

Fiche de calculs Energia

Où nous devrions aller - La mutation énergétique d'Energia : principes et application

Ce texte est conçu comme un document compagnon du livre « L'électricité, au cœur de notre futur bas-carbone ». Il n'est pas conçu comme un document indépendant. Il complète le chapitre indiqué ci-dessus.

Cette fiche a un double objet : permettre au lecteur de réobtenir des résultats présentés dans le chapitre 20 et lui permettre, s'il le désire, de reprendre les calculs avec les valeurs qu'il souhaiterait utiliser.

Dans les tableaux ci-dessous :

- Les unités utilisées pour les consommations sont les TWh. Les totaux de lignes et de colonnes sont en caractères gras.
- Les émissions de CO₂ sont en millions de tonnes, MtCO₂, en italiques sur fond gris.
- Certaines lignes sont suivies d'une ligne donnant les valeurs en termes de pourcentages du total, pour les consommations ou pour les émissions.
- Plusieurs tableaux contiennent deux valeurs sous la forme A/B : dans ce cas, la première valeur est celle de 2015, la seconde celle de 2035.

Logements

Consommations d'énergie finale en 2015 des 20 millions de logements

2015 – 20 mil. logements	Chauffage TWh	Climatisation TWh	Eau chaude TWh	Cuisson TWh	Éclairage TWh	Autres usages TWh	Totaux TWh
Charbon	10,0						10,0
Mazout	70,0						70,0
Gaz Naturel	90,6		25,0	19,4			135,0
Biomasse	5,0						5,0
Électricité	41,4	8,4	23,0	10,0	8,4	58,8	150,0
Solaire thermique			15,0 ¹				15,0
Réseaux de Chaleur	15,0						15,0
Total	232,0	8,4	63,0	29,4	8,4	58,8	400,0

Mesures concernant les 16 millions de logements construits avant 2015 encore présents en 2035 (compte tenu des rénovations réalisées)

Il faut se rappeler que le tableau précédent concerne les 20 millions de logements de 2015. Comme 4 millions d'entre eux seront remplacés entre 2015 et 2035, les valeurs du tableau précédent sont à multiplier par 0,8 pour les calculs suivants qui concernent les 16 millions de logements datant d'avant 2015 et encore présents en 2035.

Les sept mesures de rénovation les concernant sont détaillées ci-après.

¹ Pour assurer une eau suffisamment chaude par tous les temps, à Energia, les chauffe-eau solaires ont besoin en moyenne d'un complément électrique égal à 1/3 de la chaleur totale (pour 2 kWh solaires, il faut 1 kWh électrique). Dans les 23 TWh d'eau chaude chauffée à l'électricité : (a) 7,5 sont donc comme complément pour les chauffe-eau solaires et (b) 15,5 pour des chauffe-eau électriques classiques à accumulation. Puisqu'un logement consomme en moyenne 3,15 MWh par an pour l'ECS, il y a $15,5 \cdot 10^6 / 3,15 = 4,92$ millions de logements d'Energia avec des chauffe-eau électriques en 2015.

Chauffage

1. Amélioration de 30 % de l'isolation pour :

- tous les logements qui étaient chauffés au charbon et au mazout
- 1/3 des logements qui étaient chauffés au gaz
- 1/3 des logements qui étaient chauffés à l'électricité

Ces améliorations sont prises en compte dans les calculs ci-dessous.

2. Dans les logements ci-dessus qui étaient chauffés au charbon, au mazout ou au gaz, c'est-à-dire les deux premières catégories, les chaudières seront remplacées par des pompes à chaleur, de préférence sol-eau ou, à défaut, air-eau, avec un COP annuel moyen de 3².

Besoin initial d'énergie fossile : $(10 \text{ TWh} + 70 \text{ TWh} + (90,6/3) \text{ TWh}) \cdot 0,8 = 88,2 \text{ TWh}$

Avec 80 % comme rendement moyen des anciennes chaudières, le besoin réel de chaleur était de 70,5 TWh.

Par l'isolation, le besoin de chaleur sera réduit à $70,5 \text{ TWh} \cdot 70 \% = 49,4 \text{ TWh}$.

Donc, avec des PAC de COP moyen 3, le besoin en électricité sera $49,4 \text{ TWh} / 3 = 16,5 \text{ TWh}$

Bilan des actions 1+2 : remplacement de 88,2 TWh d'énergie fossile par 16,5 TWh d'électricité.

