



Rapport de recherche de l'EPFZ sur l'approvisionnement électrique futur à partir d'énergies renouvelables

Des CCF produisent de l'électricité en hiver avec du biogaz

La production décentralisée d'électricité par des installations CCF jouera un rôle important dans la mise en œuvre de la stratégie énergétique 2050. Ceci est particulièrement important en hiver. Contrairement au photovoltaïque et à l'éolien, en effet, les installations CCF peuvent également produire du courant et de la chaleur en hiver et en fonction de besoins, et qui plus est directement chez le consommateur.

Pour garantir la sécurité de l'approvisionnement, la stratégie énergétique 2050 mise sur des économies accrues, l'accroissement de l'énergie hydraulique et les nouvelles énergies renouvelables ainsi que la production d'électricité (fossile) décentralisée par des CCF et des importations!

Le fait que la production d'électricité par des installations CCF ne garantit pas seulement la sécurité de l'approvisionnement futur de la Suisse en hiver, mais également que cela est possible avec du biogaz indigène, voilà ce que démontre un travail de recherche mené à l'EPF de Zurich et achevé en 2016.

Pages 2 et 3:

Le potentiel des installations CCF fonctionnant au biogaz

Pages 4 à 6:

Multiplier les CCF pour compenser les variations de tension

Page 7:

Perspectives pour l'électricité et la chaleur 2050 avec des CCF

Page 8:

Le potentiel des CCF en Suisse



Le potentiel des installations CCF fonctionnant au biogaz

Glossaire

Désignation	Définition
EPFZ	Ecole polytechnique fédérale de Zurich
OFEN	Office fédéral de l'énergie
MW MWh	Mégawatt Mégawattheure
GW GWh	Gigawatt Gigawattheure
TW TWh PJ	Térawatt Térawattheure Pétajoule
h a	heure année
th él	thermique électrique
EC	Eau chaude
PCCE CCF	Centrale de cogénération Couplage chaleur-force
PV	Photovoltaïque
CPT	Centrale de pompage-turbinage
P2G	Power-to-Gas
P2G2P	Power-to-Gas-to-Power
CO ₂	Dioxyde de carbone
H ₂ CH ₄	Hydrogène Méthane
WWB	Stratégie éner. «Poursuite de la politique énergétique actuelle»
POM	Scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral»
NEP	Scénario «Nouvelle politique énergétique»

Projet:

«System modelling for assessing the potential of decentralised biomass-CHP plants to stabilise the Swiss electricity network with increased fluctuating renewable generation»
 («Analyse potentielle d'un réseau d'installations de couplage chaleur-force fonctionnant au biogaz pour compenser les sources de courant renouvelables fluctuantes»)

Mandat:

Office fédéral de l'énergie OFEN, section Recherche énergétique, Programmes de recherche Biomasse, Réseaux et CCF, CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

EPF Zurich, Institut des techniques énergétiques – LAV, Sonneggstrasse 3, CH-8092 Zurich
www.lav.ethz.ch

Direction du projet:

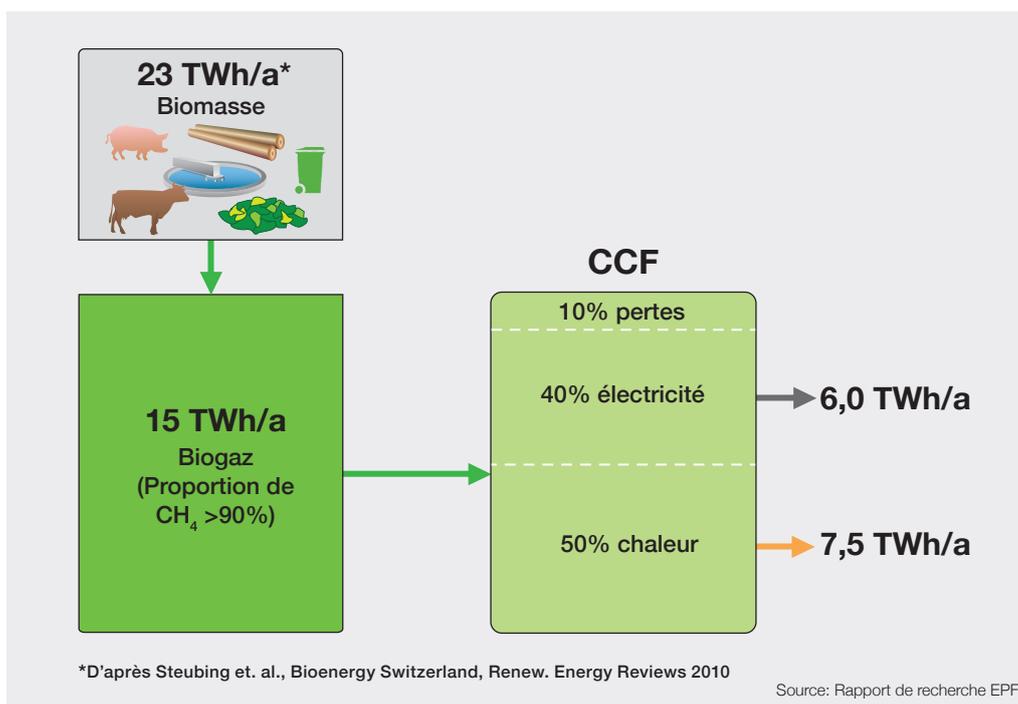
Konstantinos Boulouchos
 Professeur et directeur du LAV

