difficiles à évaluer car ils dépendent essentiellement de la mise à niveau suite à l'évolution des normes et plus particulièrement à la prise en compte de l'effet Fukushima.

Jusqu'en 2010 ils se situaient sur une moyenne annuelle de 1,5 Md€, mais pourrait atteindre 3,7 Md€ dans les années à venir.

Coût sur la période 2003/2010	8 320 M€
Coûts estimés sur la période 2010/2025	55 500 M€
Coût total estimé des investissements de maintenance	63 820 M€

Ce cout ne prend pas en compte les investissements de première génération.

4.5. DÉPENSES DE RECHERCHE

Les dépenses de recherche comprises entre 1957 et 2010 s'élèvent à 55.2 Md€ et couvrent toutes les filières des générations 1 à 3 ainsi que de la génération 4. Ceci correspond à un investissement moyen d'un peu plus d'1 Md€ par an que l'on considèrera constant jusqu'en 2042 fin du parc actuel (diminution de dépenses sur le parc actuel et augmentation sur la génération 4.

Coût des dépenses 1957/2010	55 200 M€
Projection jusqu'en 2042	3 200 M€
Total des dépenses de recherche	87 200 M€

On considèrera que toutes les dépenses de recherche contribueront à la maîtrise des processus.

4.6. DÉPENSES DE DÉMANTELEMENT

L'estimation du coût du démantèlement porte sur l'ensemble du parc nucléaire et des installations annexes d'EDF, AREVA et du CEA civil.

EDF

Il y a au total 74 installations :

- 62 installations en activité dont 58 réacteurs
Le prix intègre les GV déjà changés 18 398,5 M€
- 12 installations arrêtées Reste à payer fin 2010 2 504,4 M€
Coût du dernier cœur (fin de filière) 3 800,0 M€

ARÉVA

Concerne essentiellement le site de La Hague pour 81 % 7 108,4 M€

CEA Civil

Ceci concerne toutes les installations de recherche du CEA ne bénéficiant pas d'un effet de série (laboratoire, installations pilotes, réacteur d'étude ...)

3 911,2 M€

Total des dépenses de démantèlement 35 722,5 M€

4.7. CHARGES DE GESTION DU COMBUSTIBLE IRRADIÉ (TRANSPORT ET RETRAITEMENT)**EDF**

Actuellement 18546 tonnes de combustible sont stockés, en attente de traitement, soit sur le site des centrales soit à La Hague.

Charge de gestion des combustibles EDF 14 385,8 M€

CEA civil

Le combustible irradié ne représente que 49 tonnes. Mais contenu de la spécificité des produits ceci représente tout de même une charge importante

Charge de gestion des combustibles CEA 419,9 M€

Total des charges de gestion du combustible irradié 14 805,7 M€

4.8. CHARGES DE GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les déchets radioactifs proviennent de la production d'électricité, de la recherche, des activités de défense, du secteur médical et autres industries non nucléaires. L'essentiel provient des combustibles des centrales nucléaires pour 81 %. Ces chiffres sont des estimations sur la gestion future des déchets.

Charges brutes relatives à la gestion future :

EDF	23 017 M€
AREVA	2 859 M€
CEA	2 403 M€
ANDRA	83 M€

Total des charges brutes relatives à la gestion future 28 300 M€

5. COÛT DU CAPITAL

Bien que significatif le coût du capital n'est pas intégré dans cette étude car on ne connaît pas parfaitement l'historique du financement au cours du temps, ni la valeur économique du parc. Cette estimation repose donc sur des conventions qui ne sont pas prises en compte dans cette analyse.

6. RÉSUMÉ DU COÛT DU NUCLÉAIRE (HORS COÛT DU CAPITAL)

Investissement nécessaire au fonctionnement du parc	
Construction EDF (*)	96,0 Md€
Investissement AREVA (*)	15,0 Md€
Recherche	87,2 Md€
Investissement de maintenance (*)	63,8 Md€
Démantèlement	35,7 Md€
Gestion du combustible	14,8 Md€
Déchets radioactifs	28,3 Md€

Total toutes dépenses confondues **341 Md€**

Dépenses courante annuelle de production **9,6 Md€**

Année de référence 2010. Production 408 TWh

(*) Ne prend pas en compte les dépenses de première génération

7. ESTIMATION DU PRIX DU KWH (EXEMPLE DE CALCUL)

L'analyse ci-dessus détaille la totalité des dépenses répertoriées liées à la production d'électricité. L'estimation du prix du kWh va dépendre des éléments qui vont être intégrés dans le calcul.

Coût de production

Ce coût, lié au coût du combustible, à la rétribution du personnel et plus globalement au coût de la vie, est forcément variable dans le temps.

Mais afin d'avoir un point de comparaison on retiendra les données affichées par la Cour des comptes dans son étude de 2012.

