

Electr, hydrogène, chaleur
La consommation finale
 profil horaire : 1 ; comme en 2013 / 2 : comme en 2012 / 3 : comme l'ADEME / 4 ou 5 : autre. Cf. chroniques

conso finale
580,0

Avant les pertes en ligne TWh
 avant effacement, conso finale **620,6**
 pour hydrogène, pris sur le réseau, en base **56,2392**
 avant effacement, hors excédent **676,8**
Total avant les pertes en ligne **682,0**

La capacité pour produire de l'hydrogène ou du biocarburant *en base moins la pointe*
 profil hor de l'actif éolienne : 1 (2013) ; ou 2 (2012) ou 5 (autre) **1**

pour hydrog base avec effcmt **1**
 6 GW
 6 mois chauds **272,2** TWh
 6 mois frais **360,4** TWh
 7 % Pertes en ligne **52,6** TWh
 avant effacmt **44** TWh
 total pour hydrogène **44** TWh

Consommation finale **580**
Pourcentage de nucléaire **55,67 %**

La production et le stockage

max hor. en GWh -avant déplcmt et effacmt **123**

Les moyens de production

Limites d'accès au réseau d'éol et photov
 Pour en tenir compte 1 ; sinon : 2 **2**

Nucléaire
 taux de disponibilité
 moyen **0,80**
 maximum **0,9**
 flexiblité de la prod nuc direct pour conso % par heure
 maximum de l'augment. de puissance en une heure **30 %**
 maximum de la dimin. de puissance en une heure **30 %**
 minimum GW **0**

Nucléaire	Eolien	solaire	30,00	thermique renouvelable	Foss.en base
sur terre	sur terre	sur toiture	fleuve, mer	biomasse	cogénéral
GW	GW	GW	TWh	TWh	TWh
60	30	50	43,0	16,0	0
	en mer			dont en base	
	20	50 %		0	
	h/an sur terre	heures par an		P max GW	
	2100	1100		0,0	
	h/an en mer		GW	GW	
	4200		3,26	0	0
	minim garanti :				
	1,0%				

Inertie minimum des moyens de production
 nucléaire, hydraulique, biomasse et gaz
 sans apport d'inertie : GW **39**
 Diminution de cette limite minimale
 grâce à l'inertie de machines tournantes
 qui ne produisent pas en GW **0**
 pertes **2 %**
 pertes TWh **0,0**

Pour que la fourniture d'électricité réponde exactement à la demande

déplacmt de conso	batteries	STEP	Flexibilité hydraulique	selon SimelSP3 il faut
capacité exprimée en GWh restitué	30,0	90	100	112,3
rendement : déstockage/stock en stock au 1er janvier GWh	0,9	0,7	0,8	puiss, max
	30	90	100	GW
puissance de conso anticipée ou de charge	3	20	4,5	4
puissance de conso différée ou de décharge	3	20	4,5	4
Diminution du besoin de capacité de prod. rendue possible par déplacmt de conso, flexibilité de l'hydro et stockage				17,00

électrolyse et méthanation procédé P2P
 capacité en GW entrant **0,0**
 rendement avec des TAC **0,16**
 avec CCG **0,26**
 rendement **0,228**

Capacité des TAC 40
 opt. 1 (calculée) ou 2 (choisie) **1**
 si 2 cap de pointe : TAC **2**
 cap TAC GW **17,7**

L'effacement définitif : délestage
 puissance effaçable GW
 été **0**
 hiver **0**
 Pour hydrogène en base **6,00**

Marge ou -, défaillance GW **0,0**

les coûts - pour éolien et photovoltaïque voir une "banque des coûts" sur une autre feuille

	nucléaire	éolien sur terre	éolien en mer	PV sur sol	PV sur toit	méthanation	à partir de gaz CCG	pointe	Thermiques EnR	Apport d'inertie	déplacement de consomm	Batteries	STEP
investissement €/kW	6000	1400	4000	400	1100	1600	900	400	2510	200	15	100	100
durée de vie années	60	25	25	25	25	25	20	20	30	20	15	12,5	
frais fixes ann. €/kW/an	110	40	100	15	30	30	40	30	80			2	
frais variables €/MWh	9	0	0	0	0	0	155	232	80			500	€/kW
euros/MWh	66,2	64,0	88,0	38,2	94,7								