Rapport final:

29 Janvier 2016

Disponible sur: <http://bit.ly/1qnnMYB>

Illustration 1: Potentiel de la bioénergie et des CCF en Suisse



Le potentiel annuel que représente le biogaz en Suisse est de 15 TWh selon l'étude réalisée

Le potentiel d'utilisation d'énergie écologiquement viable à partir de la biomasse en Suisse s'élève à environ 82PJ (env. 23 TWh/a) par année. Ceci représente 10% du besoin total en énergie finale de la Suisse. Etant donné que la biomasse est un vecteur énergétique chimique de haute qualité, elle devrait être d'abord utilisée pour la couverture des besoins en services énergétiques de qualité (électricité, transports, température élevée, chaleur industrielle) et uniquement s'il n'est pas possible de fournir de l'électricité à partir de la chaleur basse température. D'un point de vue économique ainsi qu'en raison de la grande flexibilité du système, il faut donc tendre vers la transformation de la biomasse en biométhane, ce qui permet d'exploiter les capacités de stockage du réseau gazier suisse. A moyen terme, la production combinée d'électricité et de chaleur représente l'utilisation optimale

Illustration 2: Besoins de chaleur avec part CCF

	Chaleur	Eau chaude	Total	Part CCF	
	en TWh	en TWh	en TWh	en TWh	en %
Eté	7	7	14	0.7	5 %
Hiver	51	7	58	6.8	12 %
Total CH	58	14	72	7.5	Ø 10 %

Illustration 3: Besoins d'électricité avec part CCF

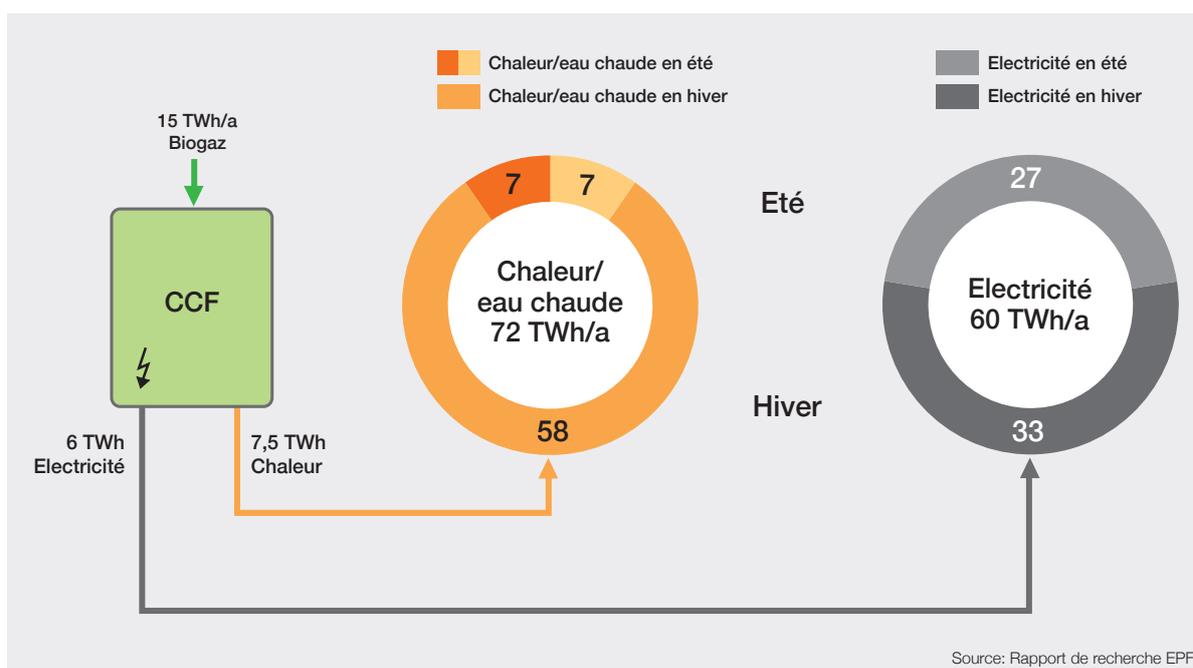
	Besoins en courant total	Part CCF	
	en TWh	en TWh	en %
Eté	27	0.6	2 %
Hiver	33	5.4	16 %
Total CH	60	6.0	Ø 10 %