3. Dans les logements de la troisième catégorie ci-dessus, c'est-à-dire 1/3 des logements chauffés à l'électricité, de nouveaux radiateurs seront installés, permettant ainsi une réduction supplémentaire de consommation de 10 %.

La consommation annuelle d'électricité était égale à $41,4 \text{ TWh} \cdot (1/3) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ TWh}$

La réduction par isolation conduira à : $11,04 \text{ TWh} \cdot 70 \% = 7,73 \text{ TWh}$.

En plus, le changement de radiateurs réduira la consommation à : $7,73 \text{ TWh} \cdot 90 \% = 6,96 \text{ TWh}$ arrondis à 7 TWh.

Bilan des actions 1+3 : réduction de la consommation électrique de 11 à 7 TWh.

4. Dans les logements restant chauffés au gaz, qui ne seront pas mieux isolés sur cette période, c'est-à-dire 2/3 des logements qui étaient chauffés au gaz, les chaudières seront remplacées par des chaudières à condensation, permettant une réduction de consommation de 10 %.

Bilan de l'action 4 : réduction de la consommation de gaz naturel de $90,6 \text{ TWh} \cdot (2/3) \cdot 0,8 = 48,3 \text{ TWh}$ à $48,3 \text{ TWh} \cdot 90 \% = 43,5 \text{ TWh}$.

5. Dans les logements restant chauffés à l'électricité, qui ne seront pas mieux isolés sur cette période, c'est-à-dire 2/3 des logements qui étaient chauffés à l'électricité, de nouveaux radiateurs seront aussi installés permettant une réduction de consommation de 10 %.

Bilan de l'action 5 : réduction de la consommation électrique de $(41,4) \cdot 2/3 \cdot 0,8 = 22,1 \text{ TWh}$ à $22,1 \text{ TWh} \cdot 90 \% = 19,9 \text{ TWh}$.

Ventilation et air conditionné

6. Besoin renforcé d'air conditionné dans le Sud du pays, satisfait par pompes à chaleur réversibles ou spécifiques pour le rafraîchissement.

Bilan de l'action 6 : consommation supplémentaire d'électricité de 3 TWh.

Eau chaude

² Pour simplifier, toutes les pompes à chaleur sont supposées avoir un COP moyen de 3 sur leur période annuelle d'utilisation.

7. Les chauffe-eau au gaz (consommant 25 TWh · 0,8 = 20 TWh) sont remplacés comme suit :

- Pour 6,6 TWh par des chauffe-eau solaires consommant 2,2 TWh d'électricité pour compléter l'apport solaire de 4,4 TWh,
- Pour 6,8 TWh par des chauffe-eau électriques consommant 6,1 TWh d'électricité en raison des rendements relatifs,
- Pour 6,6 TWh par des chauffe-eau pompe à chaleur consommant 2,2 TWh d'électricité.

Bilan de l'action 7 : remplacement de 20 TWh de gaz par 4,4 TWh de chaleur solaire et 10,5 TWh d'électricité.

Bilan des sept actions pour les 16 millions de logements d'avant 2015 restant en 2035 (hors cuisson, éclairage et autres)

16 millions d'avant 2015	Chauffage TWh		Air conditionné TWh		Eau chaude TWh		Total TWh	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Charbon	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0
Mazout	56,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,0	0,0
Gaz nat.	72,5	43,5	0,0	0,0	20,0	0,0	92,5	43,5
Biomasse	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0
Électricité	33,1	43,4	6,7	9,7	18,4	28,9 ³	58,2	82,0
Solaire thermique	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	16,4	12,0	16,4
Réseaux de chaleur	12,0	12,0					12,0	12,0
Totaux	186,0	103,0	6,7	9,7	50,4	45,3	243,0	158,0

Consommation d'énergie finale en 2035 des 5 millions de logements construits entre 2015 et 2035

Deux millions de maisons individuelles et trois millions d'appartements⁴ seront construits entre 2015 et 2035. En moyenne, la consommation des maisons individuelles pour le chauffage sera de 8 MWh annuels au lieu de 14,5 pour le parc d'avant 2015. Pour les appartements, ce sera 4 MWh au lieu de 7,25 MWh.

