

# «Comment assurer l'approvisionnement électrique de la Suisse?»

**Efficacité électrique,  
production renouvelable,  
nucléaire:  
comparaison des coûts»**



**Weinmann-Energies SA**

**Octobre 2009**

# Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>2</b>
1.1 Objectifs de la présente étude .....	4
1.2 Un exemple français .....	4
<b>2. Efficacité énergétique</b> .....	<b>7</b>
2.1 Méthodes .....	7
2.2 Résultats .....	9
2.2.1 Illustration de la consommation d'électricité en Suisse .....	9
2.2.2 Potentiel d'économies d'électricité et coûts .....	11
2.2.3 Comparaison des résultats: méthode SAFE/méthode Fribourg .....	16
<b>3. Les énergies renouvelables</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Coût du nucléaire</b> .....	<b>21</b>
4.1 Coût d'une nouvelle centrale nucléaire .....	24
4.2. Fiabilité et transparence de la réponse au Postulat Ory .....	26
4.3 Coûts externes du nucléaire .....	28
4.4 Récapitulatif du coût du kWh nucléaire en Suisse et dans d'autres pays .....	30
<b>5. Comparaison des résultats des différentes alternatives</b> .....	<b>35</b>
5.1 Coûts du kWh .....	35
5.2 Effet sur le climat et sur l'économie .....	37
5.2.1 Climat .....	37
5.2.2 Economie .....	39
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>40</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>41</b>
<b>8. Annexes</b> .....	<b>42</b>

# 1 - Introduction

**A**ctuellement, la Suisse consomme près de 58 TWh d'électricité par an, dont le 40 % environ est issu de l'énergie nucléaire. Au vu de l'augmentation constante observée de la consommation d'électricité en Suisse (augmentation de la consommation admise de 2 % par an) et du vieillissement des centrales nucléaires existantes, les autorités fédérales envisagent la construction d'une nouvelle installation. Celle-ci comporterait un réacteur dit EPR (réacteur européen à eau pressurisée) et serait mise en service en 2030, sur le site d'une ancienne

centrale («*Coûts réels de l'énergie nucléaire*», Rapport du Conseil fédéral répondant au Postulat ORY n° 06.3714, décembre 2006).

Bien que la construction d'une nouvelle centrale améliorerait la sécurité d'approvisionnement du pays, il y a lieu d'examiner toutes les opportunités disponibles afin de suivre la meilleure voie possible. En effet, d'autres possibilités sont envisageables, telles que l'efficacité électrique, qui ferait diminuer la consommation, et le développement des énergies renouvelables.

**La Suisse consomme actuellement quelques 58 TWh d'électricité par an, dont 40 % environ est pourvu par la technologie nucléaire.**

**Au vu de l'augmentation de la consommation et du vieillissement des infrastructures existantes, l'OFEN souhaite garantir la sécurité d'approvisionnement pour les années à venir.**

**Délais de mise en fonction d'une nouvelle centrale nucléaire: 2030!**



**D'autres solutions doivent alors être envisagées d'ici là.**

Un désavantage de la technologie nucléaire est d'être longue à mettre en place. D'ici 2030, d'autres solutions transitoires seraient donc de toute façon à envisager. Dans le futur, le pays pourrait également se trouver face à une pénurie de combustible nucléaire, car cette ressource est présente sur la Terre en quantité limitée. En effet, les réserves d'uranium exploitables sont connues pour les 50 à 100 prochaines années environ (*rapport de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique,*

*«Uranium 2007: Resources, Production and Demand», 2008).*

En parallèle, un nombre croissant de citoyens ainsi que certaines associations d'intérêt public se posent la question de savoir si une centrale nucléaire s'avère vraiment nécessaire ou si d'autres solutions sont exploitables. De même du côté des principaux partis politiques: trois d'entre eux demandent la construction d'une nouvelle centrale et deux rejettent cette solution. Le débat est ouvert!

## Des questions se posent...

1. Une nouvelle centrale est-elle indispensable?
2. Existe-il des alternatives?
3. Le coût de ces alternatives est-il raisonnable?

Les arguments en faveur d'une nouvelle centrale sont la sécurité d'approvisionnement, les faibles émissions de CO<sub>2</sub> de la filière (discutées plus loin) et les coûts apparemment très bas du kWh nucléaire comparativement aux kWh économisés grâce à une meilleure efficacité ou à ceux issus d'énergies renouvelables. Le rapport GaBE du

Paul Scherrer Institute («*Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten*» rapport GaBE, PSI, mai 2005), qui a étudié le potentiel des énergies renouvelables mais n'a pas investigué dans le potentiel d'économie d'électricité, donne les chiffres globaux présentés dans le tableau 1.

**Tableau 1:**

Coûts de l'électricité renouvelable et nucléaire en Suisse (Rapport GaBE, PSI, mai 2005, <http://gabe.web.psi.ch>).

	Coûts [cts/kWh]	Page (résumé du rapport à l'adresse internet ci-dessus)
Electricité renouvelables	15	2
Electricité nucléaire actuelle génération III/III+	4.5	3
Electricité nucléaire future génération III/III+	3.8	3
Electricité nucléaire EPR dans le futur *	4.5 - 5.2	3

\* Estimation du coût basé sur une centrale finlandaise EPR. Or, dans le cas de cette centrale, les coûts de construction ont déjà augmenté de 50%, et il n'est pas possible de savoir quand cette dernière pourra être terminée («Nucléaire: l'énergie des déchets», *Le Temps*, 5 juin 2009).

Par ailleurs, une étude française révèle qu'il est tout à fait possible d'économiser et de produire assez d'électricité pour éviter le recours au nucléaire. De plus, cette option permet le développement économique de

toute une région («Un courant alternatif pour le Grand Ouest, quelles alternatives au réacteur EPR?», *Les 7 vents du Cotentin*, 2006). Les résultats de cette étude sont présentés au chapitre 1.2. ■

## 1.1 - Objectifs de la présente étude

**L**a technologie nucléaire étant grandement controversée dans notre pays, il est opportun d'étudier les possibilités d'alternatives au nucléaire. En effet, il semblerait que les économies d'électricité obtenues par amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que la production d'électricité à partir de sources renouvelables pourraient remplacer au moins une centrale nucléaire. C'est à cette question que nous tenterons de répondre par le présent rapport. Nous nous pencherons également sur les coûts des mesures d'efficacité et du

développement des différentes sources de production renouvelable. En effet, les mesures d'efficacité électrique et le développement de la production renouvelable sont à considérer conjointement puisqu'il peut être considéré qu'un kWh économisé est égal à un kWh produit par une énergie renouvelable.

Nous verrons également brièvement quels sont les bénéfices amenés par l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables sur l'économie et l'emploi. ■

**Quel est le meilleur investissement pour la Suisse?**

**Meilleure efficacité énergétique & développement des énergies renouvelables**

**OU**

**Nucléaire**

**Réflexion à long terme sur les impacts économiques (emploi, indépendance énergétique) et écologiques (protection du climat).**

## 1.2 - Un exemple français

**E**n 2007, la construction d'une nouvelle centrale nucléaire à technologie EPR a débuté en Normandie, suite à la décision d'EDF et du gouvernement français. Dans ce cas, aucune alternative n'a jamais été envisagée et le public n'a pas été concerté.

Suite à cela, le réseau français «Sortir du nucléaire» s'est penché sur la question suivante: «Avec les 3 milliards d'euros prévus pour la centrale EPR, que pourrait-on faire dans la région

Grand Ouest de la France, dans les domaines de la maîtrise de la demande d'énergie et des énergies renouvelables, et pour l'emploi?». Pour répondre à cette question, un mandat a été donné au bureau Les 7 vents du Cotentin. Les coûts en euros ont été rapportés aux francs suisses avec 1 euro = 1.5 frs. De ce rapport («*Un courant alternatif pour le Grand Ouest, quelles alternatives au réacteur EPR?*», 2006) découle les propositions suivantes:

**Tableau 2:**

Potentiel d'économie et de production d'électricité renouvelable avec 4.5 mia de francs dans la région du Grand Ouest de la France.

Propositions	Budget en % du total	Electricité économisée ou produite [TWh]	Coût du kWh produit ou économisé sur 15 ans [cts/kWh]	Mise en œuvre et effets	Nombre d'emplois créés
1) Création et fonctionnement d'Agences locales de l'énergie (ALE)	10 %	-	?	Décentralisation des compétences pour la gestion de l'énergie. Acteurs indispensables à la mise en œuvre des actions proposées.	400
2) Mesures de maîtrise de l'énergie	33 %	7	1.41 cts/kWh	Campagnes d'information, crédits d'encouragement aux appareils efficaces, promotion de l'habitat bioclimatique, mesures et conseils concernant les moteurs électriques, différentes actions au sein des collectivités locales.	?
3) Mesures visant à remplacer les usages thermiques de l'électricité par une production de chaleur renouvelable	22 %	4	1.65 cts/kWh	Campagne de remplacement du chauffage électrique par des installations à granulés, crédit-zéro pour l'achat de chauffe-eau solaire.	4'800
4) Production d'électricité majoritairement renouvelable	25 %	11	0.68 cts/kWh	Promouvoir la production de biogaz, la micro-cogénération, financer des études sur le capital éolien.	5'500
5) Recherche et développement de sources d'énergie prometteuse	10 %	-	?	Energie photovoltaïque, marémotrice, piles à combustible, éolien offshore, autres.	?
<b>TOTAL</b>	<b>100 % ou 4,5 mia de francs</b>	<b>22</b>			<b>10'700</b>
<b>Puissance et production nouvelle centrale nucléaire</b>		<b>1'600 MW 11 TWh</b>			

**Conclusion:**

**Avec 3 milliards d'euros, il est possible:**

- ✓ de produire ou économiser deux fois plus d'électricité que pourrait en produire une centrale nucléaire,
- ✓ de créer plus de 10'000 emplois pérennes (au lieu de 600 pour le nucléaire).

**Bénéfices pour toute une région: amélioration de la performance économique, de la situation sociale et environnementale!**

**Remarque:** les propositions émanant de ce rapport français n'ont pas été élaborées sur les mêmes bases que les mesures proposées en Suisse exposées dans la suite de ce rapport. C'est pourquoi il est délicat de comparer les résultats obtenus par les deux pays. ■



## 2 - Efficacité énergétique

Sur les quelques 58 milliards de kWh électriques que nous consommons chaque année en Suisse, l'Agence suisse pour l'efficacité énergétique (SAFE) chiffre les économies potentielles globales à 32 %.

Afin d'exploiter ce potentiel, la Confédération a pris des mesures liées à l'efficacité électrique. Par exemple, la loi interdit désormais la mise en circulation de nouveaux appareils et luminaires gourmands en électricité. Seuls les appareils et luminaires les plus efficaces seront tolérés, les autres devront être retirés du marché au 31 décembre 2009.

Il faut savoir également qu'il est financièrement et écologiquement préférable de remplacer un appareil âgé de plus de 10 ans par un appareil efficient. En

effet, un document de SuisseEnergie («Réfrigérateurs et congélateurs A++, pour une meilleure efficacité énergétique», *topten.ch* et SuisseEnergie, mai 2007) montre que, dans le cas d'un réfrigérateur par exemple, la consommation d'électricité compte pour 72 % dans ses charges sur l'environnement et pour 26 % pour la fabrication (correspondant à l'énergie grise). Un réfrigérateur de classe A++ compense en 6 ans environ les charges supplémentaires sur l'environnement induites par les économies d'électricité.

Dans ce chapitre, des mesures d'économie considérant toutes les utilisations possibles de l'électricité sont proposées. Un potentiel global d'économies pour toute la Suisse est alors obtenu. Le coût des mesures permettant d'atteindre ce potentiel est ensuite chiffré. ■

### 2.1 - Méthodes

**1 -** Il s'agissait tout d'abord **d'illustrer la consommation d'électricité en Suisse**. Pour ce faire, deux rapports ont été utilisés: «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken», OFEN, 2008, «Daten Widerstandsheizungen bis 2007» site Internet de l'OFEN (avril 2009). Ils ont permis de connaître la consommation d'électricité en Suisse par domaines d'utilisation et par secteurs (ménages – services – industrie – transports) en 2006.

**2 -** Une fois la consommation d'électricité connue et mieux comprise, **un potentiel d'économie a été chiffré**. Dans ce but, deux méthodes ont été utilisées.

**a -** La première se réfère au potentiel d'économie d'électricité établi par

SAFE (Agence suisse pour l'efficacité énergétique; [www.efficacite.ch](http://www.efficacite.ch)). Les différentes consommations tirées des rapports susmentionnés sont classées pour correspondre aux données de SAFE, et pour qu'ainsi les potentiels d'économies puissent y être appliqués.

**b -** La seconde reprend les mesures d'efficacité proposées par le rapport «Possibilités d'augmenter l'efficacité énergétique électrique et la production indigène d'électricité», en réponse au Postulat n°320.06 Crausaz/Bürgisser, pour le canton de Fribourg, juillet 2008, en vue de réduire la consommation d'électricité. Ce rapport a été établi pour le canton de Fribourg, et sera étendu ici à l'entier de la Suisse sur la base de la population.

