

## L'éolien et le photovoltaïque en France : une énergie de transition

On recherche ici une combinaison de nucléaire, d'Enri (éolien et photovoltaïque) et de production à partir de gaz fossile qui réponde à la demande au moindre coût.

Pour plus de résultats, voir les tableaux ci-dessous ; pour le détail des capacités et coûts de moyens de production et de stockage, voir le tableau [www.hprevot.fr/nb-07-25-b.pdf](http://www.hprevot.fr/nb-07-25-b.pdf)

La consommation est 780 TWh/an ; la production à partir de biométhane est 20 TWh.

### Sans contrainte sur la capacité nucléaire

La production à partir de gaz fossile doit être proche de zéro.

Si l'investissement en nucléaire coûte 6000 €/kW, (le coût LCOE du nucléaire est alors 66,2 €/MWh) la solution la moins coûteuse est avec 110 GW nucléaire, sans éolien ni photovoltaïque.

Si l'investissement en nucléaire coûte 9000 €/kW, (le coût LCOE du nucléaire est alors 88,9 €/MWh), le coût de production et de stockage est plus bas avec 90 GW nucléaire et 76 GW d'éolien et photovoltaïque. Mais si l'on tient compte du surcoût de réseau dû à l'intermittence, la solution la moins coûteuse est avec 110 GW nucléaire, sans éolien ni photovoltaïque.

Avec l'ensemble des hypothèses retenues ici, on calcule donc que la bonne capacité nucléaire est 110 GW. Ce peut être une perspective à long terme.

A noter que l'on retrouve ici le résultat obtenu dans Négatep, scénario présenté par l'association Sauvons le climat.

### En 2050, la capacité nucléaire est 63 GW

#### Trois hypothèses :

1- sans production d'électricité à partir de gaz fossile : la capacité éolienne et photovoltaïque est 220 GW;

2- sans éolien ni photovoltaïque : émissions de CO2 : sont 126 MtCO2/an

3- une combinaison qui minimise les dépenses, y compris celles qui permettent d'éviter ailleurs autant d'émissions que ce qui sera émis depuis le territoire français : 110 GW, émissions : 36 MtCO2/an.

Si le coût du CO2 pouvant être évité dans d'autres pays est 100 €/t, cette troisième option est la moins coûteuse. La différence de dépenses avec les deux autres est de 10 à 12 milliards d'euros par an.

		sans CO2	sans éolien ni PV ni PV	pour minimiser les dépenses
consommation	TWh/an			
capacité nucléaire	GW	63	63	63
éolien sur terre	GW	75	0	30
éolien en mer	GW	35	0	20
photovoltaïque	GW	110	0	50
Prod à partir de gaz fossile		3,5	252	72
Emissions de CO2		1,8	126	36
Dépenses				
de production et stockage		68770	66728	61000
de réseau dues à l'intermittence pour éviter du CO2 dans d'autres pays		8260	0	3043
Total		77204	79321	67660
		sans CO2	sans éolien ni PV ni PV	pour minimiser les dépenses

Capacité nucléaire de 90 à 110 GW		A long terme : avec entre 90 et 110 GW nucléaire					si le nucléaire coûte plus cher	
		Sans éolien ni photovoltaïque						
consommation finale après pertes en ligne	TWh/an	700	700	700	700	700	700	700
consommation pour production d'hydrogène en ruban	TWh/an	30	30	30	30	30	30	30
consommation totale avant pertes en ligne	TWh/an	781,1	781,1	781,1	781,1	781,1	781,1	781,1
profil horaire de l'année		2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
contenance du stockage au sens large	GWh	350	350	350	350	350	350	350
diminution du besoin de capacité pilotable	GWh	17	17,00	17,00	17,5	20,00	20,5	17,50
Capacités de production								
Nucléaire	GW	100	110	90	100	90	90	110
Eolien su terre	GW	0,1	0,1	0,1	20	30	30	0,1
Eolien en mer	GW	0,1	0,1	0,1	4	16	16	0,1
Photovoltaïque	GW	0,1	0,1	0,1	20	30	30	0,1
Possibilités de production								
Eolien et photovoltaïque	TWh/an	0,7	0,7	0,7	83,6	164,4	164,4	0,7
Nucléaire	TWh/an	700,8	770,9	630,7	700,8	630,7	630,7	770,9
hydraulique	TWh/an	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0
biomasse solide	TWh/an	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
biométhane	TWh/an	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Résultats								
Quantités restituées par le stockage au sens large	TWh/an	8,8	5,7	12,1	5,2	5,9	5,9	5,7
<b>Production à partir de gaz fossile</b>	TWh/an	<b>30,4</b>	<b>3,4</b>	<b>71,5</b>	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>
Une marge de précaution de capacité pilotable	GW	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
capacité de production pilotable à partir de gaz	GW	33,9	25,0	42,9	28,6	30,2	29,7	24,5
Les émissions de CO2	MtCO2/an	15,2	1,7	35,8	1,4	1,6	1,6	1,7
Possibilités de production dépassant la conso finale	TWh/an	35,0	78,8	5,0	90,8	101,9	101,9	78,8
La capacité d'utilisation des excédents	GW	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Les quantités à consommer s'il y a une demande	TWh/an	33,0	68,4	5,0	77,5	81,7	81,7	68,4
Les coûts								
Le taux d'actualisation		4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
investissement du nucléaire		6000	6000	6000	6000	6000	9000	9000
Les LCOE								
nucléaire	euro/MWh	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	86,9	86,9
Eolien sur terre	euro/MWh	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0
Eolien en mer	euro/MWh	80,3	80,3	80,3	80,3	80,3	80,3	80,3
Photovoltaïque, moyen sur toiture et sur sol	euro/MWh	61,4	61,4	61,4	61,4	61,4	61,4	61,4
Le surcoût de réseau dû à l'intermittence	Euro/kW	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Le coût du gaz fossile	€/MWh th	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Le coût du biométhane	€/MWh th	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
sans CO2, dépenses de production et de stockage								
Le coût du CO2	€/ tonne	100	100	100	100	100	100	100
Le coût du CO2								
<b>Y compris le CO2</b>								
Les dépenses hors les dépenses hydrauliques	M €/an							
Dépenses de production et stockage d'électricité	M €/an	59365	58522	62153	59274	61226	73504	74431
<b>Dép de product, stockage et surcoût de réseaux</b>	<b>M €/an</b>	<b>59365</b>	<b>58522</b>	<b>62153</b>	<b>59882</b>	<b>63225</b>	<b>75504</b>	<b>74431</b>
Valorisation des excédents	€/MWh	50	50	50	50	50	50	50
Valorisation nette des excédents	M €/an	1355	2808	205	3178	3998	3351	2805
Dép nettes de prod et stock d'électricité	M €/an	58010	55714	61948	56095	57228	70153	71626
Dépe. de production élec et hydrogène, hors réseaux	M €/an	58943	56647	62881	57029	58161	71086	72559
Dépenses de réseaux : le surcoût dû à l'intermittence	M €/an	0	0	0	609	2000	2000	0
Dépenses totales	M €/an	58943	56647	62881	57637	60161	73086	72559
Coût de production de l'électricité <b>hors CO2</b>		<b>86,5</b>	<b>87,3</b>	<b>87,6</b>	<b>88,4</b>	<b>91,3</b>	<b>110,3</b>	<b>111,1</b>
Capacité nucléaire	GW	100	110	90	100	90	90	110