1. Chauffage

- Un million d'appartements, ayant donc besoin de $1 \cdot 10^6 \cdot 4 \text{ MWh} = 4 \text{ TWh}$, chauffés par des réseaux de chaleur alimentés pour :
 - 80 % par de la géothermie, de la récupération de chaleur et une combinaison de combustion de déchets et de gaz naturel.
 - 20 % par de la cogénération de chaleur issue de centrales thermiques nouvelles, y compris nucléaires.
- Deux millions d'appartements et deux millions de maisons ayant donc besoin de $2 \cdot 10^6 \cdot 4 \text{ MWh} + 2 \cdot 10^6 \cdot 8 \text{ MWh} = 24 \text{ TWh}$ seront équipés de pompes à chaleur avec un COP annuel moyen de 3. La consommation d'électricité supplémentaire sera donc de $24 / 3 = 8 \text{ TWh}$.

³ Dont 18,5 pour les chauffe-eau électriques classiques, 2,2 pour les chauffe-eau pompes à chaleur et 8,2 comme complément pour les chauffe-eau solaires.

⁴ Le ratio était 60 % de maisons individuelles et 40 % d'appartements pour les logements antérieurs à 2015.

Bilan pour le chauffage : au total, pour le chauffage des logements nouveaux, les besoins de 28 TWh de chaleur seront assurés par 8 TWh d'électricité et 4 TWh issus de réseaux de chaleur.

2. *Ventilation et air conditionné*

En moyenne sur le territoire, les besoins sont de 25 % de ceux du chauffage, donc égaux à $28 \text{ TWh} / 4 = 7 \text{ TWh}$. Ils seront satisfaits par des PAC de COP égal à 3.

Bilan pour la climatisation : la consommation supplémentaire d'électricité sera donc $7/3 \text{ TWh} = 2,33 \text{ TWh}$.

3. *Eau chaude*

La consommation d'énergie annuelle pour l'eau chaude reste 3,15 MWh par logement et est fournie par des chauffe-eau solaires thermiques dans la moitié des logements neufs, par des chauffe-eau à pompe à chaleur de COP moyen 3 dans l'autre moitié.

- La chaleur à fournir par les chauffe-eau solaires sera : $2,5 \cdot 10^6 \cdot 3,15 \text{ MWh} = 7,875 \text{ TWh}$.
 - Les panneaux solaires thermiques en fourniront les 2/3 soit 5,25 TWh.
 - Les besoins complémentaires en électricité seront : 2,62 TWh.
- La chaleur à fournir par les chauffe-eau à pompe à chaleur des 2,5 millions d'autres logements neufs sera aussi égale à 7,875 TWh. Compte tenu du COP moyen égal à 3, les besoins en électricité seront donc $7,875 \text{ TWh} / 3 = 2,62 \text{ TWh}$.

Bilan pour l'eau chaude : les besoins seront égaux à 5,25 TWh de chaleur solaire, 5,25 TWh d'électricité.

Cuisson, éclairage et autres consommations 2015 et 2035

L'hypothèse est que l'amélioration des performances moyennes des différents produits et systèmes utilisés d'un côté, l'augmentation de la population et des usages de l'électricité pour l'information et la détente d'un autre côté, devraient se compenser. De ce fait, en 2035, les consommations de gaz et de l'électricité devraient rester inchangées par rapport à 2015, soit :

- 19,4 TWh de gaz naturel, entièrement pour la cuisson
- 77,2 TWh d'électricité (10 + 8,4 + 58,8).

Bilan des consommations et des émissions du parc de logements en 2015 et en 2035

Dans le tableau ci-dessous, les premières valeurs sont celles de 2015, celles figurant après le symbole / sont celles de 2035. Toutes sont exprimées en TWh. Les émissions, exprimées en MtCO₂, sont en italiques⁵ sur fond grisé.

⁵ Rappel des valeurs de référence en combustion (en kgCO₂/kWh) : charbon 0,360, mazout 0,250, gaz naturel 0,200.

Pour l'électricité et les réseaux de chaleur d'Energia, les hypothèses sont respectivement 426 gCO₂/kWh soit 0,426 kgCO₂/kWh en 2015 et 111 gCO₂/kWh, soit 0,111 kgCO₂/kWh en 2035.