Valorisation des excéd
 hors électrolyse euro/MWh **66,56**
prix du gaz €/MWh
 fossile **50**
 biogaz **100**
Le coût du CO2
 €/tCO2 **100**

Les résultats en valeurs annuelles

Les quantités

hydraulique th. non foss	éolien et PV	nucléaire	dplcmt conso déstockage	production à partir de gaz de méth	gaz fossile	total gaz
TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh
79,0	202,1	420,5	9,75	0,0	16,41	36,41
consommé directement	201,8	361,0	prod excéd gaz	0,00		
excédent à consommer ou écrêter mis en stock et déplacement de conso consommé par l'électrolyseur pour gaz de synthèse	0,2	59,5				
	0,0	12,4				
	0,0	0,0				
pour autre chose ou non valorisé	0,0	47,3				
dont	8,87	0,2	47,1			

besoin maxi de capac en l'absence de vent **42**

Les dépenses
 taux d'actualisation **4,50 %**

production d'électricité (hors hydraulique) et stockage
 sans CO2 **51737** M€/an
 avec CO2 **52557** M€/an
 91,6 €/MWh
 93,07 €/MWh
 valorisation nette des excédents hors électrolyse **812** M€/an

Dépenses de production d'électricité, nettes des excédents hors électrol.
 sans CO2 **50925** M€/an
 avec CO2 **51745** M€/an
 90,2 €/MWh
 91,6 €/MWh

Electrolyse
 Capex euro/kW **2000**
 rendement **75%**

Elec & hydrog hors stckg d'H2 **53322**
 Investissement total **552,5** milliards
 pm. surcoût de transport et distribution dû à l'intermittence **1902** M€/an

pour électrolyse **0** GW
 hors syst.électr. **0,0** TWh
export. ou chaleur **5** GW
 CB132 **14,08** TWh

% nucléaire dans consomm **55,7%**
 prod nucl totale TWh **387,3**
 nbr d'h où la variat. de puiss nucl. en 1 h est **10**
 4,0
 421
 infer à moins **4,0**
 336

Production d'hydrogène
 Capac. totale d'électrol GW **6,0**
 Conso d'électricité TWh/an **43,7**
 Capacité de stockage Mt **0,11**
 Product **0,901** Mt/an

Les dépenses

	nucléaire	éolien	Photovolt.	therm EnR	Therm Foss de base	déplacement de conso	batteries et Steps	Electrol. et méthanation	production ex gaz CCG	extrême pointe	Apport d'inertie	Total
M euros/an	27404	11428	3654	0	0	28	319	0	5135	3769	0	51737

Pour hydrogène et chaleur acheminés
10
€/MWh
stock d'hydrogène
3
euro/kg/an
soit
0,37
euro/kg dépenses
331
M€/an

stock hydrogène
12%
de production annuelle
facteur de charge
7282
Hydrogène
Frais fixes
184,9
€/kW/an
Dép. fixes
1109
M€/an

vérification
668,0
eff. - pertes
8,87
676,8

valeur de l'électricité excédentaire : arbitraire : 1 ou calculée : 2		
2	42,6	euro/MWh
	66,6	

Pour chaleur par effet Joule		
Investissements	200	€/kW
	13,5	€/kW/an
fr. fixe gest.	10,0	€/kW/an
total fr. fixe	23,5	€/kW/an
dép. fixes	117	M euros/an
dép. stock	53	M euros/an
ffx et stock	171	M euros/an
qu. utilisées	14,08	TWh/an
stock-dest	4,86	perdes
perdes stc	0,90	TWh/an
chal. utile	13,2	TWh/an
dép. évitées	1048	M euros/an
valeur élec.	66,6	euro/MWh
dépenses totales y compris chaleur		
chaleur totale	50	TWh
dépenses électricité	52683	M€/an
hydrogène f.f.x	1109	M€/an
chal. ex. élec. f.f.x et stock	171	M€/an
chaleur ex. gaz	2945	M€/an
chaleur total hors élec.	3116	M€/an
Dépenses totales	56908	M€/an
Dépenses chaleur	4053	M€/an