**3** - Lorsque le potentiel d'économies sera établi, il conviendra d'en définir les coûts. Les coûts du kWh économisé pour chaque mesure d'efficacité proposée a été estimé dans le rapport sus-

mentionné au point b). Ces derniers seront alors appliqués aux potentiels d'économies par secteurs obtenus à partir des méthodes a) et b) décrites ci-dessus. ■



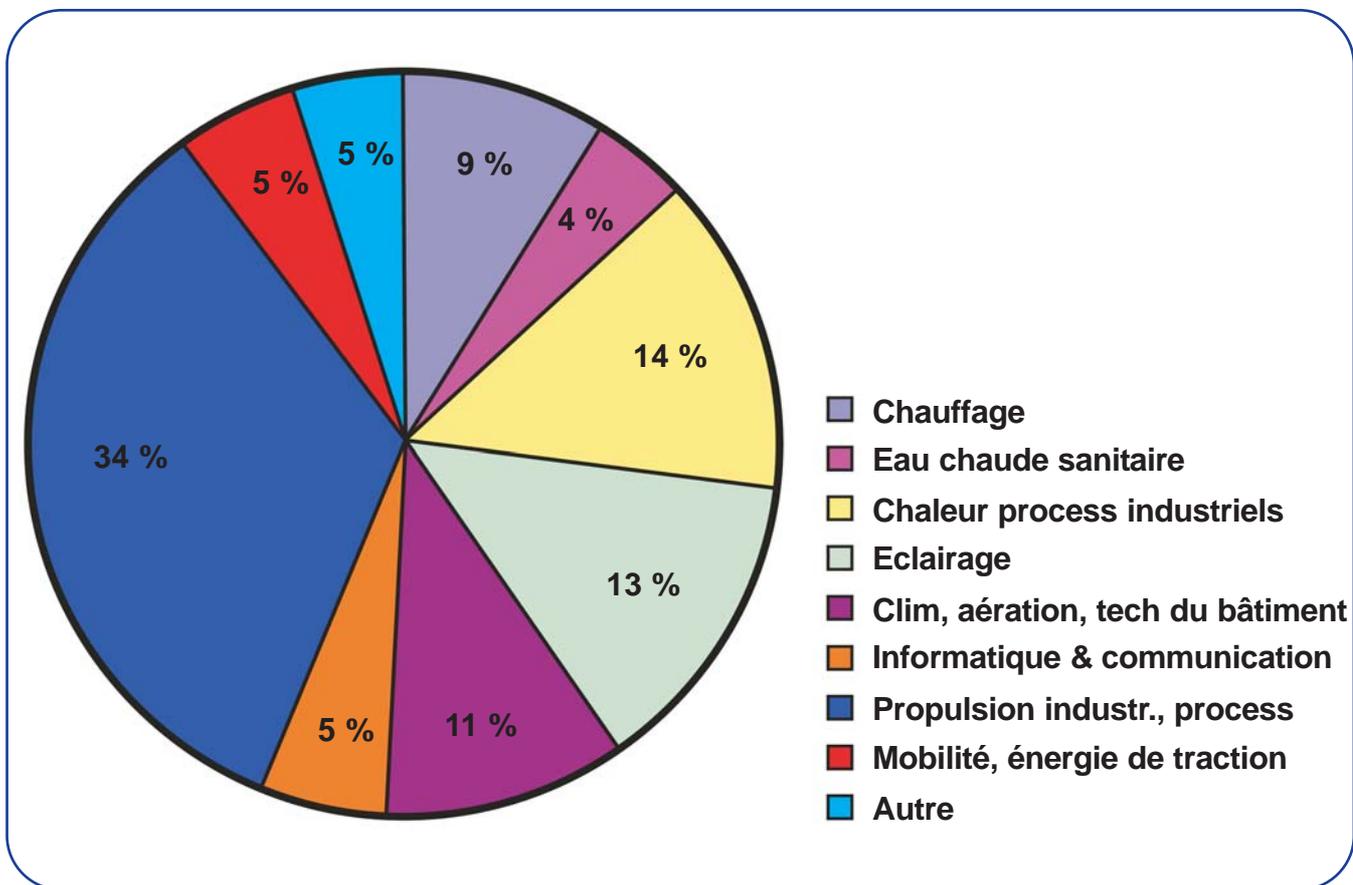
Centrale nucléaire de Gösgen (Soleure)

## 2.2 - Résultats

### 2.2.1 - Illustration de la consommation d'électricité en Suisse

Les graphiques 1 et 2 ci-dessous, obtenus par les rapports de la Confédération «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken»,

«Daten Widerstandsheizungen bis 2007» site Internet de l'OFEN (avril 2009), montrent la répartition de la consommation d'électricité en Suisse en 2006, par domaines et par secteurs.



**Graphique 1:**

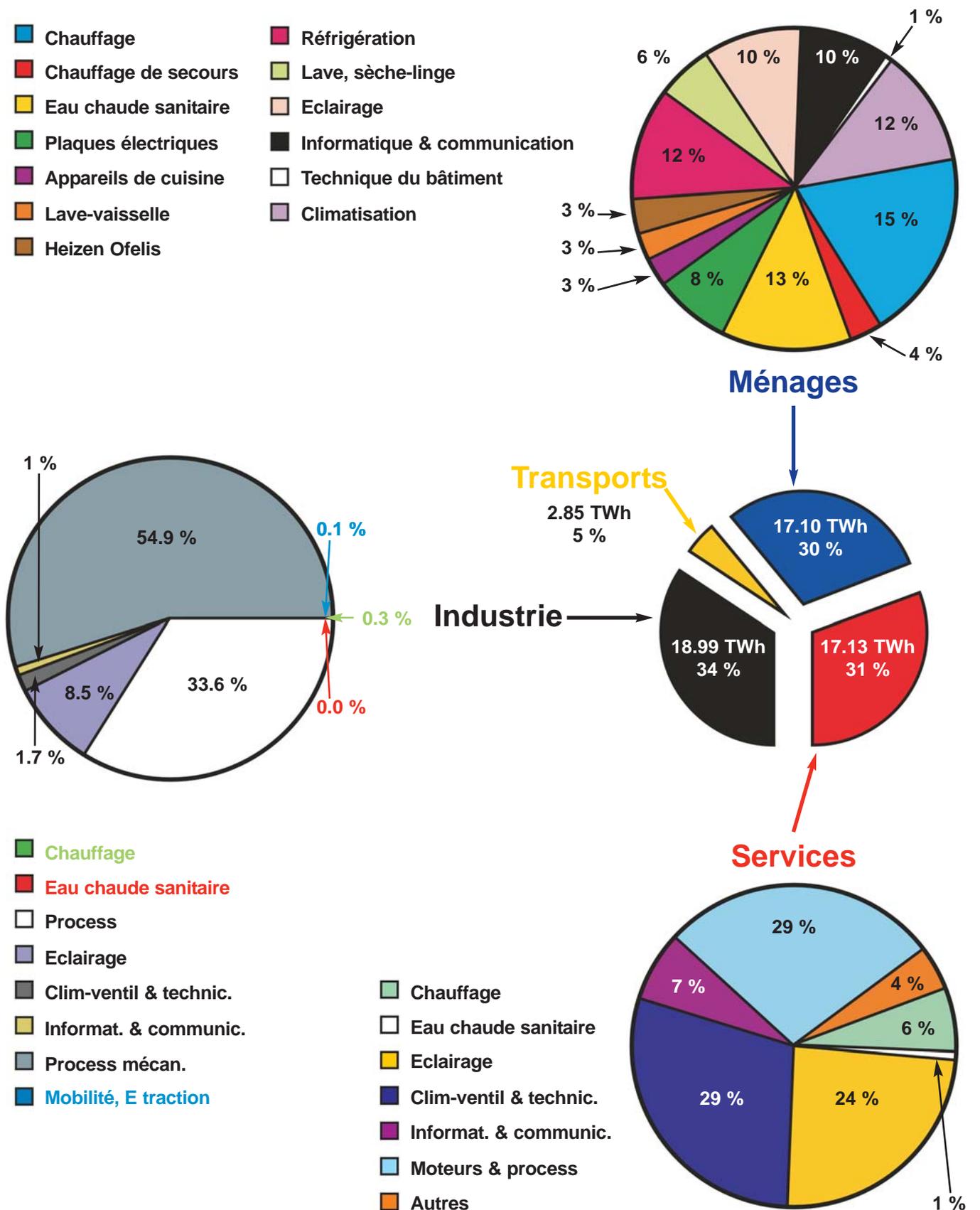
Consommation d'électricité en Suisse en 2006, par domaines d'utilisation.

Le graphique 1 montre que le tiers de l'électricité consommée en Suisse est utilisé pour faire fonctionner les moteurs industriels et autres systèmes de propulsion. Le 2ème tiers est partagé entre l'éclairage (13 %) et la production de chaleur pour les process industriels (14 %).

Finalement, la climatisation, l'aération et autres techniques du bâtiment sont responsables du 11 % de la consommation, et le chauffage électrique du 9 %. Les derniers 20 % sont répartis entre la mobilité, le chauffage de l'eau chaude sanitaire, l'informatique et la bureautique et autres.

Par le biais du graphique 2, on s'aperçoit que le 95 % de la consommation d'électricité est répartie de manière égale entre trois secteurs (ménages: 30 %,

services: 31 %, industrie: 34 %). Le secteur des transports consomme les derniers 5 %, pour le fonctionnement des trains et des bus en particulier.



**Graphique 2:** Répartition de la consommation d'électricité en 2006 par secteurs (ménages, services, industrie et transports). Puis, dans chaque secteur, allocation de l'électricité à différents domaines.

## 2.2.2 - Potentiel d'économies d'électricité et coûts

### a - Méthode SAFE

Grâce aux rapports cités auparavant, le tableau 2 a pu être construit, en vue de

correspondre au tableau du potentiel d'économies d'électricité par secteur proposé par SAFE (tableau 3).

#### Tableau 2:

Consommation d'électricité en Suisse en 2006 [TWh], rapportée par secteurs. Source: «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken».

Consommation d'électricité en Suisse 2006	TWh	%	Chaleur	Force	Lumière	Appareils
Ménages	17.7	31.2	6.8	0.1	1.8	9
Industrie	19	33.5	3.4	13.8	1.6	0.2
Services	17.2	30.3	2.9	8.3	4.1	1.9
Transports	2.85	5	-	2.85	-	-
<b>Total (TWh)</b>	<b>56.75</b>	<b>100</b>	<b>13.1</b>	<b>25.05</b>	<b>7.5</b>	<b>11.1</b>
<b>Total (%)</b>	<b>100</b>		<b>23</b>	<b>44</b>	<b>13</b>	<b>20</b>

#### Tableau 3:

Tableau récapitulatif du potentiel d'économie d'électricité en Suisse, Agence suisse pour l'efficacité énergétique ([www.efficacite.ch](http://www.efficacite.ch)).

	Chaleur	Force	Lumière	Appareils
Ménages	60 %	40 %	60 %	25 %
Agriculture	30 %	40 %	40 %	25 %
Industrie, arts et métiers	20 %	25 %	40 %	30 %
Services (sans transports)	40 %	40 %	40 %	30 %
Transports y c. énergie de traction et éclairage public	10 %	10 %	40 %	-

Si on applique le potentiel d'économie proposé par SAFE (tableau 3) au tableau 2 de consommation d'électricité en Suisse, on obtient les potentiels d'é-

conomie présentés dans le tableau 4. Selon SAFE, il est alors possible d'économiser 19.3 TWh grâce à des mesures d'efficacité électrique.

**Tableau 4:**

Potentiel d'économie d'électricité en Suisse, en TWh.

Economies réalisables [TWh]	Chaleur	Force	Lumière	Appareils	
Ménages	4.08	0.04	1.08	2.25	
Industrie	0.68	3.45	0.64	0.06	
Services	1.16	3.32	1.64	0.57	
Transports	-	0.29	-	-	
<b>Total</b>	<b>5.92</b>	<b>7.10</b>	<b>3.36</b>	<b>2.88</b>	<b>19.26</b>

Le coût des mesures d'efficacité selon SAFE ne peut pas être chiffré car l'Agence suisse pour l'efficacité énergétique n'indique pas de coût du kWh économisé.

### b - Méthode Fribourg

Dans un rapport effectué pour le canton de Fribourg («*Possibilités d'augmenter l'efficacité énergétique électrique et la production indigène d'électricité*», en réponse au Postulat n°320.06 Crausaz/Bürgisser, juillet 2008), un potentiel d'économie d'énergie global pour le canton a été défini sur la base de mesures d'efficacité proposées dans tous les secteurs.

Ces mesures ont été prévues sur un laps de temps de 20 ans et la croissance du nombre d'appareils considérés a également été prise en compte (en fonction de la croissance prévue de la population ou de l'industrie). Le coût du

kWh économisé pour chaque mesure a également été estimé (1er surcoût total lié à la mesure [frs] / (potentiel total d'économie d'énergie [kWh] \* 20 [ans])). Le tableau 5 donne un exemple d'une de ces mesures (les autres mesures figurent à l'annexe 2).

Néanmoins, le coût du kWh nucléaire étant calculé sur 60 ans, il est apparu nécessaire d'indiquer également le coût du kWh économisé sur 60 ans. Sachant que les appareils doivent être changés tous les 20 ans, un 2ème et un 3ème surcoûts seront considérés, dus alors uniquement au remplacement des installations existantes par des nouvelles installations de technologie plus récente. ■



**Tableau 5:**

Exemple d'une mesure proposée au canton de Fribourg afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans l'industrie.

<b>Mesure 5: Remplacement des moteurs industriels</b>		
<b><i>Economies potentielles pour un moteur</i></b>		
	<b>Unités</b>	<b>Moteurs</b>
Nombre estimé de moteurs en 2007		1'350
Nombre estimé de moteurs en 2027		1'485
Puissance moyenne estimée d'un moteur	kW	20
Augmentation du nombre d'industries, donc de moteurs d'ici 2027	[%]	10
Heures de fonctionnement	[h/an]	5'000
Puissance totale estimée des moteurs en 2007	MW	27
Puissance totale estimée des moteurs en 2027	MW	29.7
Consommation annuelle d'électricité pour un moteur moyen	[MWh]	100
Economies annuelles réalisables par le remplacement d'un moteur	[MWh]	30
1er surcoût: remplacement d'un moteur traditionnel par un appareil	[frs]	10'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	0
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>1.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>0.83</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>0.56</b>
<b><i>Economies potentielles en remplaçant tous les moteurs</i></b>		
<b>Potentiel d'économies techniques en 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>44.55</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>14.85</b>
<b>Remarque: en rouge, chiffres estimés.</b>		

Au final, un potentiel d'économies global a été défini pour le canton ainsi que le coût du kWh économisé sur les 20 prochaines années, par mesure. Ces résultats sont présentés dans le tableau 6.

**Tableau 6:**

Liste des mesures d'efficacité énergétique proposées au canton de Fribourg afin de réduire sa consommation d'électricité, et potentiels d'économie par mesure pour 20 ans, avec ses coûts associés.

<b>Fribourg 2008</b>	<b>Effets: électricité économisée Potentiel technique [GWh]</b>	<b>Investis- sement [Mio frs]</b>	<b>Coût du kWh économisé [cts/kWh]</b>
Liste des mesures «Efficacité énergétique»			
<b>Interdiction du chauffage électrique dans les nouvelles constructions</b>	-*	-*	<b>0.0</b>
<b>Interdiction à terme du chauffage électrique dans les constructions existantes (obligation d'assainir)</b>	150	400	13.3
<b>Interdiction de remplacement des chauffe-eau électriques</b>	34	85.8	12.6
<b>Limitation ou interdiction à terme des appoints électriques (PAC)</b>	2	2.7	6.7
<b>Moteurs industriels</b>	45	14.9	1.7
<b>Pompes de circulation dans les ménages</b>	57	45.8	4
<b>Assainissement de l'éclairage public</b>	1	3.9	19.3
<b>Eclairage pour l'habitation et les services</b>	27	39.4	7.3
<b>Ventilation</b>	6	20	16.7
<b>Climatisation, froid commercial</b>	3	2	3.3
<b>Appareils de bureau</b>	38	51.7	6.8
<b>Appareils ménagers</b>	71	181.8	12.8
<b>Stand-by ménages</b>	10	5	2.5
<b>Stand-by services et industries</b>	2	3.5	8.8
<b>TOTAL</b>	<b>446</b>	<b>857</b>	<b>1.7-19.3</b>
<b>Coût moyen pondéré pour 20 ans</b>			<b>9.6</b>

A partir de ce tableau 6 propre à Fribourg, il a été possible d'étendre le potentiel d'économie à toute la Suisse. En effet, sachant que la population de Fribourg représente 3.5 % de la population suisse, un calcul de proportionnalité a été appliqué. Les investissements sont 29 fois plus importants, mais le coût du kWh économisé reste le même. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

**Tableau 7:**

Liste des mesures d'efficacité énergétique appliquée à la Suisse afin de réduire la consommation d'électricité du pays, et potentiels d'économie par mesure pour 20 et 60 ans, avec ses coûts associés.