Si l'on ne tient compte que des dépenses annuelles de production d'électricité le coût du kWh est de :

$$9,6 \text{ Md€} / 408 \text{ TWh} = 0,024 \text{ €} / \text{kWh} \quad \text{pour l'année de référence 2010}$$

Coût de fonctionnement sur 40 ans (hors coût du capital)

Si l'on ne retient que les frais indispensables au fonctionnement des centrales de production, il faut prendre en compte le coût de la construction du parc nucléaire et des installations de traitement, les investissements de maintenance des installations et la gestion du combustible.

Ces frais sont à répartir sur la totalité de la production électrique.

$$(96 + 15 + 63,8 + 14,8) \text{ Md€} / 1,7 \cdot 10^{13} \text{ kWh} = 0,011 \text{ €} / \text{kWh}$$

Le prix de revient de l'électricité est : $0,024 + 0,011 = 0,035 \text{ €} / \text{kWh}$ pour l'année de référence 2010

Coût complet de la filière nucléaire (hors coût du capital)

Maintenant si l'on considère que l'électricité nucléaire doit couvrir l'ensemble des dépenses liées au nucléaire (recherche, gestion du combustible et des déchets, démantèlement etc.), le coût de fonctionnement complet est alors de :

$$341 \text{ Md€} / 1,7 \cdot 10^{13} \text{ kWh} = 0,019 \text{ €} / \text{kWh}$$

Le prix de l'électricité nucléaire, toutes dépenses confondues hors coût du capital, s'établit à :

$$0,024 + 0,019 = 0,043 \text{ €} / \text{kWh} \text{ pour l'année de référence 2010.}$$

La prise en compte du coût du capital devrait rapprocher le prix du kWh à celui de la Cour des comptes dans son estimation 2012 (voir chapitre 8).

8. ESTIMATION ET AVIS DE LA COUR DES COMPTES

L'estimation de la Cour des Comptes repose sur 4 modes de calcul différents :

Coût comptable 0,0334 € / kWh

Coût comptable qui tient compte de l'amortissement du parc mais pas de la rémunération du capital

Coût méthode Champsaur 0,0331 € / kWh

Coût de l'approche de la commission Champsaur tient compte de l'amortissement du parc et de la rémunération du capital qui n'est pas amorti (objectif : calcul d'un tarif)

Coût comptable complet 0,0398 € / kWh

Coût comptable complet de production (C3P) qui tient compte de l'amortissement, de la rémunération du capital qui n'est pas amorti et de l'augmentation du coût du parc de remplacement

Coût courant économique 0,0495 € / kWh

Coût courant économique (CCE) ne tient pas compte de l'amortissement du parc actuel, rémunère le capital investi à l'origine en tenant compte de l'inflation (objectif d'un coût moyen sans référence historique).

Remarque de la Cour des comptes : Ce n'est pas ce coût de production qui est aujourd'hui calculé dans les comparaisons internationales, notamment celles de l'AEN⁴, ni dans la comparaison aux autres énergies, comme dans les coûts de référence de la DGEC⁵.

9. DURÉE DE VIE DES CENTRALES NUCLÉAIRES

La durée de vie des installations industrielles est forfaitairement limitée à 40 ans pour les raisons suivantes :

- on estime que les investissements ont été rentabilisés
- que les progrès technologiques font que certains équipements deviennent obsolètes
- que les normes ayant changé, en particulier en matière d'environnement et de sécurité, une mise en conformité doit être effectuée
- que la fourniture ne correspond plus au besoin

Ces critères s'appliquent au nucléaire et EDF conscient de ces problèmes a prévu un investissement de 3,7 Md€ par an jusqu'en 2025 pour mettre ses installations à jour et ainsi amener la durée de vie à 60 ans soit une fourniture de $2,7 \cdot 10^{13}$ kWh.

Le coût complet serait alors ramené à :
341 Md€ / $2,7 \cdot 10^{13}$ kWh = 0,012 € / kWh

En considérant que les frais supplémentaires, de sécurité, de sureté et de transparence sont inclus dans les dépenses courantes de production (voir § 4.1) l'augmentation de la durée de vie des centrales engendrerait un gain de 36 % sur le coût de fonctionnement.

10. CONCLUSION

L'inventaire de tous les éléments qui entrent en ligne de compte dans le coût de l'énergie électrique nucléaire permettra à chacun de juger du poids relatif de chaque poste sur le prix de cette énergie.

Elle met en évidence en particulier que, bien que les investissements soient lourds en matière de structure industrielle, de sécurité et de gestion des déchets, ils contribuent pour moins de la moitié dans le prix de revient de l'électricité.

Ces prix sont exprimés en € 2010. Le coût de fonctionnement ne devrait pas évoluer de façon sensible car les dépenses futures ont été anticipées dans cette évaluation. Le facteur variable est essentiellement le coût de production qui dépend du marché annuel.

⁴ AEN Agence pour l'Energie Nucléaire (OCDE)

⁵ DGEC Direction Générale de l'Energie et du Climat