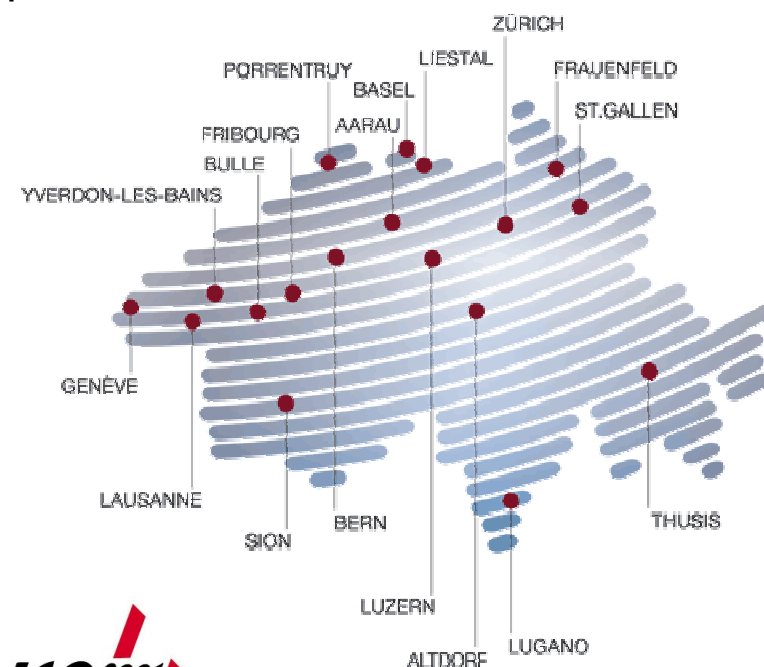


Cogénération: le chaînon manquant de la transition énergétique ?

12.12.2019 / F. Rognon, responsable Energie Suisse romande

CSD bénéficie d'un ancrage local

- + Bureau indépendant d'ingénieurs et ingénieurs-conseils depuis 1970
- + 18 succursales en Suisse
(Lausanne, Yverdon, Fribourg, Sion, ...)
- + CSD entreprise saine – croissance constante
(CA 2018 : 100 MCHF)
- + 80 domaines d'activités
- + 750 collaborateurs
(Energie 10, technique du bâti 30, physique du bâti 5)



Domaines d'activités dans l'énergie

- Planification énergétique territoriale
- Bâtiment
 - Physique du bâtiment
 - Optimisation et suivi énergétiques
 - Construction durable et certifications
- Énergies renouvelables et chauffage à distance
- Géothermie
- Gaz à effet de serre



Contenu, suite à discussion avec Pierre, fin 2018

- + Technique disponibles
- + Le marché et conditions-cadres
 - CCF en Suisse et ailleurs («applications»)
 - Cadre légale et promotionnel
- + Rôles possibles dans la transition énergétique
 - Pilotage thermique ou électrique ? Un tabou ?
 - Combinaison avec PAC

Présentation du jour

1

Techniques disponibles

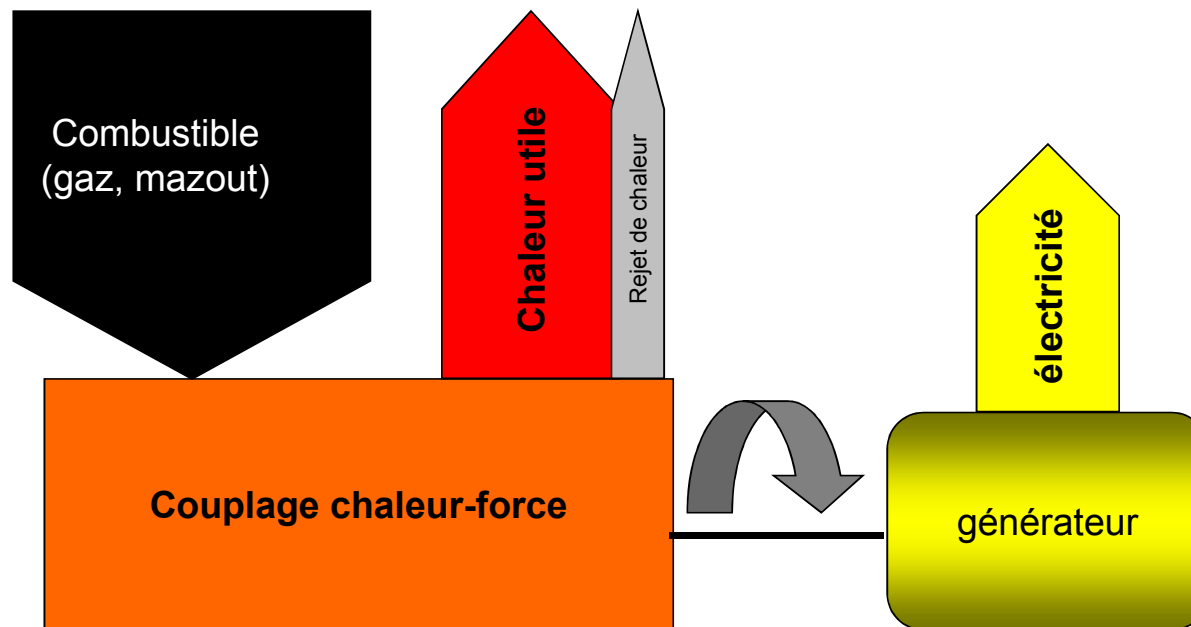
2

Marché et conditions-cadres

3

Rôles possibles dans la transition énergétique

Technique



Technique

+ Moteurs

- à combustion interne
(Otto, Diesel, Wankel)



MAS EDD-BAT
Couplage chaleur-force

Technique

+ Moteurs

- à combustion interne (Otto, Diesel, Wankel)
- à combustion externe (Stirling)