2015 – 20 M 2035 – 21 M	Chauffage TWh	Climatisation TWh	Eau chaude TWh	Cuisson-Eclairage-Autres usages TWh	Totaux TWh	Émissions Mt CO ₂
Charbon	10 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	10 / 0	3,6 / 0
Mazout	70 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	70 / 0	17,5 / 0
Gaz Naturel	90,6 / 43,5	0 / 0	25 / 0	19,4 / 19,4	135 / 62,9	27 / 12,6
Biomasse	5 / 4	0 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 4	0 / 0
Électricité	41,4 / 51,3	8,4 / 12	23 / 34,2	77,2 / 77,2	150 / 175	63,9 / 19,4
Solaire thermique	0 / 0	0 / 0	12 / 21,7	0 / 0	15 / 21,7	0 / 0
Réseaux de Chaleur	15 / 16	0 / 0	0 / 0	0 / 0	15 / 16	6,4 / 1,8
Total (TWh)	232 / 114,8	8,4 / 12	63 / 55,9	96,6 / 96,6	400 / 279	
% du total logements	58 / 41,1	2,1 / 4,3	15,75 / 20,0	24,15 / 34,6	100 / 100	
<i>Émissions⁶ (MtCO₂)</i>	<i>63,2 / 16,2</i>	<i>3,6 / 1,3</i>	<i>14,8 / 3,8</i>	<i>36,8 / 12,5</i>		<i>118,4 / 33,8</i>
<i>Émissions (%)</i>	<i>53,4 / 47,9</i>	<i>3,0 / 3,8</i>	<i>12,5 / 11,3</i>	<i>31,1 / 37,0</i>		<i>100 / 100</i>

Transports et déplacements

Situation 2015 (véhicules routiers)

Voitures

- 24 millions faisant 15 000 km/an avec 8 l/100 km, donc consommant :
 $24 \cdot 10^6 \cdot (15\,000 \text{ km} / 100) \cdot 8 \text{ l} / 100 \text{ km} = 28\,800 \cdot 10^6$ litres de carburant
- Carburant : 95 % d'essence à 9 kWh/l et 0,25 kgCO₂/kWh + 5 % éthanol à 7 kWh/l
- Énergie :
 - Essence : $(28\,800 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 95\% \cdot (9 \text{ kWh} / \text{l}) = 246,2 \text{ TWh}$
 - Éthanol : $(28\,800 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 5\% \cdot (7 \text{ kWh} / \text{l}) = 10,1 \text{ TWh}$
- Émissions⁷: $(246,2 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2 / \text{TWh}) = 61,6 \text{ MtCO}_2$

Bus

- 0,1 million faisant 40 000 km/an avec 28 l/100 km de diesel, donc consommant :
 $0,1 \cdot 10^6 \cdot (40\,000 \text{ km} / 100) \cdot (28 \text{ l} / 100 \text{ km}) = 1\,120 \cdot 10^6$ litres de diesel.
- Carburant : diesel : 9 kWh/l et 0,25 kgCO₂/kWh
- Énergie : $(1\,120 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot (9 \text{ kWh} / \text{l}) = 10,1 \text{ TWh}$
- Émissions : $(10,1 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2 / \text{TWh}) = 2,5 \text{ MtCO}_2$

Camions

- 0,4 million faisant 65 000 km/an avec 28 l/100 km de diesel, donc consommant :
 $0,4 \cdot 10^6 \cdot (65\,000 \text{ km} / 100) \cdot (28 \text{ l} / 100 \text{ km}) = 7\,280 \cdot 10^6$ litres de diesel.
- Énergie : $(7\,280 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot (9 \text{ kWh} / \text{l}) = 65,5 \text{ TWh}$

⁶Les émissions sont celles dues à la consommation des logements : elles ne comprennent pas les émissions dues aux pertes réseau ni aux autres conversions (cf. chapitre 4).

⁷ Pour les calculs d'émissions, il est utile de se rappeler que 1 kgCO₂/kWh équivaut à 1 MtCO₂/TWh.