Suisse 2008		Effets: électricité économisée Potentiel technique [GWh]	Investis- sement [Mio frs]	Coût du kWh économisé [cts/kWh]
Liste des mesures «Efficacité énergétique»	N°			
Interdiction du chauffage électrique dans les nouvelles constructions	1	-*	-*	0
Interdiction à terme du chauffage électrique dans les constructions existantes (obligation d'assainir)	2	4'328	11'540	13.3
Interdiction de remplacement des chauffe-eau électriques	3	981	2'475	12.5
Limitation ou interdiction à terme des appoints électriques (PAC)	4	58	78	6.7
Moteurs industriels	5	1'298	430	1.7
Pompes de circulation dans les ménages	6	1'644	1'321	4
Assainissement de l'éclairage public	7	29	113	19.3
Eclairage pour l'habitation et les services	8	779	1'137	7.3
Ventilation	9	173	577	16.7
Climatisation, froid commercial	10	87	58	3.3
Appareils de bureau	11	1'096	1'492	6.8
Appareils ménagers	12	2'048	5'245	12.8
Stand-by ménages	13 a	289	144	2.5
Stand-by services et industries	13 b	58	101	8.8
<b>TOTAL</b>		<b>12'867</b>	<b>24'711</b>	<b>1.7-19.3</b>
<b>Coût moyen pondéré pour 20 ans</b>				<b>9.6</b>
<b>** Coût moyen pondéré pour 60 ans</b>				<b>5.3</b>

\* **Tableaux 6 et 7:** La mesure 1 n'apporte pas de potentiel technique supplémentaire et ne demande aucun investissement particulier, puisque cette mesure est déjà effective et de plus obligatoire.

\*\* Pour le détail des coûts du kWh économisé sur 60 ans, se référer à l'annexe 1. Pour chaque mesure, le coût du kWh sur une période de 60 ans y est estimé.

**Remarques:** si le prix de revient du kWh est calculé sur une période de 60 ans (et non plus de 20 ans), ce dernier est compris entre 0.56 et 8.36 cts/kWh (voir annexe 1). Ceci malgré les surcoûts dus aux renouvellements des appareils pendant cette période, puisqu'une quantité d'électricité toujours aussi importante par année est épargnée.

## 2.2.3 - Comparaison des résultats: méthode SAFE / méthode Fribourg

**L**e tableau 8 ci-dessous donne les potentiels d'économies d'énergie obtenus par les deux méthodes, ainsi que les coûts pour la méthode Fribourg.

On s'aperçoit que la méthode SAFE donne un potentiel beaucoup plus important que la méthode Fribourg. Cela provient probablement du fait que

les estimations pour Fribourg sont très prudentes, et que le potentiel n'a jamais été considéré à 100 % effectuable. En effet, il apparaît presque impossible que chaque ampoule, chaque moteur ou chaque appareil électrique soit optimisé. On peut donc considérer que le potentiel d'économie raisonnable se situe entre 13 et 19 TWh. ■

**Le potentiel minimum d'économie d'électricité en Suisse est de 13 TWh/an.**

**Tableau 8:**

Potentiels d'économie d'électricité en Suisse établis selon deux méthodes différentes et coûts y relatifs, pour une période de 20 ans.

	Potentiel d'économie d'énergie en Suisse	Coût des mesures d'économie	Coût moyen pondéré du kWh économisé
<b>Méthode SAFE</b>	19 TWh/an	-	-
<b>Méthode Fribourg</b>	13 TWh/an	24'700 mio Frs	9.6 cts/kWh

**L'économie potentielle de 13 TWh/an obtenue grâce à des mesures d'efficacité énergétique dépasse la production prévue d'une nouvelle centrale nucléaire, équivalente à 9.3 TWh/an (voire chapitre 4.1).**

### 3 - Les énergies renouvelables

P our répondre à la demande en électricité, le potentiel des énergies renouvelables pourrait être largement développé. Aujourd'hui, seuls 3 % de l'électricité consommée en

Suisse est d'origine renouvelable (sans compter l'hydraulique, qui couvre le 52 % de la consommation totale), alors que le but pour 2035 est d'atteindre 10 % (*Rapport GaBE du PSI, 2005*).

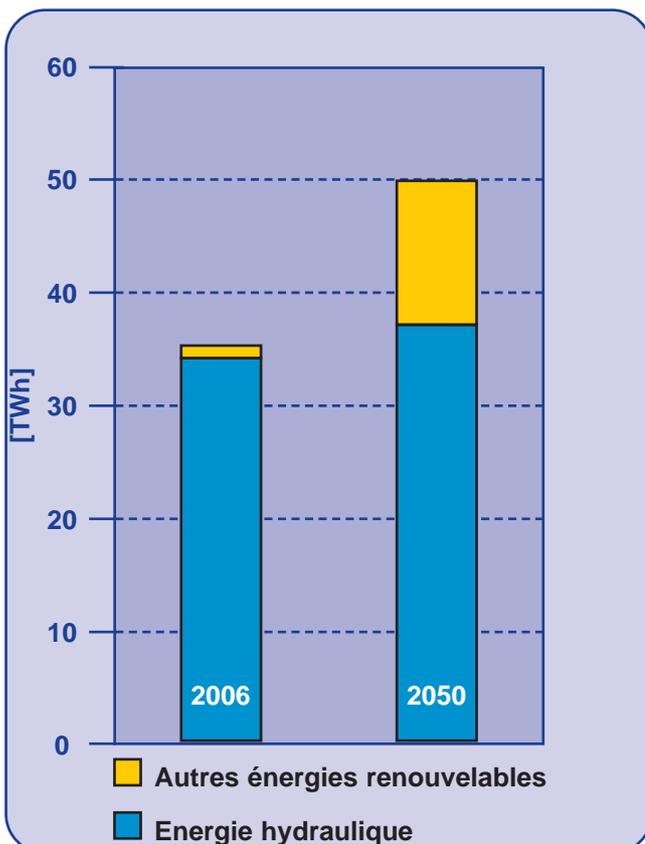
**Aujourd'hui, seuls 3 % de l'électricité produite en Suisse, soit 1.7 TWh environ, le sont de sources renouvelables (sans compter l'hydraulique).**

**But pour 2035: 10 %!**

S elon le rapport précité, cet objectif est accessible, mais nécessitera un surcoût de 500 mios de Frs par an (15 cts/kWh), en comparaison avec les coûts actuels de l'électricité nucléaire et issue du gaz naturel.

Considérant des objectifs à plus long terme, un rapport de l'Académie suisse des sciences techniques (*«Plan de route des énergies renouvelables Suisse»*,

SATW, 2006) prédit que la production d'électricité en Suisse à partir de sources renouvelables en 2050 sera augmentée de 15 TWh par rapport à la production de 2006 (35 TWh environ). La production d'électricité renouvelable atteindra alors plus de 50 TWh. Le 75 % de cette quantité sera néanmoins couvert par l'énergie hydraulique. Ces informations sont illustrées dans le graphique 3 ci-dessous.



**Graphique 3:**

Production d'électricité renouvelable en Suisse en 2006 et celle prévue pour 2050, avec la part couverte par l'électricité hydraulique.

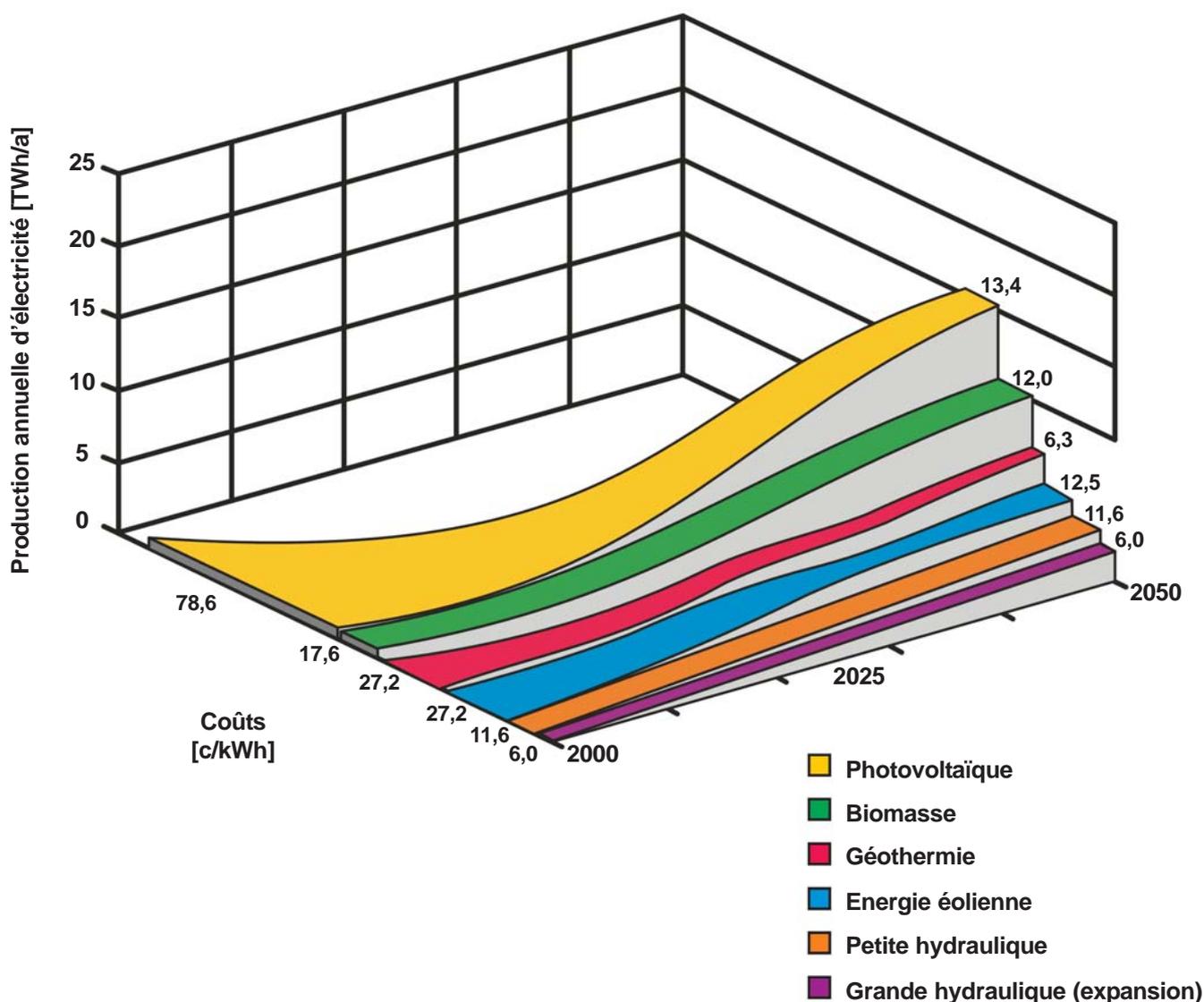
Il existe un nombre important de ressources naturelles à partir desquelles il est possible de produire de l'électricité. Un rapport très complet décrit les

potentiels de ces ressources. Deux rapports plus spécifiques donnent un complément d'information sur les potentiels éolien et géothermique.

### 1 -

Le rapport «*Plan de route des énergies renouvelables Suisse*», SATW, 2006 donne le potentiel de production d'électricité renouvelable pour 2050 ainsi que ses coûts. Le graphique 4 montre l'évo-

lution de ces grandeurs. On constate alors qu'en 2050, le prix de l'électricité renouvelable produite à partir de technologie mature sera compris entre 6 et 14 cts/kWh. Le tableau 9 présente également ces chiffres.



**Graphique 4:**

Evolution de la production d'électricité de sources renouvelables en Suisse. La largeur des bandes correspond au prix de revient du kWh. La production d'électricité représentée est additionnelle à celle des centrales de grande hydraulique déjà existantes; la production actuelle n'est pas représentée. Dans le cas de la grande hydraulique, «expansion» signifie «amélioration de l'efficacité des machines utilisées» («*Plan de route des énergies renouvelables Suisse*», SATW, 2006).

**Tableau 9:**

Potentiel de production d'énergies renouvelables en Suisse définis par le plan de route de la SATW.

Plan de route SATW 2006	Potentiel d'augmentation de la production 2003 - 2050 [TWh]	Investissement [frs/kW]		Coût du kWh [cts/kWh]	
		2003	2050	2003	2050
<b>Production d'électricité renouvelable, prévisions pour 2050</b>					
Augmentation de la part d'énergie issue de la petite (< 300 kW) hydraulique	1.0	1'800	1'800	11.6	11.6
Augmentation de la part d'énergie issue de la grande hydraulique (pour 2050)	2.0	-	-	6.0	6.0
Augmentation de la part d'énergie photovoltaïque (scénario 2)	5.6	7'500	2'200	78.6	13.4
Utilisation de l'énergie éolienne	1.2	1'900	1'500	27.2	12.5
Utilisation de la biomasse	3.0	2'500	2'000	17.6	12.0
Utilisation de la géothermie profonde	2.1	-	3'500	-	6.3
<b>TOTAL</b>	<b>14.9</b>			<b>6.0-78.6</b>	<b>6.0-13.0</b>
<b>Coût moyen pondéré du kWh</b>				<b>36.9</b>	<b>10.9</b>

D'après ce tableau, le coût moyen du kWh renouvelable sera considéré à 20 cts dans la suite de ce rapport. Ce montant inclut l'évolution des coûts entre 2003 et 2050. A titre de comparaison, l'Institut Paul Scherrer (PSI) donne le coût moyen du kWh renouvelable à 15 cts (*Rapport GaBE, Paul Scherrer Institute, 2005*).

## 2 -

*SuisseEnergie et le bureau Geowatt AG à Zürich* donnent des informations précises sur les potentiels éolien et géothermique en Suisse:

- potentiel éolien en Suisse: 1800 GWh (SuisseEnergie),
- potentiel géothermique sur 30 ans pour l'électricité en Suisse: 1620 PJ = 140 TWh, soit 4.7 TWh/an (correspond à 12 % des 13500 PJ contenus dans le plateau suisse occidental, «*Evaluation du potentiel géothermique suisse, rapport 2007*»).

Les chiffres issus de ces divers rapports divergent quelque peu, mais offrent des ordres de grandeur similaires. Ces différences ne seront pas discutées ici. Néanmoins, afin de définir un potentiel de développement des énergies renouvelables raisonnable pour la Suisse, les plus petits potentiels pour chaque énergie sont choisis. Ils sont représentés dans le tableau 11; en effet, le plan de route de la SATW propose des chiffres plus bas que SuisseEnergie et que le bureau Geowatt AG (point 2 ci-dessus). Par précaution ce seront ceux-ci que nous considérerons alors par la suite. ■

Selon diverses études, le potentiel le plus prudent d'augmentation de production d'électricité à partir de sources renouvelables pour la période 2003 - 2050 est de près de 15 TWh/an...

... par comparaison avec une production de 9.3 TWh/an pour une nouvelle centrale nucléaire (voire chapitre 4.1).