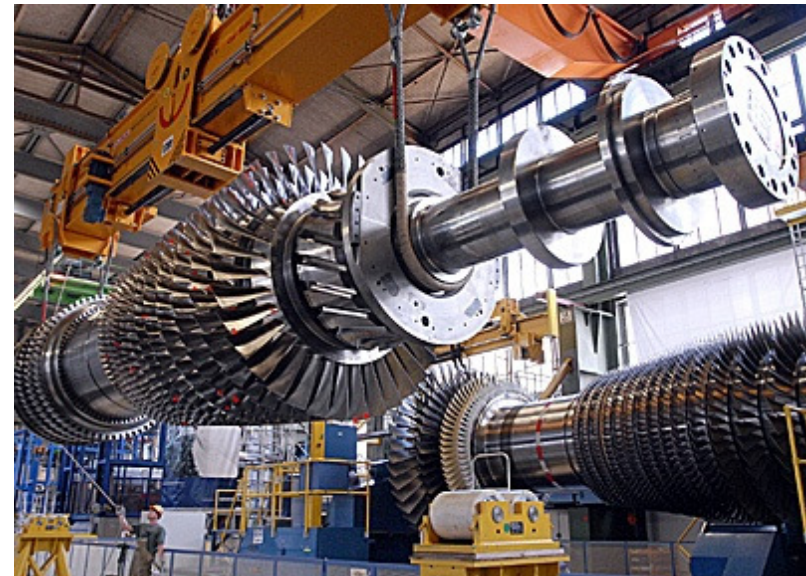
Technique

+ Moteurs

- à combustion interne (Otto, Diesel, Wankel)
- à combustion externe (Stirling)

+ Turbines

- à combustion interne (gaz, biogaz)
- à détente interne (cycle vapeur, Rankine)



Technique

+ Moteurs

- à combustion interne (Otto, Diesel, Wankel)
- à combustion externe (Stirling)

+ Turbines

- à combustion interne (gaz, biogaz)
- à détente interne (cycle vapeur, Rankine)

+ Piles à combustibles: prototypes!



Technique

Gamme de puissance

+ Moteurs

- à combustion interne (Otto, Diesel, Wankel)
- à combustion externe (Stirling)

unités de 5 à 16'000 kWel

unités de 1 à 20 kWel

- Turbines
 - à combustion interne (gaz, biogaz)
 - à détente interne (cycle vapeur, Rankine)

unités de 30 à 600'000 kWel



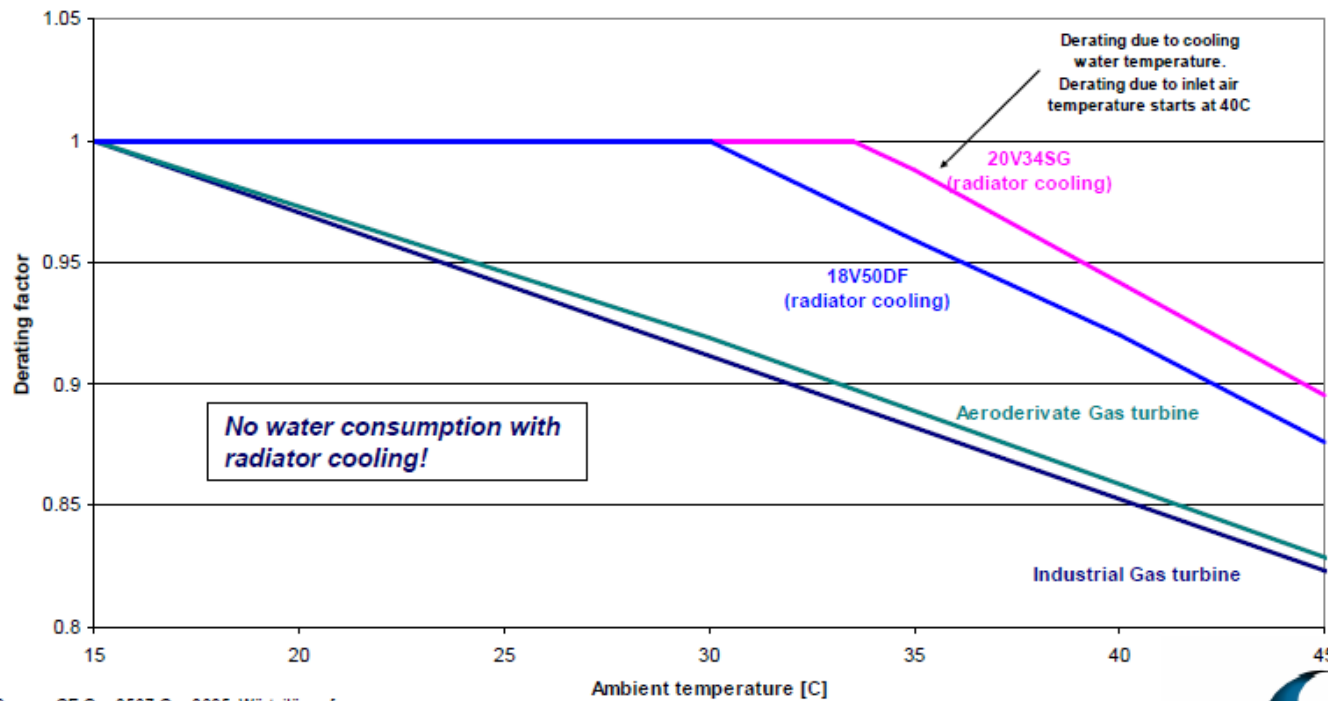
Technique

Rendements annuels moyens

Technologie	Rendement électrique		Thermique
	Minimum	Maximum	
Moyen			
Turbine à gaz	25 %	45 %	40%
Cycle combiné gaz+vapeur	45 %	58 %	0%
CCF de 1 à 20 MW	38 %	47 %	45%
CCF de 0,1 à 1 MW, pleine charge	30 %	41 %	50%
CCF de 0,1 à 1 MW, charge partielle	25 %	36 %	50%
CCF de moins de 0,100 MW	20 %	35 %	50%
CCF de moins de 0,010MW	10%	25%	55%