Durée de fonctionnement d'une installation CCF: en été 200 heures, en hiver 1800 heures

pour le biométhane synthétique. Les installations CCF très flexibles sont en effet également utilisables pour produire à la demande. Les installations CCF fonctionnant au biogaz représentent, selon

l'EPFZ, une option importante pour compenser également jusqu'à un certain point les fluctuations saisonnières de la future production d'électricité.

Illustration 4: Besoins de chaleur et d'électricité en Suisse



Les installations CCF couvrent 12% des besoins électricité de la Suisse avec une durée de fonctionnement de 1800 h en hiver

Multiplier les CCF pour compenser les variations de tension

L'un des principaux défis du tournant énergétique est de compenser la production électrique variable des énergies renouvelables. La Suisse entend couvrir à l'avenir ses besoins en électricité en misant davantage sur l'énergie solaire. Etant donné que le courant solaire dépend de l'ensoleillement, les fournisseurs de courant ont besoin, pour le système énergétique de demain, d'une production disponible à la demande pour pouvoir combler les déficits d'électricité qui interviennent à court terme, surtout en hiver. On a surtout considéré à ce jour les nouvelles centrales combinées à gaz. L'EPF de Zurich et l'Institut Paul Scherrer (PSI) proposent toutefois maintenant une approche systémique durable pour la Suisse. Les déficits du réseau électrique doivent être compensés par un réseau d'installations de couplage chaleur-force (CCF) fonctionnant au biogaz. Le projet de recherche «CHPswarm» a examiné la faisabilité technique ainsi

Illustration 5: Durée de fonctionnement d'une installation CCF

	Fonctionnement CCF	Production él.	Production th.
CCF en été	200 h	0,6 TWh	0,7 TWh
CCF en hiver	1800 h	5,4 TWh	6,8 TWh
Total CCF/année	2000 h	6,0 TWh	7,5 TWh
Total CH en hiver		33 TWh	58 TWh
Part CCF en hiver		16,0 %	12,0 %

Source: Rapport de recherche EPF

que la rentabilité d'un tel réseau de CCF, avec des résultats très prometteurs.

Les installations CCF fonctionnant au gaz sont des «centrales» qui produisent en même temps de la chaleur et de l'électricité. La chaleur peut être utilisée pour chauffer des bâtiments ou pour des processus industriels. Contrairement à la production de courant classique au moyen de centrales thermiques, qui rejettent la chaleur résiduelle dans l'environnement, le

couplage chaleur-force (CCF) utilise pratiquement 100% du combustible. Ce sont en particulier les installations CCF dotées de moteurs à pistons qui peuvent être actionnées et/ou arrêtées en quelques minutes. Etant donné que les moteurs à combustion affichent une large gamme de performances allant du simple kilowatt à plusieurs mégawatts, ils sont idéals pour stabiliser le réseau électrique. Quant aux lieux d'installation, là où la chaleur est également consommée, toutes les caté-

Illustration 6: Installations CCF de différentes catégories de puissance en réseau