## 4 - Coût du nucléaire

**L**e postulat Ory pose la question des coûts réels du nucléaire (investissement, exploitation, démantèlement, recherche, stockage des déchets). Selon les différents rap-

ports connus, les coûts du nucléaire ne semblent pas transparents. En Suisse, cinq centrales sont en fonction, mais il est difficile d'obtenir leur coût réel.

**Quels sont les coûts réels de nos 5 cinq centrales suisses?  
Ces chiffres sont-ils connus ? Sont-ils rendus publics?**

**L**a Confédération répond alors au postulat Ory en donnant les différents coûts du nucléaire, pour chacune des cinq centrales suisses. Il apparaît cependant délicat et difficile de donner des chiffres clairs. Le lecteur est renvoyé aux rapports d'exploitation des centrales les plus récentes de Gösgen et Leibstadt, dont les coûts de production

seraient de 3.64 cts/kWh et 5.09 cts/kWh respectivement.

Selon nos calculs, effectués avec les différents chiffres sortis de la réponse au Postulat Ory, le coût «réel» de l'électricité issue de Gösgen est de 6.67 cts/kWh et celle provenant de Leibstadt est de 9.04 cts/kWh. Ces calculs sont présentés dans les tableaux 10 et 11.

**Selon la Confédération: «Il n'est pour l'heure pas possible d'effectuer un calcul sérieux du coût «réel» du nucléaire»  
(réponse au Postulat Ory, p. 15).**

**Coût du kWh nucléaire avancé par la réponse au Postulat Ory:  
3.64 cts pour Gösgen et 5.09 cts pour Leibstadt.**

**Avec les mêmes chiffres de base, nous obtenons un résultat différent:  
6.67 cts pour Gösgen et 9.04 cts pour Leibstadt.**

**D'où provient cette différence?**

**Tableau 10:**

Description technique avec calcul de la production annuelle d'électricité et calcul des coûts d'équipement des deux centrales les plus récentes en Suisse. Ces calculs ont été effectués avec les chiffres donnés par le postulat Ory. Les chiffres de la colonne «calcul» représentent les numéros de lignes; les lignes en rouge sont des lignes de calculs. Les pages de références sont celles de la réponse au Postulat Ory.)

		Page réf.	Calcul	Gösgen	Leibstadt
	<b>Description technique</b>				
1	Durée exploitation [an]	5		60	60
2	Puissance nette [MW]	5		970	1'165
3	Puissance brute installée [MW]	6		970	1'000
4	Puissance dispo [MW]	6		920	942
5	T fonctionnement [h/an]	4		7'550	7'550
6	Disponibilité annuelle [h]	6		7'300	7'200
7	<b>Production annuelle réelle [GWh/an]</b>		<b>=4*6 / 1'000</b>	<b>6'716</b>	<b>6'782</b>
	<b>Coûts d'équipement</b>				
8	Coûts de construction globaux [mio frs]	7		2'185	4'243
9	Coûts du renouvel équip [mio frs]	7		44	85
10	Intérêts [mio frs]	7		845	1'612
11	Coûts équipement complémentaire	7		Inconnu	Inconnu
12	<b>Coût d'équipement [mio Frs]</b>		<b>=8 + 9 + 10</b>	<b>3'074</b>	<b>5'940</b>
13	<b>Coût d'équipement [cts/kWh]</b>		<b>=12 / (7 * 1)</b>	<b>0.763</b>	<b>1.460</b>
14	<b>Amortissement 4% sur 30 ans (annuité 5.8 %) [mio Frs]</b>	8	<b>=12 * 0.058</b>	<b>178.3</b>	<b>344.5</b>
15	<b>Coût de l'amortissement [cts/kWh]</b>		<b>=14 / 7</b>	<b>2.655</b>	<b>5.080</b>
16	Provision pour charge de capital (Ory) [cts/kWh]	8		2.707	5.108
17	<b>Ratio (pour vérification)</b>		<b>= 16 / 15</b>	<b>1.02</b>	<b>1.01</b>

**Remarque:**

le coût d'amortissement est considéré comme étant équivalents au coût pour provision pour charge de capital (différence de langage).

**Tableau 11:**

Calcul du coût du kWh électrique réel issus des deux centrales les plus récentes en Suisse, effectués avec les chiffres donnés par le postulat Ory. Les chiffres de la colonne «calcul» représentent les numéros de lignes; les lignes en rouge sont des lignes de calculs. Les pages de références sont celles de la réponse au Postulat Ory.

		Page réf.	Calcul	Gösgen	Leibstadt
<b>Coûts de production</b>					
18	Coûts dûs à l'équipement [cts/kWh]	8		2.707	5.108
19	Coûts exploitation/entretien [cts/kWh]	8		1.992	1.946
20	Coûts du combustible [cts/kWh]	8		1.980	1.980
21	<b>Coûts total [cts/kWh]</b>		<b>= 18+19+20</b>	<b>6.679</b>	<b>9.034</b>
22	Fond pour la désaffectation [mio frs]	9			
23	Fond pour la gestion des déchets [mio frs]	9			
24	Coûts de l'OFEN [mio frs]	10			
25	Coûts de la recherchev [mio frs/an]	10			
26	Coûts de la recherchev [cts/kWh]	12		0.00179	0.00179
27	<b>Coût du kWh [cts/kWh]</b>		<b>= 21 + 26</b>	<b>6.681</b>	<b>9.036</b>

Selon ce tableau, les coûts du nucléaire sont plus élevés que ceux figurant dans la réponse au Postulat Ory. Nous ne sommes cependant pas en mesure d'expliquer cette différence. Dans la suite de notre rapport, nous prendrons en compte une valeur moyenne comprise entre 6.68 et 9.04 cts/kWh, qui est de 8.0 cts/kWh.



Centrale nucléaire de Gösgen (Soleure)

## 4.1 - Coût d'une nouvelle centrale nucléaire

Les coûts d'une nouvelle centrale nucléaire sont présentés par la Confédération dans sa réponse au postulat de Mme Gisèle Ory, datée de mai 2008.

La centrale nucléaire la plus récente en Suisse, Leibstadt, a une puissance disponible de 942 MW et une disponibilité annuelle de 7'200 heures (*réponse au Postulat Ory*, «Coût réel de l'énergie nucléaire», p. 6). Elle produit ainsi 6'782 GWh/an.

Selon la réponse au postulat Ory, la puissance installée d'une nouvelle centrale nucléaire à technologie EPR serait de 1600 MW électriques. Son temps de fonctionnement serait de 7'600 h/an. A partir de ces chiffres, l'électricité produite par année serait de 12.2 TWh. Cependant, la puissance disponible

serait de 1293 MW et les heures de fonctionnement disponibles de 7200 h/an (d'après le tableau 2 p. 6 de la réponse au Postulat Ory); on obtiendrait alors une production réelle disponible pour les besoins externes à la centrale de 9.3 TWh/an environ.

Pour chiffrer le coût de cette nouvelle centrale, la réponse au postulat Ory donne des coûts par rapport à la puissance installée, qui sont présentés dans le tableau 12. Le tableau 13 montre les mêmes calculs, mais effectués pour la puissance et le temps de fonctionnement réels disponibles. Selon ces deux opérations, le kWh électrique d'une nouvelle centrale EPR varie de 5.22 cts/kWh à 6.31 cts/kWh respectivement. Ce coût est plus élevé que les 4.8 cts/kWh mentionnés par la réponse au postulat Ory, p. 17. Nous n'en connaissons pas la raison. ■

**Tableau 12:**

Coût d'une nouvelle centrale nucléaire en fonction de la puissance installée et au kWh. Chiffres issus de la réponse au postulat Ory.

Coûts nouvelle centrale, kWh totaux		
1	Puissance installée [MW]	1'600
2	Taux d'intérêt macro économique [%]	2.5
3	Durée de vie et d'amortissement [an]	60
4	Heures à plein régime [h/an]	7'600
5	Coût d'investissement [frs/kW]	3'350
6	Coût d'exploitation [frs/kW*an]	100
7	Coût de désaffectation [frs/kW]	575
8	Coût de modernisation [frs/kW]	840
9	Coût de combustible [frs/MWh]	14.5
Coût au kWh produit nouvelle centrale		Calcul
10	Production [GWh/an]	= 1 * 4
11	Coût d'investissement [mio frs]	= 5 * 1 * 1000 / 1000000
12	Coût d'investissement [cts/kWh]	= 11 / (10 * 3)
13	Amortissement avec intérêts 2.5 % sur 60 ans (annuité 3.2 %) [mio frs]	= 11 * 0.032
14	Amortissement avec intérêts 2.5 % sur 60 ans (annuité 3.2 %) [cts/kWh]	= (13 / (10))
15	Coût d'exploitation [cts/kWh]	= (6 * 1) / (10 * 1000)
16	Coût de désaffectation [cts/kWh]	= (7 * 1) / (10 * 3 * 1000)
17	Coût de modernisation [cts/kWh]	= (8 * 1) / (10 * 3 * 1000)
18	Coût de combustible [cts/kWh]	= 9 / 1000
<b>Coût total (intérêt 2.5 %) [cts/kWh]</b>		<b>= 12+14+15+16+17+18</b>
<b>Coût total selon Ory (p. 17) [cts/kWh]</b>		<b>4.8</b>

**Tableau 13:**

Coût d'une nouvelle centrale nucléaire en fonction de la puissance disponible pour les besoins externes et au kWh. Chiffres issus de la réponse au postulat Ory.

Coûts nouvelle centrale, kWh réels disponibles			
1a	Puissance installée [MW]		1'600
1b	Puissance disponible [MW]		1'293
2	Taux d'intérêt macro économique [%]		2.5
3	Durée de vie et d'amortissement [an]		60
4a	Heures disponibles à plein régime [h/an]		7'600
4b	Heures à plein régime [h/an]		7'300
5	Coût d'investissement [frs/kW]		3'350
6	Coût d'exploitation [frs/kW*an]		100
7	Coût de désaffectation [frs/kW]		575
8	Coût de modernisation [frs/kW]		840
9	Coût de combustible [frs/MWh]		14.5
Coût au kWh disponible nouvelle centrale		Calcul	
10a	Production [GWh/an]	= 1a * 4a	12'160
10b	Production disponible [GWh/an]	= 1b * 4b	9'439
11	Coût d'investissement [mio frs]	= 5 * 1a * 1000 / 1000000	5'360
12	Coût d'investissement [cts/kWh]	= 11 / (10b * 3)	0.946
13	Amortissement avec intérêts 2.5 % sur 60 ans (annuité 3.2 %) [mio frs]	= 11 * 0.032	171.52
14	Amortissement avec intérêts 2.5 % sur 60 ans (annuité 3.2 %) [cts/kWh]	= (13 / (10b * 3)) * 3	1.817
15	Coût d'exploitation [cts/kWh]	= (6 * 1) / (10b * 1000)	1.695
16	Coût de désaffectation [cts/kWh]	= (7 * 1) / (10b * 3 * 1000)	0.162
17	Coût de modernisation [cts/kWh]	= (8 * 1) / (10b * 3 * 1000)	0.237
18	Coût de combustible [cts/kWh]	= 9 / 1000	1.450
<b>Coût total (intérêt 2.5 %) [cts/kWh]</b>		<b>= 12+14+15+16+17+18</b>	<b>6.308</b>
<b>Coût total selon Ory (p. 17) [cts/kWh]</b>			<b>4.8</b>

**Coût du kWh nucléaire produit par une nouvelle centrale avancé dans la réponse au Postulat Ory: 4.80 cts.**

**Avec les mêmes chiffres de base, nous obtenons un résultat différent:**

- 5.22 cts si on considère la puissance installée,
- 6.31 cts si on considère la puissance réellement disponible.

**D'où provient cette différence?**

**Dans la suite de ce rapport, nous considérerons qu'un kWh produit par une nouvelle centrale EPR en Suisse coûterait 5.80 cts, sans tenir compte des coûts externes.**

**Selon la réponse au Postulat Ory : «En ce qui concerne le coût des nouvelles centrales nucléaires, les chiffres que l'on peut trouver dans la littérature existante sont extrêmement variables».**

## 4.2 - Fiabilité et transparence de la réponse au Postulat Ory

**A**u vu des deux phrases contenues dans la réponse au Postulat Ory aux pages 15 et 17 citées précédemment, il apparaît clairement que le coût du nucléaire, de manière générale et dépassant les frontières de notre pays, est mal connu. Il a été notamment très difficile, voir impossible, d'obtenir des données claires et précises sur les coûts du nucléaires pourtant nécessaires à l'élaboration de ce rapport. Ceci sera discuté plus loin.

**De ce fait, les coûts du nucléaire proposés par la Confédération en réponse au Postulat Ory ne peuvent être qu'indicatifs et ne sont certainement pas exacts.**

Concernant la transparence des données fournies par la réponse au Postulat Ory, celle-ci est discutable. Ceci pour plusieurs raisons:

- ▶ Il n'a pas été possible de s'assurer de quelle puissance (P brute installée ou P disponible) et de quelles heures de fonctionnement (heures théoriques ou heures réellement disponibles) ont été utilisées dans le calcul de la production annuelle d'électricité des centrales suisses. Il semblerait que ce soient la puissance brute installée et les heures de fonctionnement théoriques, qui ne donnent de loin pas la production réellement utilisable.
- ▶ Les différents coûts (d'équipement, de production, de gestion des déchets et de désaffectation) ne sont pas fournis dans les même unités. Ceci nous a obligé à faire des transformations d'unités sur la base d'une production annuelle peut-être différente de celle considérée par les auteurs, ce qui peut induire des différences dans le coût final calculé

du kWh nucléaire.

- ▶ Les coûts ne figurent pas non plus dans les mêmes unités lorsqu'ils sont présentés pour les centrales existantes et pour la nouvelle centrale. Cela amène à la même remarque que ci-dessus.
- ▶ Certains coûts (gestion des déchets, désaffectation) sont compris dans d'autres (coûts de production). Il n'est alors pas possible de savoir dans quelle rubrique du coût de production sont inclus ces coûts: «exploitation» ou «combustible» (p. 8)? Il en va de même pour les autres coûts (coûts de la Division principale de la sécurité des installations nucléaires, coûts de l'OFEN).
- ▶ Il n'a pas été possible de décortiquer et de comprendre les chiffres relatifs à la provision pour charge de capital. Leur calcul aurait dû figurer dans le rapport.
- ▶ Dans le cas du calcul des charges de capital, celles-ci ont été calculées avec des annuités sur des périodes différentes et des taux d'intérêts différents entre les centrales existantes et la nouvelle centrale.
- ▶ Les coûts relatifs à une assurance risque en cas d'accident ne sont pas mentionnés.
- ▶ Les coûts externes ne sont pas pris en considération. Ils sont définis et discutés au chapitre suivant.

Suite à ces remarques, il est aisé de comprendre les difficultés du lecteur de se faire une idée claire et précise des coûts du nucléaire en Suisse. ■

La réponse de la Confédération au Postulat Ory est obscure et de plus très difficilement accessible par tout un chacun.