Technique

Influence de la température extérieur



Source: GE Ger-3567 Ger-3695; Wärtsilä perf

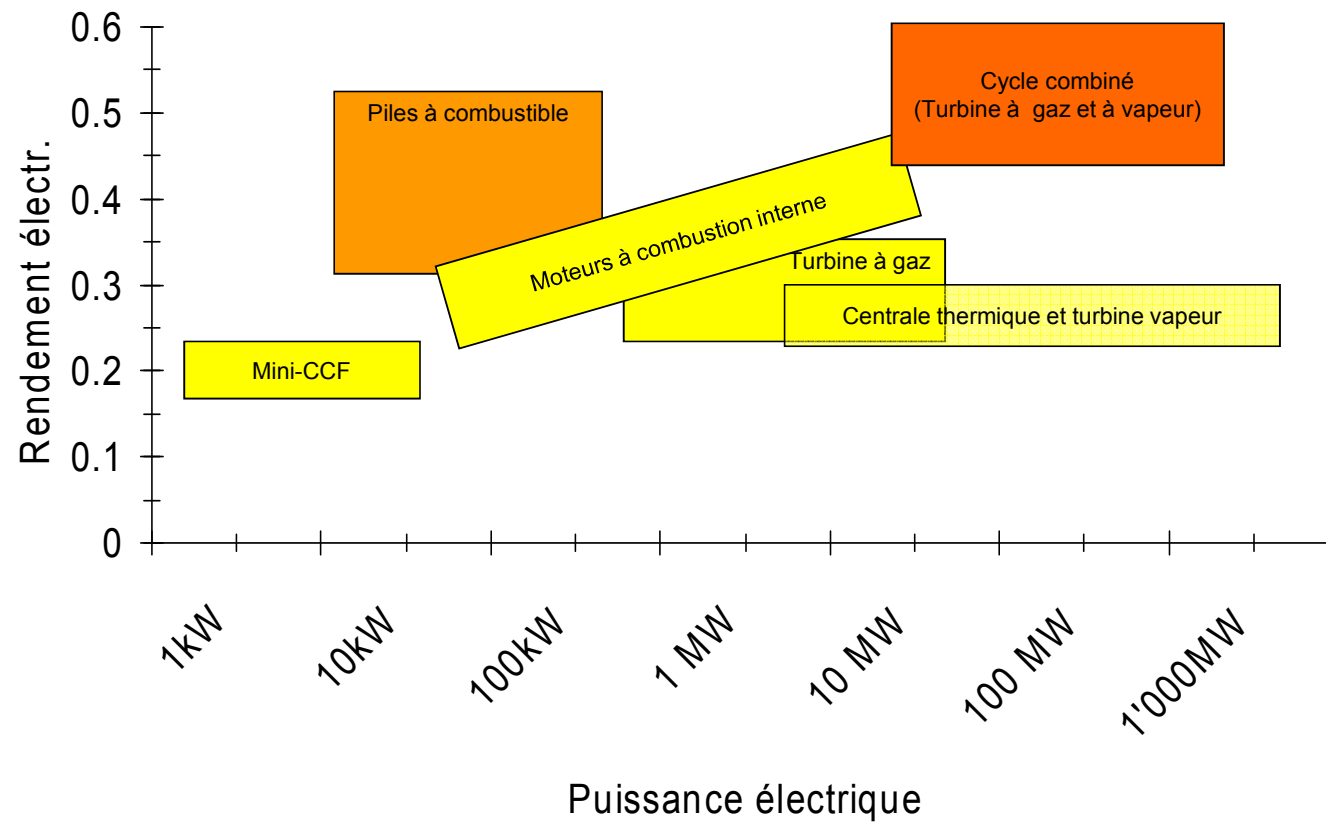
© Wärtsilä

17



Technique

Puissance et rendement électrique selon techniques



Présentation du jour

1

Techniques disponibles

2

Marché et conditions-cadres

3

Rôles possibles dans la transition énergétique

Statistiques

Source: OFEN, <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/index.html?lang=fr>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

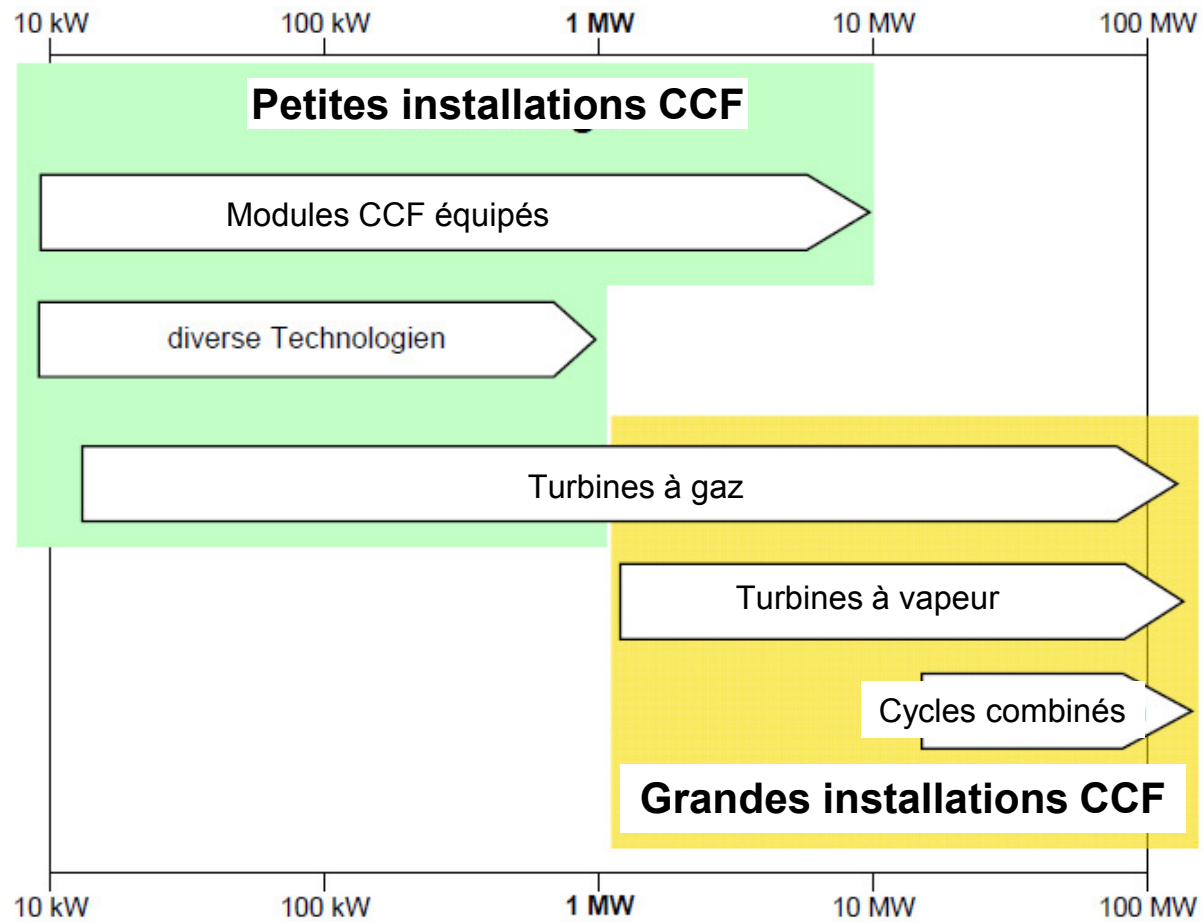
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Analysen und Perspektiven