- Émissions : $(65,5 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 16,4 \text{ MtCO}_2$

Véhicules de livraison

- 3 millions faisant 40 000 km/an avec 14 l/100 km de carburant, donc consommant :
 $3 \cdot 10^6 \cdot (40\,000 \text{ km} / 100) \cdot (14 \text{ l} / 100 \text{ km}) = 16\,800 \cdot 10^6$ litres de carburant
- Carburant :
 - 95 % d'essence à 9 kWh/l et 0,25 kgCO₂/kWh
 - 5 % d'éthanol à 7 kWh/l
- Énergie :
 - Essence : $(16\,800 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 95 \% \cdot (9 \text{ kWh/l}) = 143,6 \text{ TWh}$
 - Éthanol : $(16\,800 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 5 \% \cdot (7 \text{ kWh/l}) = 5,9 \text{ TWh}$
- Émissions : $(143,6 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 35,9 \text{ MtCO}_2$

Total véhicules routiers 2015

Énergie : 481 TWh (dont 465 par l'essence et le diesel, 16 par l'éthanol)

Émissions : 116,3 MtCO₂

Situation 2035 (véhicules routiers)

Voitures

Voitures à moteur à combustion

- 6,5 millions faisant 15 000 km/an avec 4 l/100 km, donc consommant :
 $6,5 \cdot 10^6 \cdot (15\,000 \text{ km} / 100) \cdot 4 \text{ l} / 100 \text{ km} = 3\,900 \cdot 10^6$ litres de carburant
- Carburant : 80 % d'essence à 9 kWh/l et 0,25 kgCO₂/kWh + 20 % éthanol à 7 kWh/l
- Énergie :
 - Essence : $(3\,900 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 80 \% \cdot (9 \text{ kWh/l}) = 28,1 \text{ TWh}$.
 - Éthanol : $(3\,900 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot 20 \% \cdot (7 \text{ kWh/l}) = 5,5 \text{ TWh}$.
- Émissions : $(28,1 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 7,0 \text{ MtCO}_2$

Voitures hybrides électriques

- 7 millions faisant 12 000 km/an dont 9 000 à l'électricité avec 16 kWh/100 km et 3 000 avec 4 l/100 km du même carburant que ci-dessus.
- Énergie :
 - Essence : $7 \cdot 10^6 \cdot (3\,000 \text{ km} / 100) \cdot (4 \text{ l} / 100 \text{ km}) \cdot 80 \% = 672 \cdot 10^6$ litres à 9 kWh/l soit : 6,0 TWh
 - Éthanol : $7 \cdot 10^6 \cdot (3\,000 \text{ km} / 100) \cdot (4 \text{ l} / 100 \text{ km}) \cdot 20 \% = 168 \cdot 10^6$ litres à 7 kWh/l, soit : 1,2 TWh
 - Électricité : $7 \cdot 10^6 \cdot (9\,000 \text{ km} / 100) \cdot (16 \text{ kWh} / 100 \text{ km}) = 10,1 \text{ TWh}$
- Émissions : $(6,0 \text{ TWh} \cdot 0,25 \text{ MtCO}_2) + (10,1 \text{ TWh} \cdot 0,111 \text{ MtCO}_2) = 2,62 \text{ MtCO}_2$

Voitures électriques

- 6,5 millions faisant 17 000 km/an avec 16 kWh/100 km
- Énergie : électricité : $6,5 \cdot 10^6 \cdot (17\,000 \text{ km} / 100) \cdot (16 \text{ kWh} / 100 \text{ km}) = 17,7 \text{ TWh}$
- Émissions : $(17,7 \text{ TWh}) \cdot (0,111 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 1,96 \text{ MtCO}_2$

Bus

Bus diesel

- 50 000 faisant 50 000 km/an avec 24 l/100 km de diesel, donc consommant :
 $5 \cdot 10^4 \cdot (50\,000 \text{ km} / 100) \cdot (24 \text{ l} / 100 \text{ km}) = 600 \cdot 10^6$ litres.
- Carburant : diesel : 9 kWh/l et 0,25 kgCO₂/kWh,

- Énergie : $(600 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot (9 \text{ kWh/l}) = 5,4 \text{ TWh}$
- Émissions : $(5,4 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 1,35 \text{ MtCO}_2$