Centrale nucléaire de Mühleberg (Berne)

## 4.3 - Coût externes du nucléaire

**S**ont appelés coûts externes les coûts générés par toute activité humaine reportés sur l'environnement ou sur la santé humaine. Ces coûts sont en fait supportés par les collectivités.

Les coûts externes de l'électricité en Suisse ont été chiffrés à 5 cts/kWh («*Schweizer Energie Fachbuch 2009*», Roland Köhler Verlag, Zürich). Il dépasse ainsi les coûts externes de toutes les autres énergies: 4.5 cts/kWh pour le mazout, 3.0 cts/kWh pour le gaz, 1.5 cts/kWh pour le bois et pour la chaleur à distance. S'agissant d'une moyenne sur toutes les sources d'électricité, il est difficile d'estimer ce coût pour l'énergie nucléaire.

Un rapport datant de 1994 («*Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie*», Programme PACER)

donne une estimation des coûts externes de l'électricité nucléaire en Suisse. Selon le point de vue envisagé, ils pourraient être compris entre 1.9 et 31.6 cts/kWh.

Les plus lourds tributs aux coûts externes du nucléaire sont probablement l'extraction du combustible dans les pays en développement, la problématique de la gestion des déchets et les dégâts en cas d'accident majeur.

Les centrales suisses se fournissent notamment en combustible auprès de la société Areva, qui extrait l'uranium au Niger dans des conditions déplorables, ayant de graves répercussions sur la santé humaine et l'environnement («*L'uranium, le pactole maudit du Niger*», le Temps, 2008). L'image suivante montre la mine d'Arlit dans le massif de l'Air au Niger.



**Les gisements d'uranium à Arlit au Niger** ont été découverts en 1965. Depuis, plus de 3'000 tonnes de précieux minerai en sont extraits chaque année, soit 8 % de la production mondiale. Ceci place le Niger au troisième rang des producteurs derrière le Canada et l'Australie. Malgré la richesse de son sous-sol, indispensable à l'indépendance énergétique de quelques pays occidentaux, ce pays du Sahel est le deuxième plus pauvre au monde («*365 jours pour réfléchir à notre Terre*», Yann Arthus Bertrand, 2004).

Viennent ensuite la sécurité des peuples. Le risque d'accident est limité au maximum par des mesures de sécurité importantes, mais n'est jamais nul. Il a été possible de constater les méfaits d'un accident nucléaire dans le cas de Tchernobyl, en 1986. Par là, l'acceptation du nucléaire par la population est mitigée.

Selon le rapport Katanos («*Katastrophe und Notlagen in der Schweiz*», Bundesamt für Zivilschutz, 1995), la protection civile suisse a montré qu'un accident nucléaire majeur provoquerait en Suisse des dommages pouvant dépasser les 4'000 milliards de francs. Avec une production annuelle d'environ 21 TWh pour les cinq centrales suisses sur 50 ans (durée de vie maximale des centrales actuelles), donc 1'050 TWh produits en tout, on obtiendrait un coût externe de 380 cts/kWh, si l'on voulait assurer l'éventualité d'un accident majeur pendant cette période.

En 1992, une étude («*Internalization of external costs during the crisis of environmental policy or as a crisis for economic policy*», E. Moths, Bundesminis-

*terium für Wirtschaft, 1992*) avait indiqué que, dans le cas de l'Allemagne, le coût d'une assurance risque qu'il faudrait idéalement payer pour couvrir un éventuel accident majeur reviendrait à 1.8 euros/kWh.

Dernièrement, il a été constaté que le stockage des déchets radioactifs peut aussi avoir un impact sur l'environnement. Les déchets, avant d'être stockés, ont généralement été retraités une fois en France. Actuellement, un moratoire sur le traitement des déchets a été mis en place («*Loi sur l'énergie nucléaire*», état 2004). Cela ne résout cependant pas la problématique du stockage, qui reste d'actualité. Un site de stockage pour les déchets suisses peine à être trouvé, car la population s'y oppose chaque fois.

Sont cités parfois aussi les problèmes suivants: rejets thermiques dans les rivières (impact sur les écosystèmes fluviaux), impact visuel sur le paysage (tours de refroidissement, fumées de vapeurs d'eau), emprise au sol (périmètre bétonné et perdu pour un temps indéfini). ■

**Les coûts externes de l'électricité nucléaire ne sont pas clairement évalués.**

**Les données existantes sont très variables :**

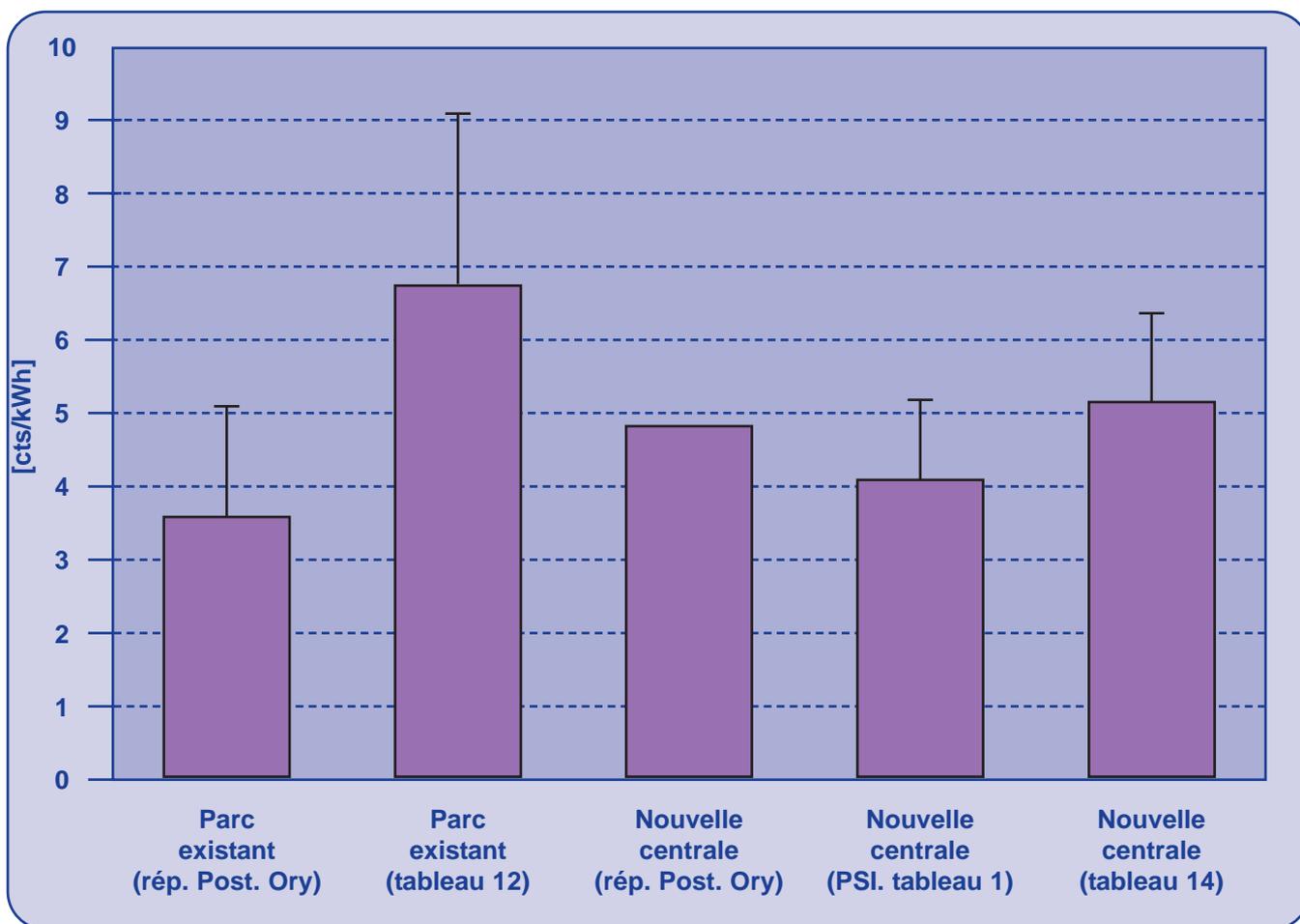
**5.0 cts/kWh à 380 cts/kWh.**

## 4.4 - Récapitulatif du coût du kWh nucléaire en Suisse et dans d'autres pays

Le coût officiel de l'électricité nucléaire en Suisse est de 3.6 à 5.1 cts par kWh selon les centrales. L'électricité produite par une nouvelle installation coûterait 4.8 cts/kWh. Ces coûts reposent sur la réponse de la Confédération au postulat Ory (déposé

en décembre 2006).

Néanmoins, au vu des discussions des chapitres précédents, il semblerait que ces coûts soient sous-estimés. Le graphique 5 illustre la variabilité des coûts obtenus par différentes sources.



### Graphique 5:

Coût de l'électricité nucléaire selon différentes sources, pour les centrales existantes et une éventuelle nouvelle installation. Les barres d'incertitudes représentent la fourchette tolérée (PSI = Paul Scherer Institute). Ni les coûts d'une assurance risque ni les coûts externes ne figurent dans ce graphique.

Une possible sous-évaluation des coûts du nucléaire en Suisse provient des phénomènes explicités ci-dessous:

- ▶ La variabilité des coûts de désaffectation des 5 centrales suisses au cours du temps est montrée par une *information aux médias de l'OFEN parue en 2004* («Garantie de financement à long terme pour la désaffectation et la gestion des déchets»):

Estimation de 1980:  
1.549 milliards,  
Estimation de 2001:  
1.835 milliards,  
Estimation de 2008: 2.2 milliards

### Qu'en sera-t-il en 2020?

- ▶ Incertitude sur le fonds pour la gestion des déchets radioactifs

(*Information aux médias, OFEN, 2004*): l'évaluation des coûts de la gestion des déchets a été faite sur une période de 40 ans, durée de vie initialement définie des centrales. La réponse au postulat Ory attribue des durées de vie beaucoup plus longues aux centrales, soit 50 ans pour les trois plus anciennes, et 60 ans pour les deux plus récentes. En 10 et 20 ans de plus, une quantité importante de déchets sera produite en plus, et il faudra en payer le prix. La hauteur du fonds a été fixée à 12.1 milliards, il pourrait alors atteindre 15 milliards.

Suite à ces deux constats, considérons l'hypothèse que les coûts du nucléaire augmentent de 4 milliards de francs ces prochaines années. Sur une production de 21 TWh/an sur 50 ans, cela représente un surcoût de 0.4 cts/kWh.

**Dans la suite de ce rapport et au vu des différents coûts présentés précédemment, nous considérerons le coût actuel du nucléaire en Suisse à 8.0 cts/kWh (coût moyen calculé pour les centrales de Gösgen et Leibstadt, chapitre 4).**

Il existe bon nombre d'autres rapports ou articles de journaux donnant des coûts indicatifs du nucléaire dans d'autres pays. En voici les chiffres.

### France



Le journal «Sortir du nucléaire (France)» n°42, juin 2009 stipule que le coût du kWh nucléaire serait, selon EDF, de 8.25 cts/kWh, sans considérer le démantèlement. Un autre journal, «Environnement magazine», janv.-fév. 2009, n°1674, précise que le coût du démantèlement représente 15 % de l'investissement (et serait même plus cher dans la réalité). Cela revient alors à un **prix du kWh de 9.49 cts.**

On ne sait pas quelles rubriques sont comprises dans leur calcul du coût du kWh.

### Finlande



Selon le rapport GaBE du PSI, **le coût du kWh de la nouvelle centrale finlandaise serait de 3.7 cts.** Cependant, il s'est avéré que dans le cas de cette centrale, un surcoût de construction de 3 milliards de francs est déjà apparu.



## Angleterre

En 1996, le National Audit Office a évalué les coûts du démantèlement à 9 mias par réacteur. Par la suite, d'après «Environnement magazine», janv.-fév. 2009, n°1674, le coût du démantèlement des 35 centrales anglaises serait de 4.4 mia de francs par réacteur, donc 154 milliards de francs.



## Allemagne

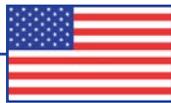
En 2003, la première centrale nucléaire allemande a été arrêtée. Le chantier de démantèlement de Stade a été évalué à quelques 500 mios d'euros, alors que sa construction n'avait coûté que 153 mios d'euros (*«L'abandon du nucléaire se concrétise avec l'arrêt de la première centrale»*, [www.dissident-media.org](http://www.dissident-media.org)).

**E**n Europe, selon l'agence Fitch (agence de notation financière internationale), les fonds à disposition sont actuellement insuffisants pour couvrir les futures responsabilités nucléaires (*«Assessing the risk of nuclear liabilities»*, *FitchRating*, 25 avril 2005). Ceci surtout dans les cas où une centrale devrait être fermée plus tôt que prévu, ou suite à la privatisation d'une centrale tout d'abord propriété de l'Etat. La somme nécessaire à la réhabilitation du site d'une centrale s'élèverait à 10 à 15 % du coût d'investissement initial par réacteur à démanteler (*«Fonds de démantèlement des centrales nucléaires: la Commission appelle à plus de transparence»*, article de presse de la Commission Européenne IP/04/1308, octobre 2004). Cependant, les récentes expériences en France montre que ce pourcentage est trop faible. C'est pourquoi en 1991 déjà, les Etats-Unis ont augmenté cette proportion à 25 % du coût d'investissement (*«Gestion des fonds de démantèlement*

*des centrales nucléaires»*, *Greenpeace*, avril 2003).

De plus, en 1996, «The Economist» admet avoir fait une lourde erreur en ayant cru au nucléaire bon marché. En effet, la construction et la fermeture des centrales, ainsi que le traitement des combustibles irradiés, entraînent des coûts énormes et impossibles à évaluer précisément. Les gouvernements occidentaux, qui autrefois vantaient les louanges du nucléaire, reconnaissent aujourd'hui que le gaz et l'hydroélectricité sont des sources d'énergie meilleur marché.

Quelques années plus tard, le même journal (*«L'énergie nucléaire»*, *The Economist*, juillet 2007) stipule que: «En tenant compte des incertitudes, la plupart des études faites sur la rentabilité du nucléaire concluent que de nouvelles centrales construites par le secteur privé, avec des actionnaires supportant tous les risques, ne seraient pas rentables sans subventions».