	Catégorie	Rendement él. par CCF	Nombre de CCF	Rendement él. total	Production él./hiver totale
	CCF grande	1000 kW	1000	1 GW	1,8 TWh/a
	CCF moyenne	100 kW	10 000	1 GW	1,8 TWh/a
	CCF petite	10 kW	100 000	1 GW	1,8 TWh/a
	Total		111 000	3 GW	5,4 TWh/a

Source: Rapport de recherche EPF

Lorsque des installations CCF de différentes catégories fonctionnent en réseau, il est possible de produire en hiver 5,4 TWh de courant en 1800 heures avec une puissance de 3 GW

gories de bâtiments conviennent, de la maison individuelle à la grande installation industrielle, à condition qu'elles disposent d'un raccordement au gaz.

La technologie CCF a déjà été étudiée sous divers angles, mais la plupart du temps pour des installations individuelles et des micro-réseaux. La particularité du projet «CHPswarm» est toutefois son

approche systémique avec un grand réseau. En lieu et place d'une grande installation centrale, la production nécessaire est répartie sur toute une série de petites installations décentralisées. Une telle organisation permet une grande flexibilité et extensibilité, le réseau pouvant être agrandi ou réduit en fonction des besoins. Par ailleurs, les installations CCF décentralisées injectent également dans

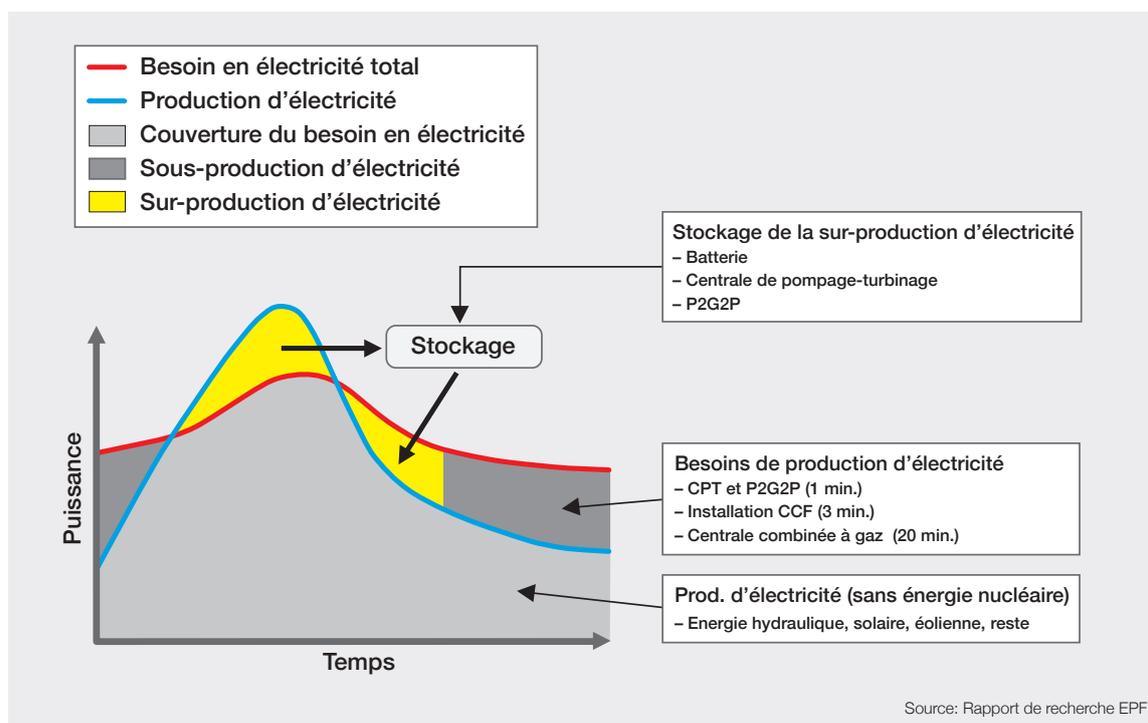
le réseau le courant produit, tout comme le photovoltaïque non planifiable.