September 2015

Thermische Stromproduktion inklusive Wärme-Kraftkopplung (WKK) in der Schweiz

Ausgabe 2014

Catégories statistiques



CCF - exemples



STEP



Biogaz



Gazéification de bois (!)

CCF - exemples



Réseaux de chauffage



Infrastructures, industrie



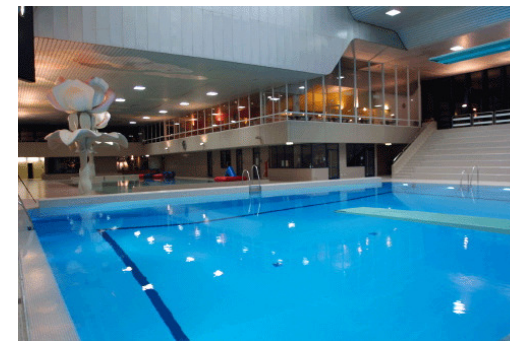
Shoppingcenters



Hôtels, hôpitaux, homes



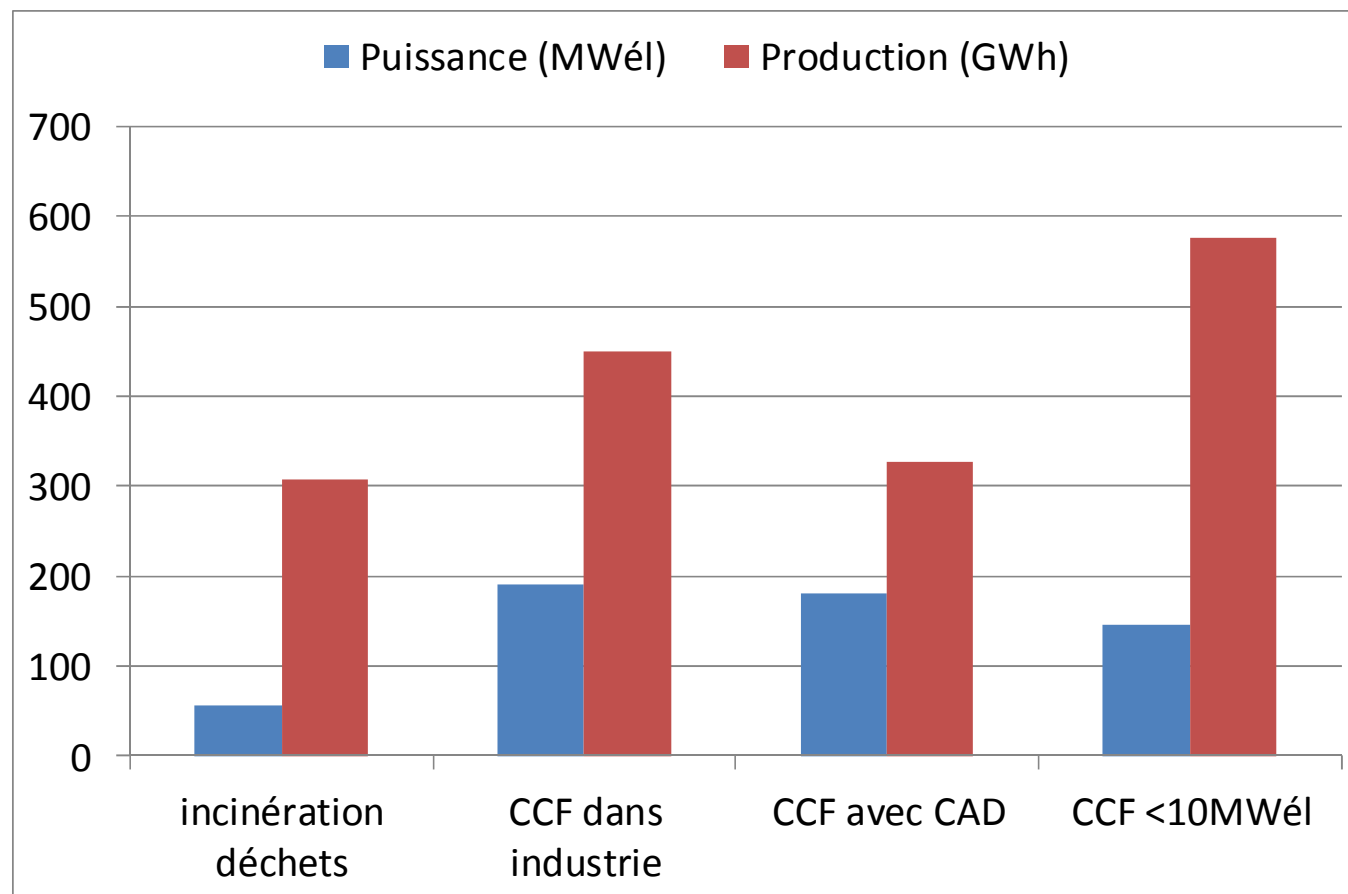