Bus à hydrogène

- 50 000 faisant 50 000 km/an avec 8 kgH₂/100 km, donc consommant :
 $50\,000 \cdot (50\,000 \text{ km}/100 \text{ km}) \cdot (8 \text{ kgH}_2/100 \text{ km}) = 200\,000 \text{ tonnes d'H}_2$
- Hydrogène : 34 kWh/kg (produite par électrolyse avec 50 kWh/kg H₂)
- Hydrogène utilisé par les bus : 200 000 tonnes · 34 MWh/t = 6,8 TWh comptabilisés dans les 10 TWh pour produire l'hydrogène
- Électricité pour la production d'hydrogène : 10 TWh
- Émissions : $(10 \text{ TWh}) \cdot (0,111 \text{ MtCO}_2/\text{kWh}) = 1,11 \text{ MtCO}_2$

Camions

- 0,3 million faisant 75 000 km/an avec 24 l/100 km de diesel, consommant donc :
 $0,3 \cdot 10^6 \cdot (75\,000 \text{ km}/100) \cdot (24 \text{ l}/100 \text{ km}) = 5\,400 \cdot 10^6 \text{ litres.}$
- Énergie : diesel : $(5\,400 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot (9 \text{ kWh/l}) = 48,6 \text{ TWh}$
- Émissions : $(48,6 \text{ TWh}) \cdot (0,25 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 12,15 \text{ MtCO}_2.$

Véhicules de livraison

Véhicules de livraison électriques

- 2 millions faisant 36 000 km/an avec 23 kWh/100 km
- Énergie : électricité : $2 \cdot 10^6 \cdot (36\,000 \text{ km}/100) \cdot (23 \text{ kWh}/100 \text{ km}) = 16,6 \text{ TWh.}$
- Émissions : $(16,6 \text{ TWh}) \cdot (0,111 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 1,84 \text{ MtCO}_2$

Véhicules de livraison au gaz naturel

- 1 million faisant 40 000 km/an avec l'équivalent de 14 l essence/100 km, donc consommant :
 $10^6 \cdot (40\,000 \text{ km}/100) \cdot (14 \text{ l}/100 \text{ km}) = 5\,600 \cdot 10^6 \text{ litres.}$
- Carburant : gaz naturel : 9 kWh/l et 0,2 kgCO₂/kWh
- Énergie : $(5\,600 \cdot 10^6 \text{ l}) \cdot (9 \text{ kWh/l}) = 50,4 \text{ TWh.}$
- Émissions : $(50,4 \text{ TWh}) \cdot (0,2 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 10,1 \text{ MtCO}_2.$

Total véhicules routiers 2035

- Énergie : 200 TWh dont :
 - 88,1 par l'essence et le diesel,
 - 6,7 par l'éthanol,
 - 50,4 par le gaz naturel,
 - 54,4 par l'électricité, dont 10 TWh pour produire l'hydrogène)
- Émissions : 38,1 MtCO₂ (dont 6,0 pour l'électricité)

Rail

- Électricité : 30 TWh · 120 % = 36 TWh, soit 20 % par rapport à 2015.
- Émissions : $(36 \text{ TWh}) \cdot (0,111 \text{ MtCO}_2/\text{TWh}) = 4 \text{ MtCO}_2$

Bilan des consommations et des émissions des transports terrestres (route + rail) en 2015 et en 2035

	Voitures TWh	Bus TWh	Camions TWh	Véhicules de livraison TWh	Transport Ferroviaire TWh	Totaux TWh	Émissions Mt CO ₂
Essence/ diesel	246,2/34,1	10,1/5,4	65,5/48,6	143,6/0	0/0	465,4/88,1	<i>116,3/22,0</i>
Éthanol	10,1/6,7	0/0	0/0	5,9/0	0/0	16/6,7	<i>0/0</i>
Gaz Naturel	0/0	0/0	0/0	0/50,4	0/0	0/50,4	<i>0/10,1</i>
Électricité	0/27,8	0/10 hydrogène	0/0	0/16,6	30/36	30/90,4	<i>12,8/10,0</i>
Total TWh	256,3/68,6	10,1/15,4	65,5/48,6	149,5/67,0	30/36	511,4/235,6	
TWh % du total	50,1/29,1	2,0/6,6	12,8/20,6	29,2/28,4	5,9/15,3	100/100	
<i>Émissions MtCO₂</i>	<i>61,5/11,6</i>	<i>2,5/2,4</i>	<i>16,4/12,1</i>	<i>35,9/12,0</i>	<i>12,8/4,0</i>		<i>129,1/42,1</i>
<i>Émissions % du total</i>	<i>47,7/27,6</i>	<i>1,9/5,7</i>	<i>12,7/28,7</i>	<i>27,8/28,5</i>	<i>9,9/9,5</i>		<i>100/100</i>