L'étude a été l'occasion d'examiner le potentiel et la faisabilité des réseaux de CCF dans les cantons de Lucerne et de Thurgovie. Résultat: le potentiel que représente le biogaz dans les deux cantons permettrait de remplacer par des CCF 15 à 20 pour cent de l'énergie de chauffage

Illustration 7: Comparaison de technologies de stockage

	Efficiéce	Couverture	Capacité	Engagement	Technique
Batterie	80%	Heures	Petit	Décentral	Courant – Courant
CPT	75%	Jours	Moyen-Grand	Central	Courant – eau – Courant
P2G	60–70%	Mois	Grand	Central	Courant – H ₂ – CH ₄
P2G2P	30–40%	Mois	Grand	Central	Courant – H ₂ – CH ₄ – Courant

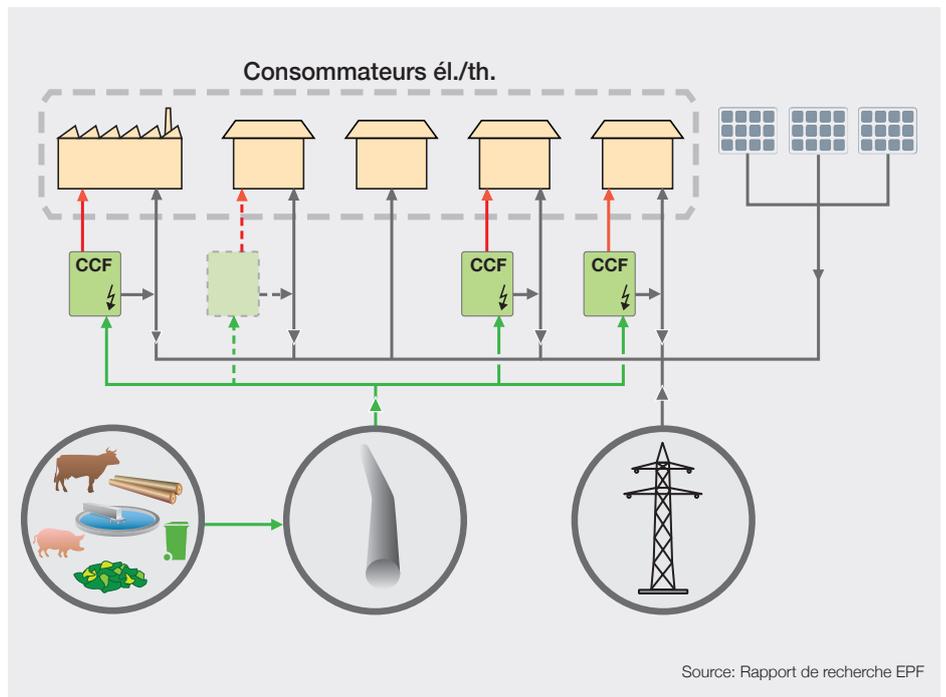
Illustration 8: Stockage d'énergies renouvelables



Stockage des énergies renouvelables en cas de surproduction d'électricité et reversion en courant si nécessaire