Administration, services



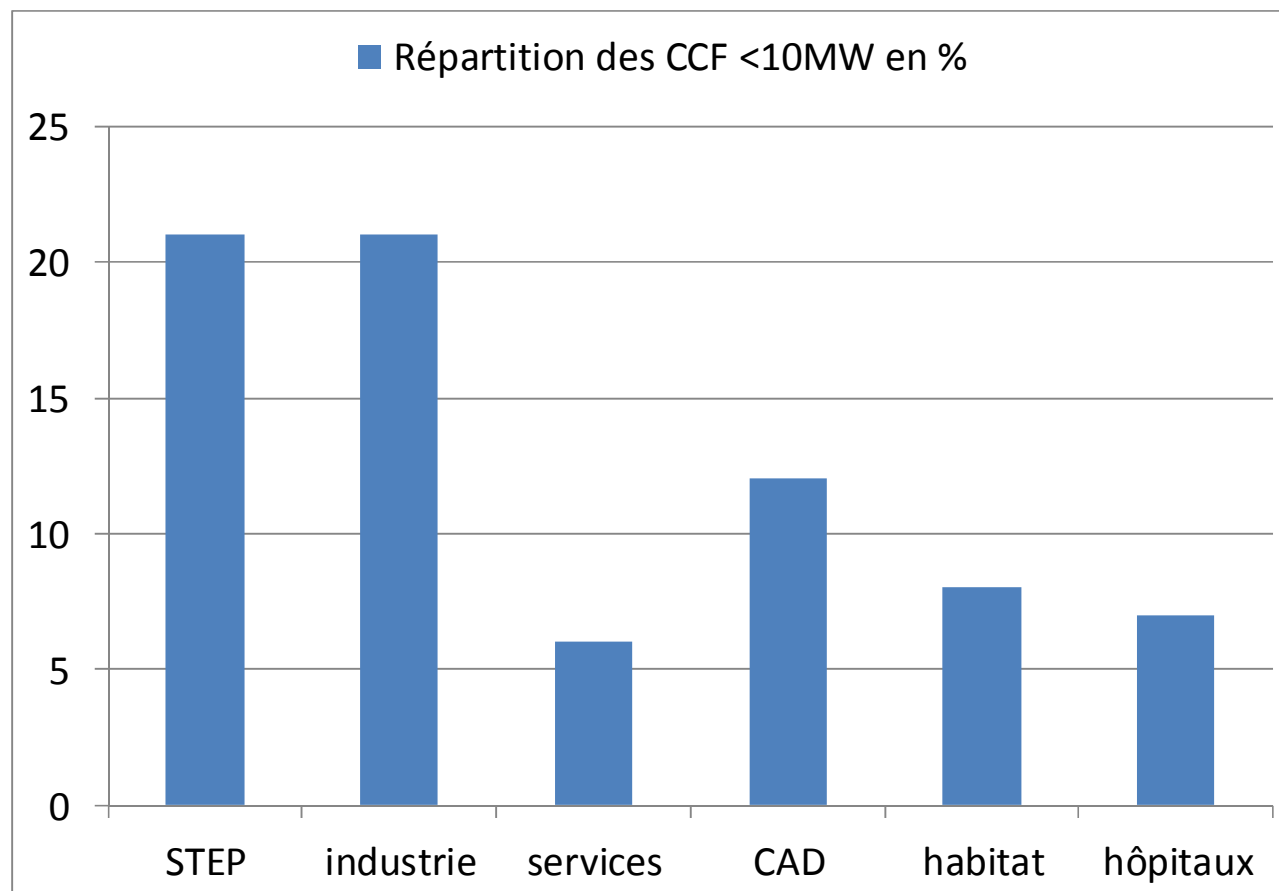
Centres de sports et loisirs

MAS EDD-BAT
Couplage chaleur-force

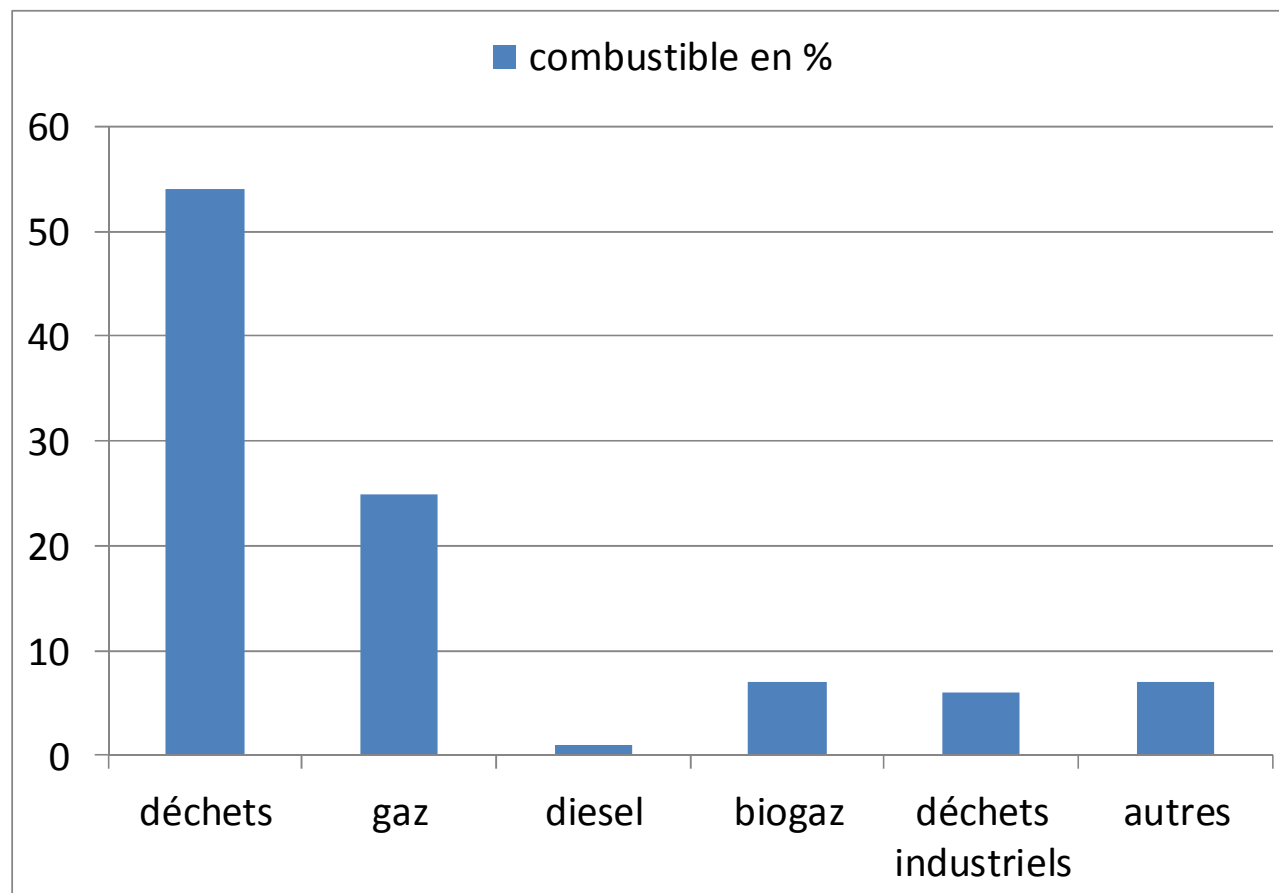
Applications