Industrie et agriculture
Rappel des onze actions prévues
Évolutions de l'industrie

1. Baisse de la sidérurgie et augmentation du recyclage fer/acier
2. Baisse dans la chimie, la cimenterie et les matériaux non-métalliques
3. Accroissement du recyclage et baisses corrélatives ailleurs
4. Développement de la fabrication additive
5. Production par électrolyse de 100 000 tonnes d'hydrogène (hors transports)

Évolution de procédés

6. Déploiement de chaleur électrique (fours, etc.) en remplacement de chaleur fossile
7. Déploiement de pompes à chaleur industrielles pour ventiler et récupérer de la chaleur
8. Remplacement de systèmes et de moteurs par des équivalents électriques
9. Amélioration de systèmes de chaud et de froid dans la santé et l'industrie alimentaire

Développement des réseaux de chaleur

10. Raccordement de zones industrielles à des réseaux de chaleur

Agriculture

11. Dans le domaine agricole, remplacement des systèmes de chauffage fossiles de bâtiments, de serres, de fermes avicoles, etc., ainsi que déploiement de motorisations électriques permettant de remplacer du pétrole et du gaz par de la biomasse et de l'électricité.

Bilan des consommations et des émissions de l'industrie & l'agriculture en 2015 et en 2035

Dans le tableau ci-dessous, l'impact des actions sur l'utilisation des vecteurs d'énergie, en TWh, est compté positivement s'il augmente l'utilisation d'un vecteur, négativement dans le cas contraire. L'impact total de chaque action sur la consommation d'énergie finale figure dans la dernière colonne à droite du tableau.

Impact actions TWh	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Bio/déchets	Électricité	Chaleur	Totaux
1 Sidérurgie	-20		-2		4		- 18
2 Chim/Cim.		-32	-12				- 44
3 Recyclage		-5	-5		5		-5
4 Fab.additive					3		+3
5. Hydrogène			-1		5		+4
6 Fours		-15			9		-6
7 PAC	-5	-5	-5		5		-10
8 Moteurs		-7	-7		7		-7
9 Froid			-3		-2		-5
10 Réseaux		-8				6	-2
11 Agriculture		-5		3	1		-1
Bilan TWh 2015/2035	40/15	115/38	120/85	35/38	100/137	20/26	430/339
Bilan % 2015/2035	9,3/4,4	26,7/11,2	27,9/25,1	8,1/11,2	23,3/40,4	4,7/7,7	100/100
Émissions 2015/2035 MtCO₂	14,4/5,4	28,8/9,5	24,0/17,0	0 / 0	42,6/15,2	8,5/2,9	118/50
Émissions 2015/2035 %	12,2/10,8	24,3/19,0	20,3/34,3	0 / 0	36,0/30,4	7,2/5,8	100/100

Tertiaire et services

En 2035, le secteur tertiaire et services aura augmenté de 20 % en surface par rapport à 2015. En outre, 20 % des constructions existantes en 2015 auront été remplacées par des nouvelles.

Les cinq actions dans les 80 % du parc existant en 2015 encore présents en 2035

1. Suppression de tous les chauffages au mazout (de rendement 80 %) des bâtiments publics : amélioration de l'isolation (20 %) et installation de pompes à chaleur de COP moyen 3 (réversibles dans le Sud du pays).

Consommation de mazout 2015 : 35 TWh ; pour les 80 % du parc restant en 2035 : 28 TWh

Besoins en chauffage : 28 TWh · 80 % = 22,4 TWh (rendement des chaudières de 80 %)

Après isolation de 20 % : 22,4 TWh · 80 % = 17,92 TWh.

Besoin d'électricité pour les pompes à chaleur : 17,92 TWh / 3 arrondis à 6 TWh.

Besoin additionnel pour la climatisation pris égal à 1/3 : 2 TWh.

Bilan de l'action 1 : remplacement de 28 TWh de mazout par 8 TWh d'électricité.

2. Amélioration de l'isolation (20 %) et remplacement du chauffage au gaz (de rendement 90 %) par des pompes à chaleur (réversibles dans le sud du pays) dans une partie du parc 2015 au gaz consommant au total 22,5 TWh.