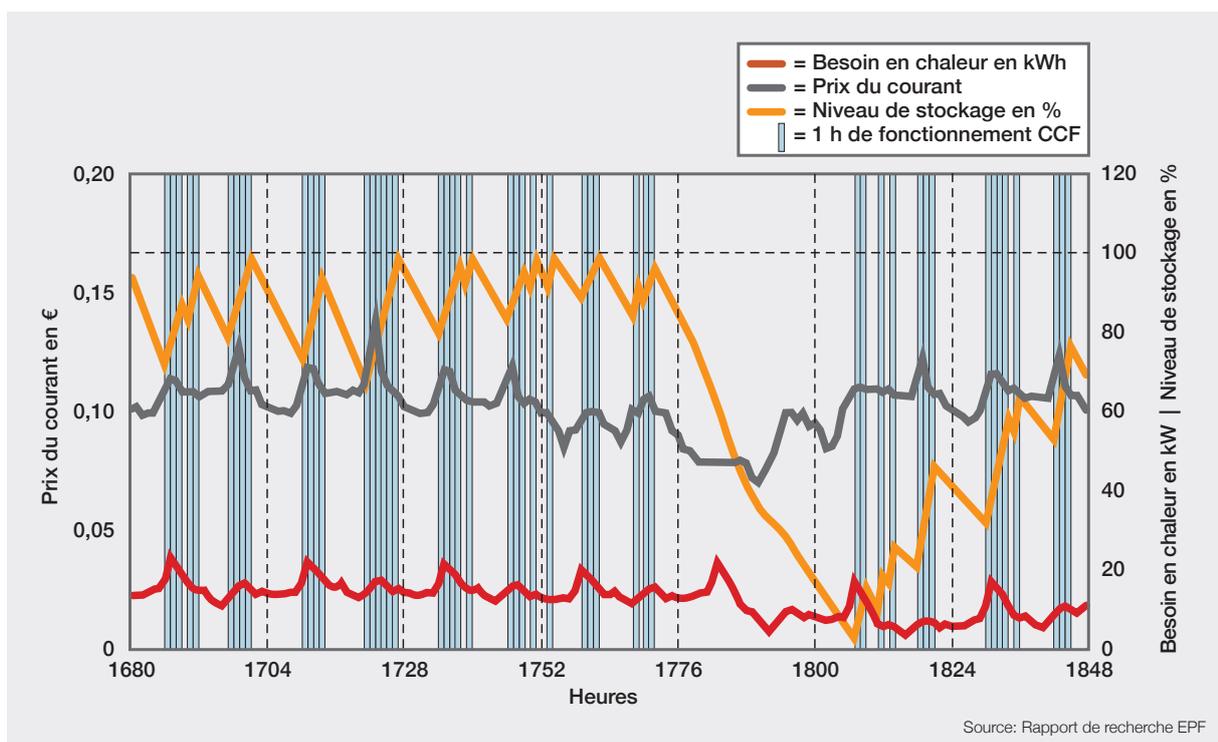
existante (uniquement des chauffages à gaz produisant de la chaleur). Le courant ainsi produit correspond à 10 – 20% des besoins cantonaux. Les installations CCF fonctionnant au biogaz sont donc en mesure de produire autant de courant que ce que l'on prévoit pour le photovoltaïque en 2050. Extrapolé à l'ensemble de la Suisse, ceci correspond à environ 10 pour cent de l'ensemble des besoins en électricité. Les réseaux de CCF peuvent ainsi tout à fait compenser le photovoltaïque en hiver. L'estimation d'un gestionnaire de réseau gazier a montré que les systèmes de conduits peuvent parfaitement stocker jusqu'en hiver le biogaz produit en été, via le réglage de la pression. Le réseau de gaz peut ainsi faire office de réserve d'énergie saisonnière.

Illustration 9: Interaction de diverses productions de courant



Le CCF comme source de courant dynamique (adapté au besoin)

Illustration 10: Exemple de locatif pendant une semaine en mars



Pour parvenir à une rentabilité optimale, la durée de fonctionnement de l'installation CCF doit être adaptée au prix de l'électricité, au besoin en chaleur et en eau chaude ainsi qu'au niveau de stockage

Perspectives pour l'électricité et la chaleur 2050 avec des CCF

En 2011, le Conseil fédéral décidait de sortir progressivement de l'énergie nucléaire et esquissait la stratégie énergétique 2050. Les centrales nucléaires existantes doivent être mises hors service à la fin de leur période d'exploitation normale sur le plan de la technique de sécurité. La sécurité énergétique de la Suisse doit toutefois également être garantie à long terme et continuer à être renforcée. Le Conseil fédéral veut un approvisionnement en électricité qui soit propre, sûr, largement autonome et économique. Selon la variante d'offre d'électricité, qu'il privilégie, il faut encourager, pour couvrir les besoins, non seulement l'efficacité énergétique, le développement de l'énergie hydraulique et les nouvelles énergies renouvelables, mais également la production d'électricité avec des installations CCF (fossiles). Pour atteindre les objectifs de ces deux scénarios, la Suisse a besoin de mesures en profondeur. La variante «Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA) a fourni la base des calculs. Ce scénario est orienté vers les mesures et montre l'efficacité des instruments retenus et mis en oeuvre.

Le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral» (MP) examine les variantes en matière de demande énergétique et d'offre d'électricité des mesures approuvées par le Conseil fédéral en 2012 et se base sur les meilleures technologies aujourd'hui connues. Quant au scénario orienté vers l'objectif «Nouvelle politique énergétique» (NPE), il examine comment l'objectif d'une diminution d'environ 1,5 t. par habitant des émissions de CO₂ en Suisse peut être atteint d'ici 2050.