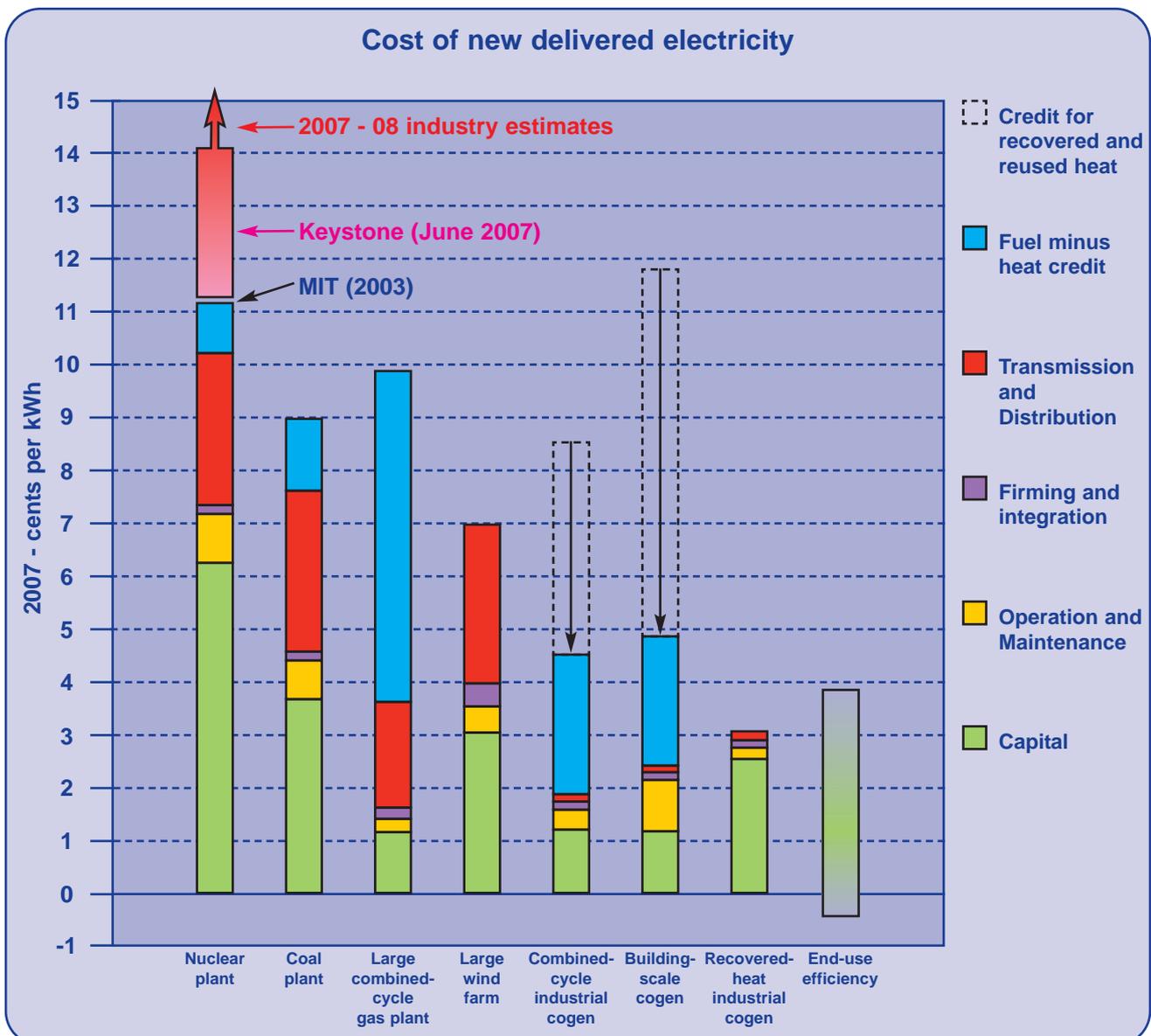


## Etats-Unis

Selon l'article «Oubliez le nucléaire», A. Lovins, Rocky Mountains Institute, **le coût du nucléaire au USA serait compris entre 14.4 et 19.2 cts/kWh**. Le graphique 6, extrait de l'article précité, montre les coûts de l'électricité produite par différentes sources aux USA.

Selon «Environnement magazine», janv.-fév. 2009, n°1674, le coût du démantèlement dans ce pays atteindrait 360 mio de francs/centrale REP (Réacteur à Eau Pressurisée, 80 % des réacteurs dans le monde) (par exemple, la construction en 1960 du réacteur de Yankee Rowe, Massachusetts a coûté 186 mios de dollars, alors que son démantèlement en a coûté 350 mios («Centrales nucléaires: une bombe à retardement?», N. Lenssen, Washington DC Institute, 1999).

Nous ne savons pas si le coût du démantèlement est pris en considération dans les coûts illustrés par le graphique 6.



**Graphique 6:**

Coût de l'électricité nucléaire aux USA, en comparaison avec d'autres sources d'électricité.

Un rapport de Greenpeace donne également une bonne indication de la variabilité des coûts du nucléaire dans ce pays. Le tableau 14 illustre ces différents coûts, calculés indépendamment par bon nombre d'instituts différents («*The economics of nuclear power*», Greenpeace International, mai 2007). A partir de ce graphique, il est possible de constater que le coût de production de l'électricité nucléaire aux Etats-Unis est en moyenne de 48 euros/MWh, soit 7.3 cts/kWh.

**Tableau 14:**

Différents coûts du nucléaire calculés indépendamment par divers instituts, universités ou associations.

Forecast	Construction cost (€/kW)	Construction time (months)	Cost of capital (% real)	Load factor (%)	Non-fuel O&M (€/MWh)	Fuel cost (€/MWh)	Operating life (years)	Decommissioning scheme	Generating cost (€/MWh)
Rice university									50.0
Lappeenranta Univ	1,875		5	91	13	5	60		24
Performance and Innovation Unit	<1,200	-	8 8 15	>80			30 15 15		35 42 57
Scully Capital	725-1,160	60		90	8	4	40	€390m accrued in 40 year life of plant	
Massachusetts Institute of Technology	1,800	60	11,5	85 75	11(1)	-	40 25		67 79
Royal academy of Engineers	1,660	60	7,5	90	12	10	40	Included in construction cost	41
Royal academy of Engineers (update)	1,520	60	10	90	13	10	40		41
Chicago University	800-1,450	84	12,5	85	8	4	40	€290m	43-58
Canadian Nuclear Assoc.	1,550	72	10	90	7	4	30	Fund. €0.45/kWh	50
IEA / NEA	1,600-3,600	60-120	5	85	10-24	4-17	40	Included in construction cost	18-40
OXERA	2,350 first plant		10	95	9	1	40	€750m in fund after 40 years of life	36-76
UK Energy Review 2006	1,875	72	10	80-85	11.5	5.8	40	€600/kW	57

Notes :  
(1) The MIT O&M costb included fuel.

Les chiffres ci-dessus sont les seules données concernant le coût du kWh nucléaire dans le monde qui ont pu être obtenues. Il n'y a cependant rarement de détails sur le contenu des ces coûts (coût de production, d'investissement, du combustible, de stockage des déchets, de démantèlement), de ce fait ces chiffres ne sont pas comparables.

Au niveau des assurances, les assureurs ont toujours refusé de couvrir les risques nucléaires par le biais de l'assurance dommages traditionnelle. Des

exclusions des risques nucléaires ont alors été introduites. Ceci parce que la responsabilité de tout incident ou accident nucléaire est attribuée aux exploitants de centrales et que les risques d'attaques ou d'accidents impliquant des armes nucléaires ne sont pas assurables (par exemple terrorisme). Cependant, d'après la compagnie d'assurance Swiss Re, les exclusions sont inadaptées, mais personne ne semble s'en préoccuper («*Les risques nucléaires dans l'assurance dommages et les limites de l'assurabilité*», Swiss Re, Focus report, 2003).

# 5 - Comparaison des résultats des différentes alternatives

## 5.1 - Coûts du kWh

Le tableau 15 présente les potentiels d'économie ou de production d'électricité renouvelable et nucléaire ainsi que leurs coûts relatifs. En regardant uniquement les potentiels d'économie et de production, il est aisé de s'apercevoir que la quantité d'électricité nucléaire produite peut largement être

remplacée par les kWh non-utilisés grâce aux mesures d'efficacité énergétique. Les énergies renouvelables pourraient être une source énorme d'électricité si elles étaient développées et subviendraient sans problème à l'augmentation de la demande, si cette dernière n'était pas jugulée.

**Techniquement, on peut alors affirmer qu'il n'est pas nécessaire de se diriger vers la construction d'une nouvelle centrale nucléaire. L'efficacité électrique et la production renouvelable suffiraient à répondre aux besoins.**

**Tableau 15:**

Potentiels d'économie ou de production d'électricité renouvelable et nucléaire totale sur 60 ans et leurs coûts relatifs.

	Potentiel d'économie d'électricité en Suisse	Energie économisée sur 60 ans	Coût total établi des mesures d'économie pour 60 ans	Coût moyen du kWh économisé ou produit sur 60 ans
Economies «Méthode Fribourg», avec surcoût de renouvellement des appareils pour une période de 60 ans*	13 TWh/an	780 TWh	41'300 mio Frs	5.3 cts/kWh
	Potentiel de production d'électricité renouvelable en Suisse	Energie produite sur 60 ans	Coût total établi du développement des énergies renouvelables pour 60 ans	
Production renouvelable «Méthode SATW»	14.9 TWh/an	894 TWh	-	20.0 cts/kWh
	Potentiel de production d'électricité en Suisse	Energie produite sur 60 ans	Coût total de l'électricité produite pour 60 ans	
Production «Centrales actuelles» **/**	21 TWh/an	1260 TWh	100'800 mio Frs	8.0 cts/kWh
Production «Nouvelle centrale» **/**	9.3 TWh/an	564 TWh	32'700 mio Frs	5.8 cts/kWh

\* Concernant le coût moyen du kWh économisé grâce aux mesures d'efficacité, celui-ci a été calculé en fonction des chiffres propres à chaque mesure présentés à l'annexe 1. En général, trois renouvellements des appareils ou installations ont été considérés sur une période de 60 ans.

\*\* Concernant la production des centrales actuelles et de la nouvelle centrale, une option de calcul a été faite sur la base des coûts du kWh à 8.0 cts et de 5.8 cts respectivement, selon le chapitre 4 et l'encadré du chapitre 4.1.

\*\*\* Les coûts externes du nucléaire ne sont pas considérés dans ce tableau. En Suisse, ils se situent cependant entre 1.9 et 31.6 cts/kWh (voire chapitre 4.3).

**D**e manière globale, en se penchant sur les coûts, il est possible de constater que le développement des énergies renouvelables est beaucoup plus cher que la mise en œuvre des mesures d'efficacité et que la construction d'une centrale nucléaire. Il faut cependant prendre l'hypothèse qu'au fil du temps le coût des énergies renouvelables va baisser significativement (hypothèse considérée également dans le rapport du SATW: coût moyen pondéré du kWh en 2003: 36.9 cts, en 2050: 10.9 cts).

L'efficacité électrique apparaît comme moins coûteuse que le nucléaire (5.3 cts/kWh contre 5.8 cts/kWh donné par nos calculs (moyenne des coûts définis dans les tableaux 12 et 13), et dans la fourchette de prix mentionnés dans la réponse au postulat Ory).

La définition du coût du kWh économisé a fait apparaître une question importante: dans le rapport «Fribourg», les

coûts ont été calculés sur 20 ans, durée de vie des appareils (moteurs industriels, ventilations, électroménager, informatique, etc.). Cependant, la durée de vie des centrales nucléaires est beaucoup plus longue, 60 ans environ. Il serait donc nécessaire de renouveler l'appareillage trois fois en 60 ans, ou plus selon le type d'équipements considérés. Dans ce cas, il ne faut pas considérer trois fois les mêmes surcoûts liés à l'efficacité énergétique. En effet, nous pouvons admettre un premier surcoût important dû à une adaptation technologique majeure. Des hypothèses raisonnables ont été posées pour chaque mesure (pour plus de précision, voire annexe 1). On obtient alors un coût raisonnable du kWh économisé de 5.3 cts. Le kWh économisé reviendrait alors à près de 10 % moins cher que le kWh nucléaire (cas d'une nouvelle centrale EPR) calculé selon nos soins. ■

### **Théoriquement :**

**En appliquant toutes les mesures d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables, il est possible de remplacer la production de 3 centrales nucléaires EPR dont les productions annuelles atteindraient 9.3 TWh chacune!**

### **Comparaison des capacités d'économie/de production et du prix de revient du kWh:**

	<b>Capacité d'économie / de production [TWh/an]</b>	<b>Coût du kWh [cts/kWh]</b>
<b>Efficacité électrique</b>	13	5.3
<b>Electricité renouvelable</b>	14.9	20.0
<b>Electricité nucléaire (nouvelle centrale EPR)</b>	9.3	5.8

## 5.2 - Effet sur le climat et sur l'économie

### 5.2.1 - Climat

Le cahier technique SIA 2031 «Certificat énergétique des bâtiments» donne les coefficients d'émission de gaz à effet de serre des différents modes de production d'électricité. Ils sont présentés dans le tableau 16.

Au vu du tableau 16, l'argument des personnes encourageant le nucléaire stipulant que cette technologie est favorable au climat se comprend. En effet, il apparaît que seules les productions d'électricité à partir de l'incinération des ordures ménagères et grâce à des sources hydrauliques émettent moins de CO<sub>2</sub>. Néanmoins, les autres énergies renouve-

lables telles qu'énergie solaire, éolienne, au bois, au biogaz et géothermique ont des coefficients d'émissions tout à fait acceptables. De ce côté-là, les énergies renouvelables se défendent bien.

Un point reste à éclaircir: quel est le coefficient d'émission de l'efficacité énergétique? Il n'existe aucune information à ce sujet. Cependant, le bon sens ferait tendre ce dernier vers zéro. En effet, l'efficacité énergétique ne demande aucune infrastructure particulière ni aucun matériel supplémentaire (les mesures d'efficacité étant généralement intrinsèques à l'appareil en question).

**Tableau 16:**

Coefficients d'émission de gaz à effet de serre des différents modes de production d'électricité, indiqués dans deux unités différentes, à titre indicatif (cahier technique SIA 2031, p. 43).

	Coefficient d'émission de gaz à effet de serre [g CO <sub>2</sub> -éq/kWh]	Coefficient d'émission de gaz à effet de serre [kg/MJ]
Centrale nucléaire	18	0.005
Centrale à turbine à gaz et à vapeur	486	0.135
Centrale à charbon (vapeur)	1'238	0.344
Centrale à mazout	997	0.277
Usine d'incinération des ordures	7	0.002
Centrale chaleur-force à bois	115	0.032
Centrale chaleur-force au diesel	832	0.231
Centrale chaleur-force au gaz	738	0.205
Centrale chaleur-force au biogaz	187	0.052
Production photovoltaïque	90	0.025
Production éolienne	29	0.008
Centrale hydraulique	11	0.003
Pompage-turbinage	198	0.055
Centrale chaleur-force géothermique	32	0.009
Non vérifiable (mélange UCTE)	594	0.165

**Selon la SIA, le coefficient d'émission de gaz à effet de serre de l'électricité nucléaire est très faible. Cependant, celui de certaines énergies renouvelables l'est encore plus.**

**Qu'en est-il de celui de l'efficacité énergétique?  
Il est probablement égal à zéro.**

Il existe cependant d'autres sources chiffrant les émissions de CO<sub>2</sub> de l'électricité nucléaire. Ces dernières se situeraient entre 4 g (CO<sub>2</sub>-éq)/kWh à 285 g (CO<sub>2</sub>-éq)/kWh (donc entre 0.001 et 0.792 kg/MJ), selon les sources. De telles variations sont dues aux paramètres pouvant varier et considérés dans le calcul des émissions. Il s'agit des paramètres suivants:

- ▶ la teneur en uranium du minerai utilisé (elle varie d'une mine à l'autre et, moins la teneur en uranium est

importante, plus son extraction est coûteuse en énergie),

- ▶ la manière d'enrichir l'uranium (diffusion gazeuse ou centrifugation),
- ▶ la source d'énergie pour l'enrichissement,
- ▶ la construction de la centrale,
- ▶ la démolition de la centrale,
- ▶ la gestion des déchets.