Consommation de gaz 2015 : 22,5 TWh ; pour les 80 % du parc restant en 2035 : 18 TWh

Besoins en chauffage : 18 TWh · 90 % = 16,2 TWh (rendement des chaudières de 90 %)

Après isolation de 20 % : 16,2 TWh · 80 % = 12,96 TWh.

Besoin d'électricité pour les pompes à chaleur : 12,96 TWh / 3 arrondis à 4,3 TWh.

Besoin additionnel pour la climatisation pris égal à 1/3, arrondi à 1,4 TWh.

Bilan de l'action 2 : remplacement de 22,5 TWh de gaz naturel par 5,7 TWh d'électricité.

3. Les chauffe-eau au gaz des établissements cités aux points 1 et 2 et qui consommaient 5 TWh seront remplacés par des chauffe-eau solaires à appoint électrique (50 %).

Bilan de l'action 3 : remplacement de 5 TWh de gaz naturel par 2,5 TWh de chaleur solaire et 2,5 TWh d'électricité.

4. Développement des réseaux de chaleur et de la récupération de chaleur perdue de certains immeubles de bureau réduisant de ce fait des besoins de chauffage électrique.

Bilan de l'action 4 : réduction de la consommation d'électricité de 3 TWh, augmentation de la chaleur fournie par les réseaux de + 3,3 TWh en prenant en compte 10 % de pertes de ces réseaux.

5. Un usage renforcé de l'éclairage avec des LED d'une part, des systèmes de management d'énergie des immeubles d'autre part permettront de limiter l'augmentation des usages spécifiques de l'électricité.

Bilan de l'action 5 : augmentation de la consommation d'électricité de + 3,4 TWh

Parc neuf

Hypothèses retenues :

- Comme indiqué plus haut, le parc neuf aura une surface égale à 40 % de celle du tertiaire en 2015, la moitié étant donc le remplacement des 20 % remplacés, l'autre moitié de nouvelles surfaces bâties. En 2035, le neuf représentera donc 1/3 de la surface totale.
- La consommation d'énergie finale totale moyenne par unité de surface de ce parc sera égale à 60 % de celle de 2015. Rappel : la consommation finale totale 2015 était 220 TWh. On en déduit la consommation finale du parc neuf : 40 % · (220 · 60 %) = 52,8 TWh.
- Cette consommation d'énergie se répartira entre 67 % d'électricité, 13 % de chaleur solaire et 10% issue de biomasse et 10 % issue de réseaux de chaleur.

On en déduit les valeurs de la ligne 3 du tableau ci-dessous sur les consommations.

Bilan des consommations et des émissions en 2015 et 2035 du tertiaire et des services

	Mazout	Gaz naturel	Solaire thermique.	Biomasse /Déchets	Électricité	Réseau de chaleur	Total	Émissions
	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	MtCO ₂
Total 2015	35,0	55,0	10,0	10,0	100,0	10,0	220,0	66,6
Ancien 2035	0,0	21,0	10,5	8,0	96,6	11,3	147,0	16,2
Neuf 2035	0,0	0,0	7,0	5,3	35,2	5,3	53,0	4,5
Total 2035	0,0	21,0	17,0	13,0	132,0	17,0	200,0	20,7
2015/2035 %	15,9/0	25,0/10,5	4,5/8,5	4,5/6,5	45,6/66	4,5/8,5	100/100	
<i>Émissions 2015/2035 MtCO₂</i>	<i>8,7/0</i>	<i>11,0/4,2</i>	<i>0 / 0</i>	<i>0 / 0</i>	<i>42,6/14,6</i>	<i>4,3/1,9</i>		<i>66,6/20,7</i>
<i>Émissions 2015/2035 %</i>	<i>13,1/0</i>	<i>16,5/20,3</i>	<i>0 / 0</i>	<i>0 / 0</i>	<i>64/70,5</i>	<i>6,4/9,2</i>		<i>100/100</i>

Totaux des quatre secteurs de la consommation finale

	TWh		MtCO ₂	
	2015	2035	2015	2035
Logement	400	279	118,4	33,8
Transports et déplacements	511	236	129,1	42,1
Industrie et agriculture	430	339	118,3	50,0
Tertiaire et services	220	200	66,6	26,7
Total	1561	1054	432,4	146,6