Dépenses fixes de stockage de chaleur			
pour tout stocker	1,83	TWh	th
pour stock moins de n jours dans réservoir en ss-terrain			
6		0,00	
	0,707	3	0
	TWh	TWh	TWh
€/MWh/an	32,6	10	81,6
dépenses	23,1	30,0	53,1
			53,1
coût	29,0	€/MWh	stocké
coût	4,0	€/MWh	utile

option	nucléaire	60	GW
chaleur	éolien sur terre	30	GW
	éolien en mer	20	GW
	photovoltaïque	50	GW
	capacité hydrogène	6	GW
	capacité sur excédent	0	GW
	capacité chaleur	5	GW
coût hydrogène hors réseau		5	euro/kg
Coût chaleur hors réseau		80	euro/MWh
Electrolyse		2000	euro/kW
Taux d'actualisation. Stock chaleur		4,0%	

Pour		
conso. finale d'électricité	580	TWh/an
conso. d'hydrogène	2	Mt/an
conso. de chaleur	50	TWh/an
Dép. élec. hors excédents	52683	Meuros/an
acheminés à l'électricité & chaleur	703	Meuros/an
dép. fixes électrol. et stock	1441	Meuros/an
Dép. fixes chaleur	171	Meuros/an
dép. hydrogène externe	5496	Meuros/an
dép. de chaleur externe	2945	Meuros/an
recettes export ou autres	0	Meuros/an
Total	63438,06	Meuros/an
production d'hydrogène	0,90	Mt/an
valeur de la chaleur	56,6	euro/MWh
production de chaleur	14,1	TWh
export ou abandon	33,2	TWh
production ex. gaz fossile	16,4	TWh

coûts fixes du stockage		
Thèse M. Laurent STES p. 107		
perdes	30 à 60 %	
investissements	50	euro/m3
kWh/m3	15 à 30	
investissements	1600 3000	euro/MWh
Taux d'actualisation	2000	
	4,0%	81,62 eur/MWh/an
Thèse M. Laurent Pit storage p 108		
perdes	20 à 40 %	
investissements	30	euro/m3
kWh/m3	30 à 50	
investissements	600 à 1000	euro/MWh
Taux d'actualisation	800	
	4,0%	32,65

Introduite ailleurs ou calculé		
Cons. finale	580,0	TWh
éolien sur terre	30,0	GW
prod. ex. gaz foss.	16,4	TWh
abandonnées	33	TWh
prod. ex. biogaz	20	TWh

Consommation des réseaux de chaleur			
		TWh	MWh/h
cons. annuelle		50	
janv. mars	0,5	25	11682
avr. juin	0,15	7,5	3505
juill. sept.	0,075	3,75	1752
oct.-déc.	0,275	13,75	6425

Utilisation de la chaleur produite par électricité		
Chaleur pouvant être produite	14,08	TWh/an
Chaleur consommée directement	9,23	TWh/an
Chaleur stockée moins de 6 jours	3,73	TWh/an
Chal. passant par réservoir géologique	1,1	TWh/an
Chal. passant par stockage en roche	0	TWh/an
Quantités mises en stock	4,86	TWh/an
Quantités déstockées	3,96	TWh/an
possibilités abandonnées	0,00	TWh/an
p.m. si l'on avait voulu tout stocker		4,86 TWh/an
Chaleur utile	13,2	TWh/an

Compos.	élec	71,09	euro/MWh
du	stock	4,02	euro/MWh
coût	frais fixes	8,91	euro/MWh

Les pertes de stockage/déstockage		
Pertes	taux	TWh/an
intersaisonn.	30%	0,34
quelques jours	15%	0,56
		0,90
Valeur de la chaleur évitée		
utilisée directe et stock 6 jours	80	€/MWh utile
après passage par stock intersaison	50	€/MWh utile
Total	1048	M euros/an