L'Institut Paul Scherrer à Villingen avance le chiffre de 0.029 kg/MJ. (*«Le climat ne sauvera pas le nucléaire»*, *Le Temps*, novembre 2007). ■

**Selon d'autres sources, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la production d'électricité nucléaire seraient comprises entre 4 et 285 g (CO<sub>2</sub>-éq)/kWh.**

**Ces émissions sont fortement dépendantes de la nature du combustible, de la manière de se le procurer (mode d'enrichissement), et de la construction/démolition de la centrale et de la gestion de ses déchets.**



## 5.2.2 - Economie

**C**ontrairement au nucléaire, l'efficacité électrique ne demande pas d'infrastructures spécifiques, la production d'électricité renouvelable demande de petites infrastructures, la plupart du temps fabriquées en Suisse ou dans des pays européens. C'est pourquoi ces deux alternatives sont beaucoup moins nocives à l'homme et à l'environnement, et de plus bénéfiques pour l'économie locale par la création d'emplois et le maintien de valeurs ajoutées dans notre pays.

En effet, la construction d'une nouvelle centrale apporterait la création de quelques centaines d'emplois temporaires pendant la phase de construction, et moins de cents emplois pérennes en phase d'exploitation.

L'efficacité énergétique quant-à elle demanderait des ressources humaines dans la recherche de nouvelles technolo-

gies, du personnel de contrôle et d'optimisation des installations en place.

Finalement, le développement des énergies renouvelables procurerait un grand nombre d'emplois pérennes, dans tous les domaines de la chaîne (recherche et développement, fabrication, montage, entretien, etc.).

Pour conforter ce point de vue, suite à la parution d'un rapport publié à Bruxelles le 14 septembre 2009 élaboré par Greenpeace (*«Working for the climate: Green Energy Job Creation»*), la même association affirme dans un communiqué de presse que «pour chaque emploi supprimé dans le secteur du charbon et du nucléaire, sept emplois seront créés avec les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique au cours des dix prochaines années» (Frauke Thies, expert de Greenpeace pour les questions énergétiques). ■

**Au niveau économique, ce sont les mesures d'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables qui procurerait le plus d'emplois pérennes.**

**Vient ensuite la construction d'une nouvelle centrale nucléaire.**



## 6 - Conclusions

Il apparaît clairement dans ce rapport que le coût réel de l'électricité nucléaire est mal connu, tant en Suisse que dans d'autres pays.

Officiellement en Suisse, le prix du kWh nucléaire est compris entre 3.6 et 5.1 cts. Néanmoins, le calcul de ces coûts n'est pas transparent. En se basant sur les documents disponibles, nos calculs nous ont mené à rehausser de quelques centimes le coût actuel du kWh nucléaire, pour l'établir à 8.0 cts. Le prix du kWh nucléaire issu d'une nouvelle centrale EPR avoisinerait les 5.8 cts.

Comparativement au kWh économisé ou

produit grâce à des mesures d'efficacité énergétique et au développement des énergies renouvelables, le coût du kWh nucléaire se situe un peu au dessus du kWh économisé et bien au dessous de celui issu des énergies renouvelables. Il faut cependant savoir que le coût du kWh renouvelable tendra à baisser ces prochaines années, parallèlement à la maturation des technologies. De plus, les deux alternatives précitées semblent capables de fournir une quantité d'électricité équivalente à ce que pourraient produire trois nouvelles centrales EPR, soit près de 28 TWh par an. Le tableau suivant résume ces résultats.

**Tableau 17:**

Récapitulatif des potentiels d'économie ou de production grâce aux diverses sources d'électricité discutées dans le présent rapport et coûts respectifs du kWh.

	Economie / production annuelle [TWh/an]	Coût du kWh [cts]
Efficacité électrique	13	5.3
Développement des énergies renouvelables	14.9	20
Nouvelle centrale nucléaire EPR	9.3	5.8
Production nucléaire actuelle moyenne des 5 centrales nucléaires suisses	21	8.0

Du point de vue du climat, l'électricité nucléaire n'est pas significativement plus favorable que celle produite par des sources renouvelables. L'efficacité électrique se place en première position avec un impact quasiment nul sur le climat.

Au niveau de l'emploi, ce sont l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables qui sont aptes à fournir le plus d'emplois

perennes à court, moyen et long terme. Au vu de ces quelques considérations, et sachant de plus que la technologie nucléaire présente des risques importants pour l'Homme et l'environnement dont les coûts seraient très élevés (coûts externes), les alternatives d'amélioration de l'efficacité énergétique et de production d'électricité renouvelables semblent se dessiner comme un choix plus opportun pour la Suisse. ■

# 7 - Bibliographie

- «*Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken*», OFEN, 2008,
- «*AREVA au Niger*», journal Sortir du nucléaire (Suisse), n°73, mars 2008,
- «*Assessing the risk of nuclear liabilities*», FitchRating, 25 avril 2005,
- «*Centrales nucléaires: une bombe à retardement?*», N. Lenssen, Washington DC Institute, 1999,
- «*Certificat énergétique des bâtiments*», cahier technique SIA 2031, 2009,
- «*Coûts réels de l'énergie nucléaire*», Réponse du Conseil fédéral au Postulat ORY n° 06.3714, mai 2008,
- «*Daten Widerstandsheizungen bis 2007*», site Internet de l'OFEN, avril 2009,
- «*Deuxième EPR: une erreur historique pour l'économie française*», Sortir du nucléaire (France), n°42, juin 2009,
- «*Die externen Kosten der Stomerzeugung aus Kerenergie*», Programme PACER, 1994,
- «*Evaluation du potentiel géothermique suisse*», Geowatt AG, 2007,
- «*Fonds de démantèlement des centrales nucléaires: la Commission appelle à plus de transparence*», article de presse de la Commission Européenne IP/04/1308, octobre 2004,
- «*Gestion des fonds de démantèlement des centrales nucléaires*», Greenpeace, avril 2003,
- «*Garantie de financement à long terme pour la désaffectation et la gestion des déchets*», information aux médias, OFEN, 2004,
- «*Internalization of external costs during the crisis of environmental policy or as a crisis for economic policy*», E. Moths, Bundesministerium für Wirtschaft, 1992,
- «*Katastrophe und Notlagen in der Schweiz*», Bundesamt für Zivilschutz, 1995,
- «*L'abandon du nucléaire se concrétise avec l'arrêt de la première centrale*», novembre 2003, www.dissident-media.org (état au 2 septembre 2009),
- «*L'énergie nucléaire*», The Economist, juillet 2007,
- «*L'uranium, le pactole maudit du Niger*», le Temps, 16 février 2008,
- «*Le climat ne sauvera pas le nucléaire*», Le Temps, novembre 2007,
- «*Les coûts cachés du démantèlement*», Environnement Magazine, n° 1674, 2009,
- «*Les risques nucléaires dans l'assurance dommages et les limites de l'assurabilité*», Swiss Re, Focus report, 2003,
- «*Loi sur l'énergie nucléaire (LEnu)*», état 2004,
- «*Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten*», rapport GaBE, Paul Scherrer Institute, mai 2005,
- «*Nucléaire: l'énergie des déchets*», Le Temps, 5 juin 2009,
- «*Oubliez le nucléaire*», A. Lovins, Rocky Mountains Institute, 2008
- «*Perspectives énergétiques pour 2035*», OFEN, 2007,
- «*Plan de route des énergies renouvelables Suisse*», SATW, 2006,
- «*Possibilités d'augmenter l'efficacité énergétique électrique et la production indigène d'électricité*», en réponse au Postulat n°320.06 Crausaz/Bürgisser, pour le canton de Fribourg, juillet 2008,
- «*Réfrigérateurs et congélateurs A++, pour une meilleure efficacité énergétique*», topten.ch et SuisseEnergie, mai 2007,
- «*Schweizer Energie Fachbuch 2009*», Roland Köhler Verlag, Zürich,
- «*The economics of nuclear power*», Greenpeace International, mai 2007,
- «*Un courant alternatif pour le Grand Ouest, quelles alternatives au réacteur EPR?*», Les 7 vents du Cotentin, 2006,
- «*Uranium 2007: resources, production and demand*», Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA), www.iaea.org , 2008,
- «*365 jours pour réfléchir à notre Terre*», Yann Arthus Bertrand, 2004, édition La Martinière.

## 8 - Annexes

### Annexe 1

Mesures d'efficacité proposées pour réduire la consommation d'électricité et de développement des énergies renouvelables sur le canton de Fribourg. Mesures étendues à toute la Suisse, tirées du rapport: «*Possibilités d'augmenter l'efficacité énergétique électrique et la production indigène d'électricité*», en réponse au Postulat n°320.06 Crausaz/Bürgisser, pour le canton de Fribourg, juillet 2008.

#### Mesure 1:

Interdiction du chauffage électrique dans les nouvelles constructions. Pas de coûts d'investissement ni de potentiel d'économie, car cette mesure obligatoire est déjà en vigueur.

<b>Mesure 2: Interdiction à terme des chauffages électriques dans les constructions existantes</b>		
<b>Chiffres pour une maison individuelle</b>	<b>Unités</b>	
1er surcoût: changement du système de chauffage pour une PAC et installation d'un réseau de radiateurs	[frs]	40'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	12'000
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	12'000
Consommation d'électricité de base 2007	[kWh/an]	20'000
Consommation d'électricité avec PAC (COP = 4) 2007	[kWh/an]	5'000
Economies potentielles 2007	[kWh/an]	15'000
Temps d'amortissement	[ans]	20
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>13.33</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>8.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.11</b>
<b>Chiffres pour la totalité des ménages possédant un chauffage électrique</b>		
Nombre de ménages possédant un chauffage électrique en 2007		10'000
<b>Potentiel d'économies techniques</b>	<b>[GWh]</b>	<b>150</b>
<b>Investissement de base nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>400</b>
<p><b>Remarques: Comme le chauffage électrique sera interdit à terme, il n'y aura plus de nouvelles installations mises en service, donc pas d'économies supplémentaires d'ici 2027. Les économies à considérer sont donc celles fixées en 2007.</b></p> <p><b>En rouge, chiffres estimés.</b></p>		

**Mesure 2:  
Interdiction de pose ou de remplacement des chauffe-eau**

<i>Chiffres pour une maison individuelle</i>	Unités	
1er surcoût: remplacement du chauffe-eau électrique par un chauffe-eau alimenté par une PAC	[frs]	5'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	2'000
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	2'000
Consommation d'électricité de base 2007	[kWh/an]	3'000
Consommation d'électricité avec PAC (COP = 3) 2007	[kWh/an]	1'000
Augmentation du nombre de ménages et donc d'installations d'ici 2027	[-]	0.144
Economies potentielles pour un ménage	[kWh/an]	2'000
Temps d'amortissement	[ans]	20
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>12.50</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>8.75</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.50</b>
<i>Chiffres pour la totalité des ménages possédant un chauffage électrique</i>		
Nombre de ménages possédant un boiler électrique en 2007		15'000
Nombre de ménages possédant un boiler électrique en 2027		17'160
<b>Potentiel d'économies techniques</b>	<b>[GWh]</b>	<b>34.32</b>
<b>Investissement de base nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>85.8</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

**Mesure 4:  
Limitation à terme des appoints électriques (PAC)**

<b>Economies potentielles pour une maison individuelle</b>	<b>Unités</b>	
1er surcoût: remplacement d'une PAC classique par une PAC avec appoint électrique limité	[frs]	1'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	0
Augmentation du nombre de ménages et donc d'installations d'ici 2027	[-]	0.144
Réduction de la consommation d'électricité par cas	[kWh]	750 10kW*300 h/4
Temps d'amortissement	[ans]	20
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>6.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>3.33</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>2.22</b>
<b>Chiffres pour la totalité des ménages possédant un chauffage électrique</b>		
Nombre de ménages possédant une PAC en 2007		2'000
Nombre de ménages possédant une PAC en 2027		2'288
<b>Potentiel d'économies techniques</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.72</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>2.29</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

**Mesure 5:  
Remplacement des moteurs industriels**

<i>Economies potentielles pour un moteur</i>	Unités	Moteurs
Nombre estimé de moteurs en 2007		1'350
Nombre estimé de moteurs en 2027		1'485
Puissance moyenne estimée d'un moteur	kW	20
Augmentation du nombre d'industries, donc de moteurs d'ici 2027	[-]	0.1
Heures de fonctionnement	[h/an]	5'000
Puissance totale estimée des moteurs en 2007	MW	27
Puissance totale estimée des moteurs en 2027	MW	30
Consommation annuelle d'électricité pour un moteur moyen	[MWh]	100
Economies annuelles réalisables par le remplacement d'un moteur (30%)	[MWh]	30
1er surcoût: remplacement d'un moteur traditionnel par un appareil à meilleur rendement	[frs]	10'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	0
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	[cts/kWh]	<b>1.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	[cts/kWh]	<b>0.83</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	[cts/kWh]	<b>0.56</b>
<i>Economies potentielles en remplaçant tous les moteurs</i>		
<b>Potentiel d'économies techniques en 2027</b>	[GWh]	<b>44.6</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	[Mio frs]	<b>14.9</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

**Mesure 6:  
Remplacement des pompes de circulation dans les ménages**

<i>Economies potentielles pour un circulateur</i>	Unités	Circulateurs
Nombre estimé de circulateurs en 2007		200'000
Nombre estimé de circulateurs en 2027		228'800
Puissance moyenne estimée d'un circulateur	kW	0.1
Augmentation du nombre de bâtiments, donc de circulateurs d'ici 2027	[-]	0.144
Heures de fonctionnement	[h/an]	5'000
Puissance totale estimée des circulateurs en 2007	MW	20
Puissance totale estimée des circulateurs en 2027	MW	23
Consommation annuelle d'électricité pour un circulateur moyen	[MWh]	0.5
Economies annuelles réalisables par le remplacement d'un circulateur (50%)	[MWh]	0.25
1er surcoût: remplacement d'un circulateur traditionnel par un appareil mieux dimensionné	[frs]	200
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	0
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>4.00</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>2.00</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>1.33</b>
<i>Economies potentielles pour la totalité des circulateurs</i>		
<b>Potentiel d'économies techniques d'ici 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>57.2</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>45.76</b>

**Remarques:**

**a - en rouge, chiffres estimés.**

**b - le surcoût de remplacement d'un circulateur mal dimensionné par un bien dimensionné est considéré comme égal à zéro si le remplacement a lieu lorsque ce dernier arrive en fin de vie, mais on y ajoute 100.- de frais d'étude.**