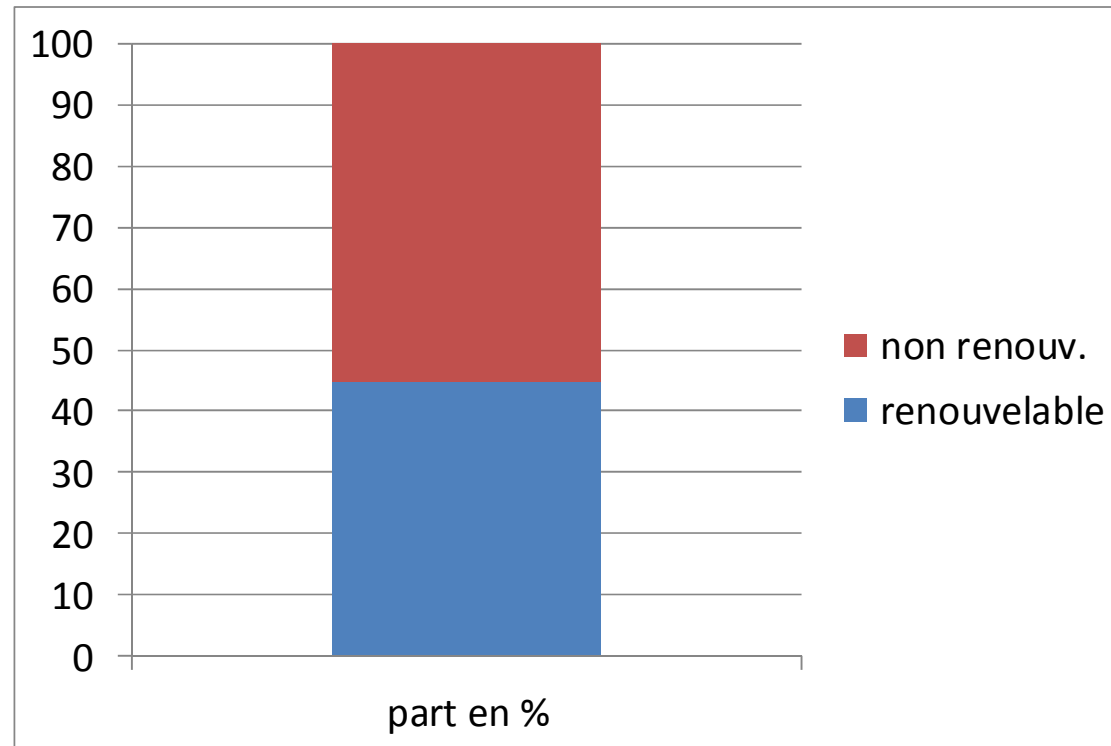
Applications



Applications



Applications



Applications

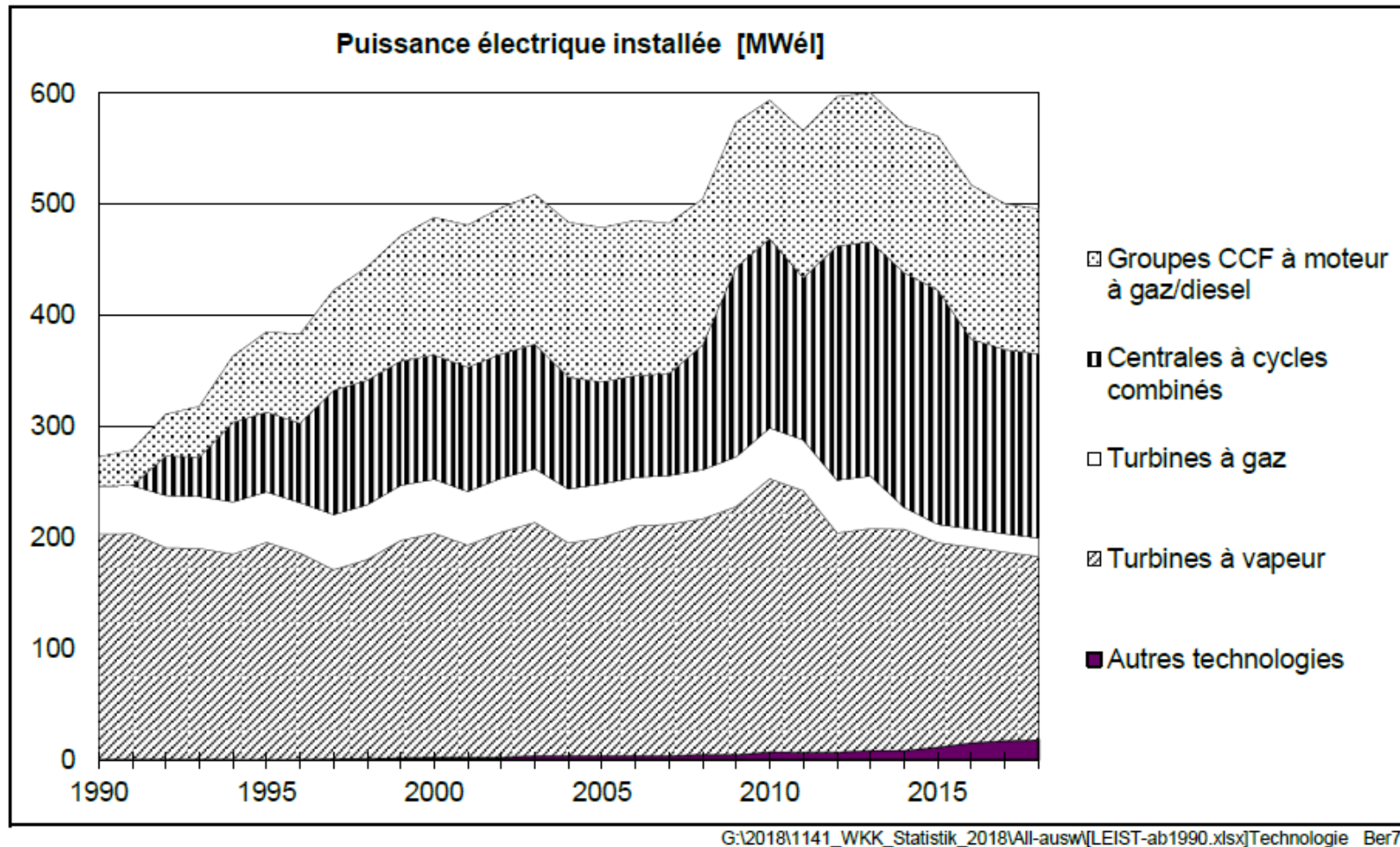
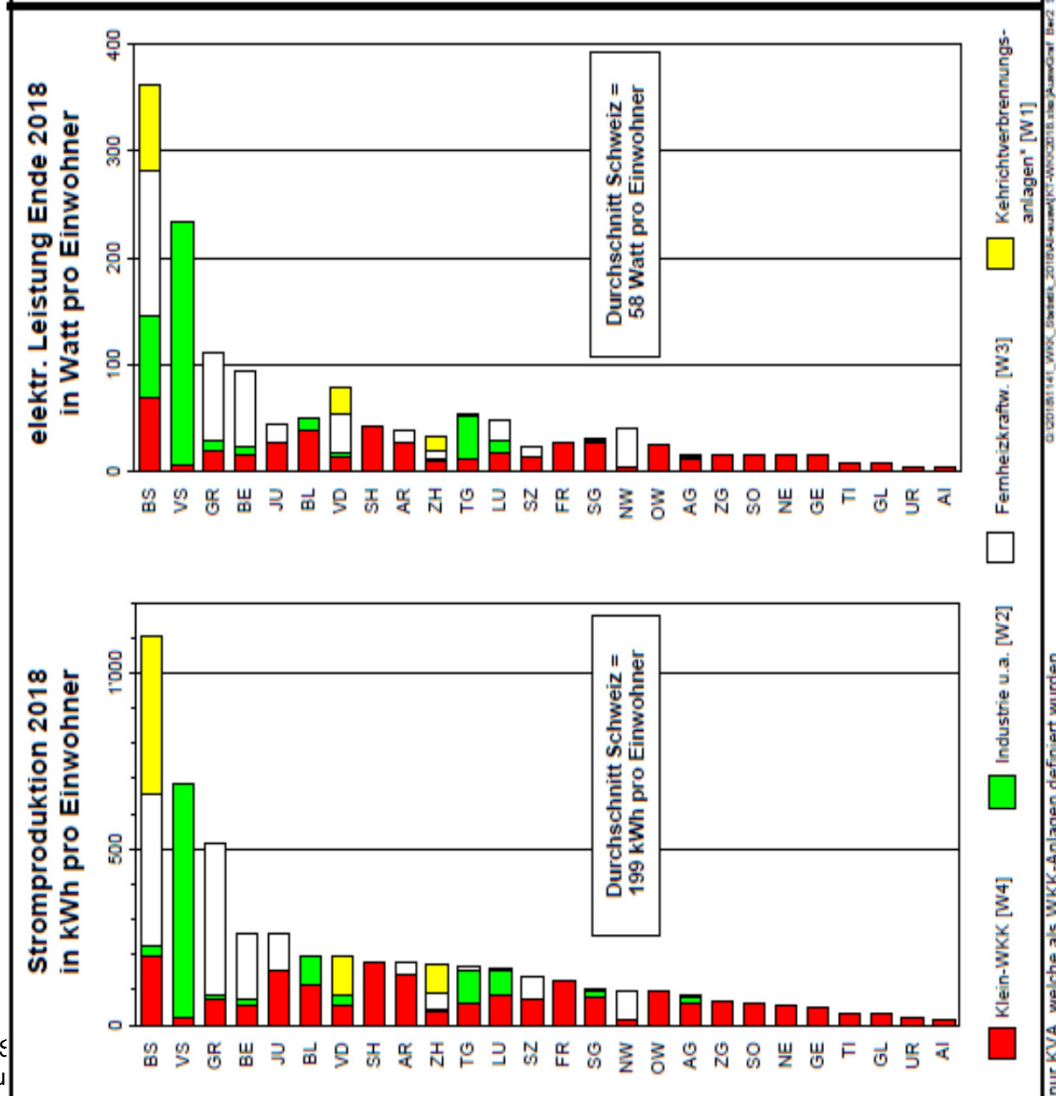