Par rapport à l'évolution des références PPA, l'objectif de réduction des émissions de CO₂ d'ici 2050 est fixé à 26% dans le scénario MP et à 63% dans le scénario NPE.

Illustration 11: Perspectives de production de courant 2050

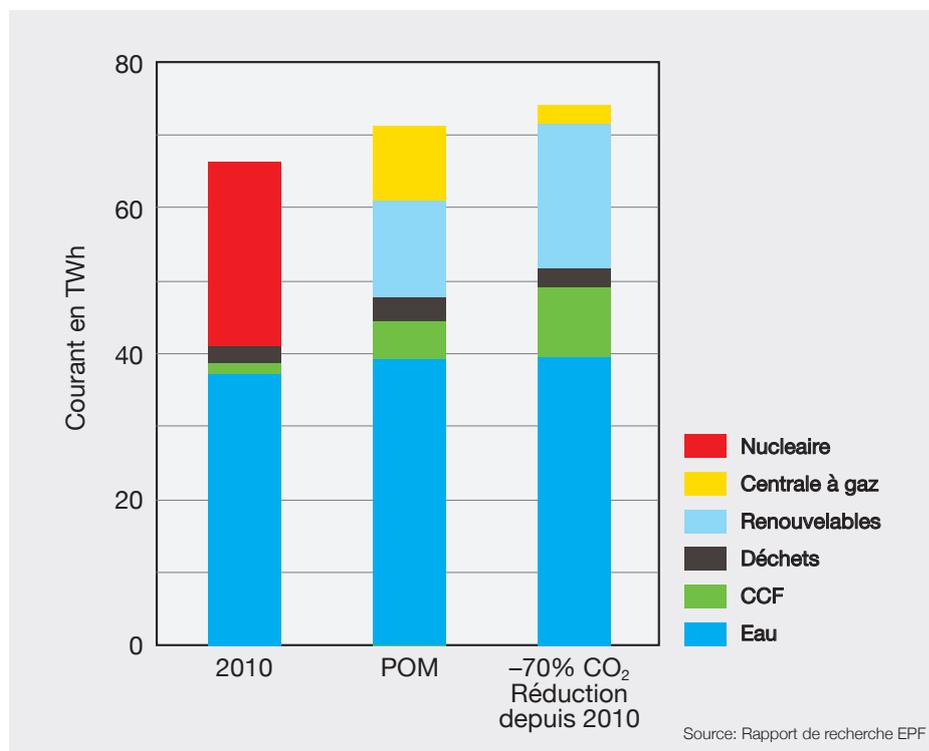
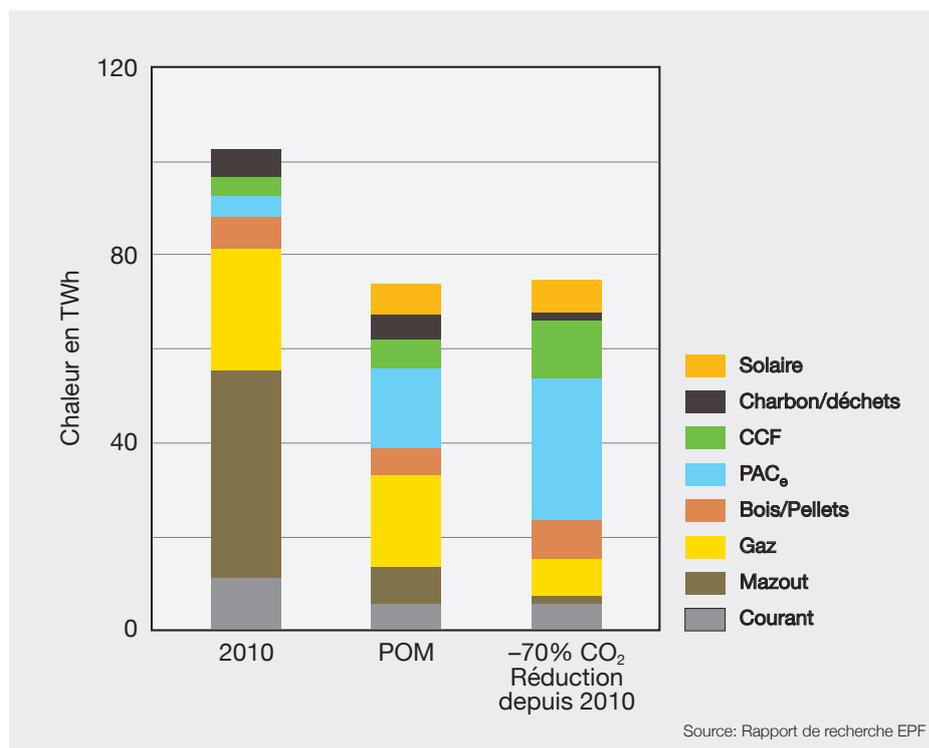