						A	B	C	D	E	
86	83	83	nucléaire	83	60	40	40	60	60	60	60
22	30	30	éolien sur t	30	30	50	50	30	30	30	30
0	0	0,0	éol en m	0,0	20,0	30	30	20	20	20	20
0	0	0	photov.	0	50	200	200	50	50	50	50
9	9	10	cpt hydr b	11	9	0	0	2,0	2,2	1,7	2
0	0	0	cpt sur excd	0	0	18	24	6	8	6	6
10	11	0	capct chal	12	13	22	0	9	1	10	9
5	5	5	coût hydrog hors réseau	5	5	5	5	5	5	5	5
80	80	80	Coût chaleur hors réseau	80	80	80	80	80	80	80	80
2000	2000	2000	Electrolyse			2000	2000	2000	2000	2000	2000
4,0%	4,0%	4,0%	Tx d'actual. Stckg chaleur	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
			Pour								
580	580	580	conso final d'élec	580	580	580	580	580	580	580	580
2	2	2	conso d'hydrog	3	3	3	3	2	2	2	2
50	50	50	conso de chal	70	70	70	70	50	50	50	50
48992	49172	49201	Dép élec hors excédents	49619	53815	60730	60594	51830	51734	51779	51830
1061	1066	937	acheminmt à elctrl & chal	1206	1051	1046	842	649	549	635	649
2208	2203	2466	dép fixes électrol et stck	698	537	4256	5574	2044	2597	1979	2044
291	315	30	Dép fixes chaleur	344	370	583	30	268	53	291	268
3389	3401	2773	dép hydrog externe	7166	8416	8267	6889	6102	5310	6280	6102
2432	2410	4000	dep de chaleur externe	4307	4097	3079	5600	2401	3737	2339	2401
0	0	0	recettes export ou autres	0	0	0	0	0	0	0	0
58374	58567	59408	Total	63340	68286	77962	79528	63294	63980	63303	63294
1,32	1,32	1,45	production d'hydrogène	1,57	1,32	1,35	1,62	0,78	0,94	0,74	0,8
47,83	46,53		valeur de la chaleur	44,06	44,0	45,31		50,18	53,75	49,66	50,2
21,76	22,22	0,00	product de chaleur	17,45	20,8	34,71	0,00	21,84	3,29	22,67	21,8
13,84	11,22	27,91	exportées ou abandonnées	5,29	10,4	88,92	109,27	26,49	37,05	27,15	26,5
0,19	2,44	3,79	prod. ex gaz fossile ou import.	5,30	22,7	8,88	8,89	9,99	10,28	9,57	10,0
20	20	20	p.m. product ex biométhane	20	20	20	20	20	20	20	20

Une image, à l'échelle de la consommation française de ce que pourrait être le paysage européen. Les consommations finales sont 580 TWh d'électricité, 3 Mt/an d'hydrogène et 70 TWh de chaleur dans les réseaux de chaleur. La capacité nucléaire est 40 GW. Comparaison avec l'hypothèse de 60 GW ou 83 GW nucléaire. Il n'y a pas d'exportations. Avec 40 GW nucléaire, la production de chaleur à partir d'électricité diminue les

60	60	nucléaire	60
30	30	éolien sur t	30
20	20	éol en m	20
50	50	photov.	50
0,0	2	cpt hydr b	3,0
0	0	cpt sur excd	0
8	8	capct chal	7
4,1	4,1	coût hydrog hors réseau	3,5
80	80	Coût chaleur hors réseau	80
2000	2000	Electrolyse	2000
0,04	0,04	Tx d'actual. Stckg chaleur	0,04
		Pour	
580	580	conso final d'élec	580
2	2	conso d'hydrog	200,0%
50	50	conso de chal	50
51168	51654	Dép élec hors excédents	51890
247	417	acheminmt à elctrl & chal	494
0	466	dép fixes électrl et stck	704
244	244	Dép fixes chaleur	221
8200	6928	dép hydrog externe	5384
2144	2293	dep de chaleur externe	2421
0	0	recettes export ou autres	0
62003	62002	Total	61114
0,00	0,3	production d'hydrogène	0,5
	53,0	valeur de la chaleur	53,0
0,0	22,9	product de chaleur	21,3
0,0	49,7	exportées ou abandonnées	44,8
20,0	9,99	prod. ex gaz fossile ou import.	11,498
20	20	p.m. product ex biométhane	

Si l'hydrogène externe au réseau coûte 4,1 €/kg, on peut produire un peu d'hydrogène à partir du réseau