**Mesure 7:  
Assainissement de l'éclairage public**

<b>Economies potentielles au niveau de l'éclairage dans les ménages</b>	<b>Unités</b>	<b>Luminaire</b>
Nombre de lampadaires en 2007		8'655
Nombre de lampadaires en 2027		9'901
Augmentation de la population, donc des infrastructures d'ici 2027	[-]	0.144
Consommation estimée des lampadaires en 2007 (S.A.F.E.)	[GWh]	2.25
Consommation estimée des lampadaires en 2027	[GWh]	2.57
1er surcoût: coût d'une tête	[frs]	400
2ème surcoût: 1er remplacement de la lampe existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de la lampe existante	[frs]	0
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>19.26</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>9.00</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>5.50</b>
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027 (40 % d'économies possibles selon S.A.F.E.)</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.0</b>
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2047 (+ 10 %)</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.1</b>
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2067 (+ 10 %)</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.2</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>4.0</b>

**Remarque:**

**En rouge, chiffres estimés.**

**Mesure 8:  
Eclairage dans les bâtiments d'habitation et de services**

<i><b>Economies potentielles au niveau de l'éclairage dans les ménages</b></i>	<b>Unités</b>	<b>Ménages</b>
Nombre de ménages en 2007		103'822
Nombre de ménages en 2027		118'772
Augmentation de la population, donc du nombre de ménages d'ici 2027	[-]	0.144
Nombre estimé d'ampoules de 60 W dans un ménage		8
Consommation par ménage pour l'éclairage (8 ampoules * 60 W * 1h * 365j)	[kWh]	175.2
Potentiel d'économies par le remplacement des ampoules	[kWh]	131.4
1er surcoût: 2 remplacements de 8 ampoules (12 frs la pièce en moyenne)	[frs]	192
2ème surcoût: 2 renouvellements des ampoules existantes en 20 ans	[frs]	192
3ème surcoût: 2 renouvellements des ampoules existantes en 20 ans	[frs]	192
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.31</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.31</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.31</b>
<b>Potentiel d'économies techniques d'ici 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>15.6</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>22.8</b>
<hr/>		
<i><b>Economies potentielles au niveau de l'éclairage dans les services et industries</b></i>	<b>Unités</b>	<b>Services</b>
Nombre d'entreprises		14'458
Nombre de places de travail en 2007		91'383
Nombre de places de travail en 2027		104'542
Puissance allouée par place de travail	[W]	100
Energie consommée par place de travail (10h/j pour 220j)	[kWh]	220
Potentiel d'économies par l'optimisation de l'éclairage pour une place de travail	[kWh]	110
1er surcoût: achat de nouveaux luminaires pour un poste de travail + 1 renouvellement (10 % du 1er surcoût)	[frs]	220
2ème surcoût: 2 renouvellements des tubes existants en 20 ans	[frs]	40
3ème surcoût: 2 renouvellements des tubes existants en 20 ans	[frs]	40
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>10.00</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>5.91</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>4.55</b>
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>11.5</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>23.0</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

**Mesures 9 et 10:  
Ventilation, climatisation et froid industriel**

<b>Economies potentielles</b>	<b>Unités</b>	
Nombre d'entreprises considérées en 2007		10790
Hypothèse: 25 % des entreprises possèdent une ventilation		0.25
hypothèse: un système de ventilation est constitué de 2 monoblocs		2
Nombre estimé de monoblocs de ventilation en 2007		5'395
Augmentation de la population, donc du nombre d'entreprises et d'installations d'ici 2027	[%]	0.144
Nombre estimée de monoblocs de ventilation en 2027		6'172
Débit moyen d'un monobloc	[m3/h]	3'000
Consommation par monobloc	[kWh]	3'000
Consommation totale des monoblocs en 2027	[GWh]	18.52
Economies potentielles grâce à l'ajustement du débit	[-]	0.3
Economie réalisable par installation	[kWh]	900
1er surcoût: correction des installations	[frs]	3'000
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	0
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	0
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>16.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>8.33</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>5.56</b>
<b><i>Economies potentielles pour la totalité des entreprises secondaires et tertiaires</i></b>		
<b>Potentiel d'économies techniques d'ici 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>5.6</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>18.5</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

## Climatisation

<b>Economies potentielles</b>	<b>Unités</b>	
Nombre d'entreprises considérées en 2007		<b>10790</b>
Hypothèse: 25 % des entreprises possèdent une ventilation		<b>0.25</b>
Hypothèse: 30 % des entreprises possédant une ventilation possèdent également une climatisation		<b>0.3</b>
Nombre d'entreprises possédant une climatisation en 2007		809
Augmentation de la population, donc du nombre d'entreprises et d'installations d'ici 2027	[-]	0.144
Nombre estimée d'installations de climatisation en 2027		926
Consommation par installation	[kWh]	10'000
Consommation totale des monoblocs en 2027	[GWh]	9.26
Economies potentielles grâce à l'ajustement du débit	[-]	0.3
Economie réalisable par installation	[kWh]	3'000
1er surcoût: correction des installations	[frs]	<b>2'000</b>
2ème surcoût: 1er remplacement de l'installation existante	[frs]	<b>0</b>
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'installation existante	[frs]	<b>0</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>3.33</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>1.67</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>1.11</b>
<b><i>Economies potentielles pour la totalité des entreprises secondaires et tertiaires</i></b>		
<b>Potentiel d'économies techniques d'ici 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>2.8</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>1.9</b>
<b>Remarque:</b> <b>en rouge, chiffres estimés.</b>		

**Mesure 11:  
Appareils de bureau**

<b>Effizienz des appareils, ménages</b>	<b>Unités</b>	<b>Ecrans</b>
Nombre total de ménages en 2027: 121'238		
Nombre d'appareils existants (1 par ménage)		121'238
Nombre d'appareils à changer (70 %)		84'867
Puissance «on» modèles non efficaces de taille moyenne (www.topten.ch)	[W]	110
Puissance «on» modèles efficaces de taille moyenne (www.topten.ch)	[W]	30
Temps d'utilisation par année (4h/j * 330j)	[h]	1'320
Consommation actuelle d'un écran non efficace	[kWh]	145.2
Consommation actuelle d'un écran efficace	[kWh]	39.6
Potentiel d'économie pour le remplacement d'un écran	[kWh]	105.6
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>9.0</b>
1er surcoût: remplacement d'un appareil (www.topten.ch) + 1 renouvellement (50 % du surcoût)	[frs]	150
2ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	100
3ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	100
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>12.7</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>7.10</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>5.92</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>5.52</b>

**Remarque:**

**en rouge, chiffres estimés.**

## Appareils de bureau

<b>Efficienc e des appareils, entreprises</b>	<b>Unités</b>	<b>Ecrans</b>
Nombre total d'entreprises du secondaire et du tertiaire en 2007: 10'790 Nombre total d'entreprises du secondaire et du tertiaire en 2027: 12'344		
Nombre d'appareils existants (20 écrans par entreprise)		<b>246'880</b>
Nombre d'appareils à changer (50 %)		<b>123'440</b>
Puissance «on» modèles non efficaces de taille moyenne (www.topten.ch)	[W]	110
Puissance «on» modèles efficaces de taille moyenne (www.topten.ch)	[W]	30
Temps d'utilisation par année (9h/j * 220j)	[h]	1'980
Consommation actuelle d'un écran non efficace	[kWh]	217.8
Consommation actuelle d'un écran efficace	[kWh]	59.4
Potentiel d'économie pour le remplacement d'un écran	[kWh]	158.4
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>19.6</b>
1er surcoût: remplacement d'un appareil (www.topten.ch) + 1 renouvellement (50 % du surcoût)	[frs]	<b>150</b>
2ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	<b>100</b>
3ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	<b>100</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>18.5</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>4.73</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>3.95</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>3.68</b>

**Remarque:**

**en rouge, chiffres estimés.**

## Appareils de bureau

<b>Effizienz der Geräte, Unternehmen</b>	<b>Einheiten</b>	<b>Drucker</b>
Nombre total d'entreprises du secondaire et du tertiaire en 2007: 10'790 Nombre total d'entreprises du secondaire et du tertiaire en 2027: 12'344		
Nombre d'appareils existants (2 imprimantes par entreprise)		24'688
Nombre d'appareils à changer (70 %)		17'282
Puissance «en fonction» modèles non efficaces de taille moyenne	[W]	1'200
Puissance «en attente» modèles non efficaces de taille moyenne	[W]	120
Puissance «en veille» modèles non efficaces de taille moyenne	[W]	75
Puissance «en fonction» modèles efficaces de taille moyenne (Hewlett Packard)	[W]	600
Puissance «en attente» modèles efficaces de taille moyenne (Hewlett Packard)	[W]	50
Puissance «en veille» modèles efficaces de taille moyenne (Hewlett Packard)	[W]	15
Temps «en fonction» par année (6 % de 10h/j * 220j/an)	[h]	132
Temps «en attente» par année (94 % de 10h/j * 220j/an)	[h]	2'068
Temps «en veille» par année (14h/j * 220j/an + week-end)	[h]	5'576
Consommation annuelle d'une imprimante non efficace	[kWh]	825
Consommation annuelle d'une imprimante efficace	[kWh]	266
Potentiel d'économie pour le remplacement d'une imprimante	[kWh]	559
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027</b>	<b>[GWh]</b>	<b>9.7</b>
1er surcoût: remplacement d'un appareil + 1 renouvellement (50 % du surcoût)	[frs]	1'200
2ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	800
3ème surcoût: 2 renouvellements de l'appareil existant	[frs]	800
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>	<b>20.7</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>10.74</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>8.95</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[cts/kWh]</b>	<b>8.36</b>

**Remarque:**

en rouge, chiffres estimés.

**Mesure 12:  
Appareils ménagers**

	Unités	Lave- vais- selle	Lave- linge	Sèche- linge	Réfrigé- rateurs	Congé- lateurs	Divers	TOTAL
Nombre total de ménages en 2027: 121'238								
Nombre d'appareils existants		100'000	100'000	50'000	121'238	60'000	500'000	
Nombre d'appareils à changer		92'000	80'000	26'000	110'000	55'000	500'000	
Consommation actuelle par la majorité des ménages pour des appareils de classe C, de capacité et d'utilisation moyenne	[kWh]	226	281	380	396	477		
Consommation actuelle totale des appareils à changer	[GWh]	20.8	22.5	9.9	43.6	26.2	100	222.9
Potentiel d'économie en passant d'un appareil de classe C à un appareil de classe A, A+ ou A++	[%]	27	30	25	66	66	10	
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2027</b>	[GWh]	5.6	6.7	2.5	28.7	17.3	10	70.9
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2047 (+ 10 %)</b>	[GWh]	6.2	7.4	2.7	31.6	19.0	11.0	78.0
<b>Potentiel d'économies techniques pour 2067 (+ 10 %)</b>	[GWh]	6.8	8.2	3.0	34.8	20.9	12.1	85.8
1er surcoût: remplacement d'un appareil	[frs]	200	400	1'200	300	300	100	
2ème surcoût: 1er remplacement de l'appareil existant	[frs]	100	200	600	150	150	50	
3ème surcoût: 2ème remplacement de l'appareil existant	[frs]	100	200	600	150	150	50	
<b>Investissement nécessaire pour 20 ans</b>	[Mio frs]	18.4	32.0	31.2	33.0	16.5	50.0	181.1
<b>Investissement nécessaire pour 40 ans</b>	[Mio frs]	27.6	48.0	46.8	49.5	24.8	75.0	271.7
<b>Investissement nécessaire pour 60 ans</b>	[Mio frs]	36.8	64.0	62.4	66.0	33.0	100.0	362.2
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	[Cts/kWh]	16.39	23.72	63.16	5.74	4.76	25.00	12.77
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	[Cts/kWh]	11.18	16.19	43.01	3.91	3.25	17.05	8.71
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	[Cts/kWh]	9.03	13.08	34.78	3.16	2.63	13.77	7.04

Remarque:  
en rouge, chiffres estimés.

**Mesure 13:**  
**Stand-by dans les ménages, les services et l'industrie - Stand-by dans les ménages**

	Unités	Télé- viseurs (LCD)	Stéréo	Ordina- teurs	Impri- mantes	TOTAL
Nombre total de ménages en 2027: 121'238						
Nombre d'appareils existants		121'238	121'238	121'238	60'000	
Heures en stand-by		20	20	18		
Puissance max admise pour les stand-by (www.topten.ch)	[W]	2	10	2		
Consommation moy des stand-by par ménage pendant les heures de stand-by	[kWh]	14.60	73.00	13.14		100.74
1er surcoût: achat de 2 multiprises (2 X 25 frs)	[frs]					50.00
2ème surcoût: renouvellement des multiprises (2 X 25 frs)	[frs]					0.00
3ème surcoût: renouvellement des multiprises (2 X 25 frs)	[frs]					0.00
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	[Cts/kWh]					<b>2.48</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	[Cts/kWh]					<b>1.24</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	[Cts/kWh]					<b>0.83</b>
Consommation totale moy des stand-by pendant les heures de stand-by	[GWh]	1.77	8.85	1.59		12.21
Proportion de ménages annulant déjà les stand-by = 20 %	[GWh]	0.8	0.8	0.8		
Proportion de ménages possédant l'appareil mentionné	[GWh]	1.0	1.0	1.0		
<b>Potentiel d'économies techniques</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.4</b>	<b>7.1</b>	<b>1.3</b>		<b>9.8</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>					<b>4.8</b>

**Remarque:**  
**en rouge, chiffres estimés.**

**Stand-by dans les ménages, les services et l'industrie - Stand-by industries et services**

	Unités	Ordina- teurs	Impri- mantes	Machines à café	TOTAL
Nombre total d'entreprises en 2007: 14'458 (Stats FR) Nombre total d'entreprises en 2027: <b>15'904</b> <b>(10 % de plus qu'en 2007)</b>					15'904
Nombre d'appareils par entreprise		20	2	1	
Nombre d'appareils existants		318'080	31'808	15'904	
Heures en stand-by	[h]	15	15	15	
Puissance max admise pour les stand-by (www.topten.ch)	[W]	2	1	1	
Consommation moy des stand-by par entreprise	[kWh/an]	132.00	6.60	3.30	141.90
1er surcoût: achat de 10 multiprises <b>(10 X 25 frs)</b>	[frs]				<b>250</b>
2ème surcoût: renouvellement des multiprises (10 X 25 frs)	[frs]				<b>0</b>
3ème surcoût: renouvellement des multiprises (10 X 25 frs)	[frs]				<b>0</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 20 ans</b>	<b>[Cts/kWh]</b>				<b>8.81</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 40 ans</b>	<b>[Cts/kWh]</b>				<b>4.40</b>
<b>Prix de revient du kWh économisé sur 60 ans</b>	<b>[Cts/kWh]</b>				<b>2.94</b>
Consommation totale moy des stand-by	[GWh/an]	2.10	0.10	0.05	2.3
Proportion d'entreprises annulant les stand-by = 10 %	[GWh/an]	0.9	0.9	0.9	
<b>Potentiel d'économies techniques</b>	<b>[GWh]</b>	<b>1.9</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0</b>	<b>2.0</b>
<b>Investissement nécessaire</b>	<b>[Mio frs]</b>				<b>3.6</b>

**Remarque:**  
**en rouge, chiffres estimés.**