Illustration 12: Perspectives de production de chaleur 2050



Le potentiel des CCF en Suisse

L'association professionnelle de la branche a étudié le potentiel des installations CCF en Suisse. Elle a pris comme base de calcul les 50 000 chauffages par année qui ont été en moyenne installés ces dernières années en Suisse. C'est naturellement dans les

installations de faible puissance (inférieure à 20 kW – qui représentent plus de 50% du parc) que réside le volume le plus important. Pour pouvoir évaluer avec précision leur potentiel, les installations CCF ont été réparties en 10 catégories de puissance.

Nombres d'installations de PCCE par an, fonctionnement 2000 h/a

Typ	Rendement par appareil		Nombre de PCCE Par an	Rendement total par année		Production totale par année	
	kW _{el}	kW _{th}		kW _{el}	kW _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}
Piles à combustible	1	2	100	100	200	200	400
Micro-Stirling	2	5	600	1200	3000	2400	6000
Micro-PCCE	5	14	300	1500	4200	3000	8400
Micro-PCCE	10	20	200	2000	4000	4000	8000
Mini-PCCE	20	40	200	4000	8000	8000	16 000
PCCE	50	70	150	7500	10 500	15 000	21 000
PCCE	100	120	125	12 500	15 000	25 000	30 000
PCCE	150	170	100	15 000	17 000	30 000	34 000
Grand PCCE	220	250	75	16 500	18 750	33 000	37 500
Grand PCCE	500	550	50	25 000	27 500	50 000	55 000
Total			1900	85 300	108 150	170 600	216 300
			en MW/MWh	85	108	170 600	216 300

Nombres d'installations de PCCE en 10 ans, fonctionnement 2000 h/a

Typ	Rendement par appareil		Nombre de PCCE 10 ans	Rendement en 10 ans		Production totale en 10 ans	
	kW _{el}	kW _{th}		kW _{el}	kW _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}
Piles à combustible	1	2	1000	1000	2000	2000	4000
Micro-Stirling	2	5	6000	12 000	30 000	24 000	60 000
Micro-PCCE	5	14	3000	15 000	42 000	30 000	84 000
Micro-PCCE	10	20	2000	20 000	40 000	40 000	80 000
Mini-PCCE	20	40	2000	40 000	80 000	80 000	160 000
PCCE	50	70	1500	75 000	105 000	150 000	210 000
PCCE	100	120	1250	125 000	150 000	250 000	300 000
PCCE	150	170	1000	150 000	170 000	300 000	340 000
Grand PCCE	220	250	750	165 000	187 500	330 000	375 000
Grand PCCE	500	550	500	250 000	275 000	500 000	550 000
Total			19 000	853 000	1 081 500	1 706 000	2 163 000
			in MW/MWh	853	1082	1 706 000	2 163 000

Source: WKK Fachverband | Cogeneration | 10/2016

Editeur: Association Suisse de l'Industrie Gazière (ASIG)
Grütlistrasse 44, 8027 Zürich
044 288 31 31 | vsg@erdgas.ch | www.gaz-naturel.ch

Rédaction: Hubert Palla, VSG | palla@erdgas.ch

Suisse romande: Antonina D'Amico, ASIG | damico@gaz-naturel.ch

Graphique: Josef Fellmann, Zürich

Photos: Ursula Palla

Edition: Allemand: 14 500, Français: 4500 (4x par an)

Imprimerie: Bühler Druck AG, 8603 Schwerzenbach

Changement d'adresse: info@buehler-druck.ch

Abonnement gratuit: vsg@erdgas.ch

imprimé en
suisse