<b>La capacité nucléaire est 63 GW</b>		Sans éolien ni solaire	Sans CO2	Au moins coûteux
consommation finale après pertes en ligne	TWh/an	700	700	700
consommation pour production d'hydrogène en ruban	TWh/an	30	30	30
consommation totale avant pertes en ligne	TWh/an	781,1	781,1	781,1
profil horaire de l'année		2013	2013	2013
contenance du stockage au sens large	GWh	350	350	700
diminution du besoin de capacité pilotable	GWh	17,5	17,5	32
<b>Capacités de production</b>				
Nucléaire	GW	63	63	63
Eolien su terre	GW	0,1	75	30
Eolien en mer	GW	0,1	35	20
Photovoltaïque	GW	0,1	110	50
<b>Possibilités de production</b>				
Eolien et photovoltaïque	TWh/an	0,7	430,2	202,1
Nucléaire	TWh/an	441,5	441,5	441,5
hydraulique	TWh/an	61,0	61,0	61,0
biomasse solide	TWh/an	5,0	5,0	5,0
biométhane	TWh/an	20,0	20,0	20,0
<b>Résultats</b>				
Quantités restituées par le stockage au sens large	TWh/an	0,4	14,6	12,9
<b>Production à partir de gaz fossile</b>	TWh/an	251,9	3,5	72,3
Une marge de précaution de capacité pilotable	GW	8,0	8,0	8,0
capacité de production pilotable à partir de gaz	GW	66,6	34,4	56,4
Les émissions de CO2	MtCO2/an	125,9	1,7	36,1
Possibilités de production dépassant la conso finale	TWh/an	0,0	177,0	17,2
La capacité d'utilisation des excédents	GW	20,0	20,0	20,0
Les quantités à consommer s'il y a une demande	TWh/an	0,0	89,6	14,5
<b>Les coûts</b>				
Le taux d'actualisation		0,045	0,045	0,045
investissement du nucléaire		6000	6000	6000
Les LCOE	euro/MWh			
nucléaire	euro/MWh	66,2	66,2	66,2
Eolien sur terre	euro/MWh	57,0	57,0	57,0
Eolien en mer	euro/MWh	80,3	80,3	80,3
Photovoltaïque, moyen sur toiture et sur sol	euro/MWh	61,4	61,4	61,4
Le surcoût de réseau dû à l'intermittence	Euro/kW	800,0	800,0	800,0
Le coût du gaz fossile	€/MWh th	50,0	50,0	50,0
Le coût du biométhane	€/MWh th	100,0	100,0	100,0
<b>sans CO2, dépenses de production et de stockage</b>		66727,6	68774	61006
<b>sans CO2, idem et surcoût de réseau</b>			77034	64050
Le coût du CO2	€ / tonne	100,0	100	100
Le coût du CO2		12594,3	174	3613
<b>Y compris le CO2</b>				
Les dépenses hors les dépenses hydrauliques	M €/an			
Dépenses de production et stockage d'électricité	M €/an	79322	68948	64619
<b>Dép de product, stockage et surcoût de réseaux</b>	M €/an	79322	77208	67663
Valorisation des excédents	€/MWh	50	50	50
Valorisation nette des excédents	M €/an	0	3845	596
Dép nettes de prod et stock d'électricité	M €/an	79322	65103	64023
Dépenses de production élec et hydrogène, hors réseaux	M €/an	80255	66036	64956
Dépenses de réseaux : le surcoût dû à l'intermittence	M €/an	0	8260	3043
Dépenses totales	M €/an	80255	74297	68000
Coût de production de l'électricité <b>hors CO2</b>		100	103	91