Figure 1.2 Evolution de la puissance électrique des installations à CCF selon leur type
 MAS
 Couplage chaleur-force

Applications: répartition par Canton



MAS
Cou

Loi sur l'énergie fédérale

Pour les CCF alimentées par des énergies fossiles, d'une puissance inférieure à 20MWel et qui ne participent pas au système d'échange de quotas d'émissions

- + exemption de la taxe sur le CO2 pour l'électricité injectée dans le réseau: la taxe sur le CO2 prélevée sur les combustibles dont il est avéré qu'ils sont utilisés pour produire de l'électricité est remboursée sur demande à hauteur de 60%. Les 40% restants sont uniquement remboursés si l'exploitant concerné peut prouver qu'il a alloué le montant correspondant à des mesures visant à accroître l'efficacité énergétique.
- + réglementation de la consommation propre: cette réglementation s'applique aux installations CCF comme à toutes les autres installations de production.

Loi sur l'énergie fédérale

Pour les CCF alimentées par des énergies fossiles de petite puissance

- + prix de reprise de l'électricité: les gestionnaires de réseau sont contraints de reprendre et de rétribuer l'ensemble de la production d'électricité des petites installations CCF. Sont considérées comme de petites installations CCF celles dont la puissance électrique ne dépasse pas 3 kW_el ou celles qui injectent annuellement tout au plus 5000 MWh dans le réseau. La rétribution minimale est axée sur le prix spot du moment sur le marché de l'électricité (day-ahead).

Cantons: Mopec

Pour les CCF alimentées par des énergies fossiles

- + Utilisation de la chaleur complète conforme à l'état de la technique
- + Aucune destruction de chaleur par un échangeur de chaleur de refroidissement
- + Froid par absorption possible si la chaleur de la machine frigorifique est utilisée
- + CCF est conforme à la solution standard 11 si
 - rendement électrique minimum 30%
 - CCF couvre 70% des besoins C+ECS

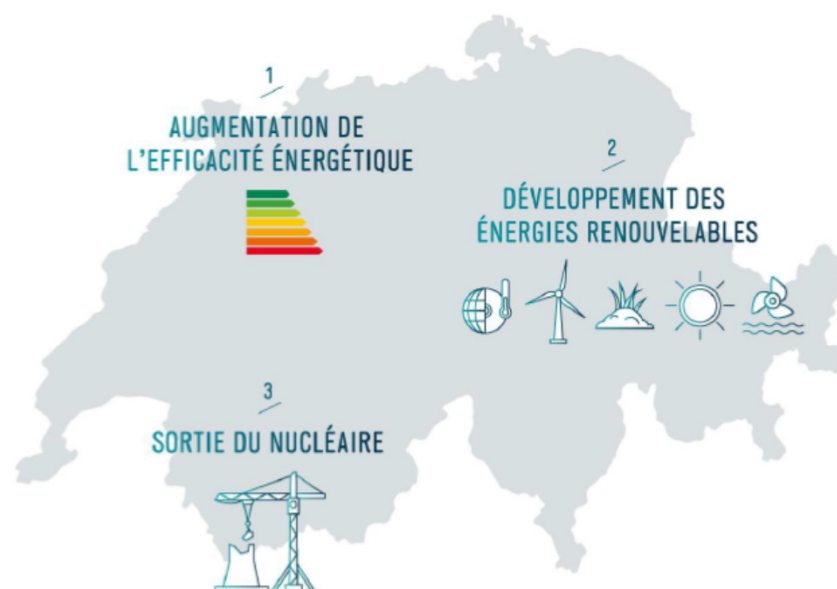
Vue d'ensemble des variantes de production électrique en 2035

Sz.	Var. A	Var. B	Var. C	Var. D	Var. E	Var. C&E	Var. D&E	Var. G	Loade in 2035 in TWh	
	Nuklear	Fossil-zentral und Nuklear	Fossil-zentral	Fossil-dezentral	EE	Fossil-zentral und EE	Fossil-dezentral und EE	Importe	Jahr	WI
I	2 KKW	5 GWK 1 KKW	7 GWK	-	-	-	-	20.0 TWh Importe (3'329 MW)	22.9	16.1
II	2 KKW 5.7 TWh EE	3 GWK 1 KKW 5.7 TWh EE	5 GWK 5.7 TWh EE	-	-	-	-	12.7 TWh Importe (2'114 MW) 5.7 TWh EE	19.6	14.1
III	1 KKW Importe (1.1 TWh)	-	4 GWK *	17.4 TWh WKK	16.5 TWh EE 2.6 TWh GWK	3 GWK * 8.1 TWh EE	12.1 TWh WKK 9.6 TWh EE	11.5 TWh Importe (1'913 MW)	19.5	11.9
IV	1 KKW	-	3 GWK	11.5 TWh WKK	10.3 TWh EE 1.0 TWh GWK	-	7.6 TWh WKK 6.2 TWh EE	6.6 TWh Importe (1'100 MW)	5.0	6.6

EE: Photovoltaik, Wind, Geothermie, Holz, Biogas, Klärgas, Abfall (50%) und Wasserkraft bis 10 MW
 KKW: Kernkraftwerke zu 1600 MW
 GWK: Geokraftwerke (Chevalon zu 357 MW und weitere Anlagen zu 560 MW)
 WKK: v.a. erdgasbefeuerte Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen
 GWK: Grosswasserkraftwerke (über 10 MW)
 * mit Holzgaszuführung in Erdgaskraftwerken, ausser Chevalon



NOUVELLE LOI SUR L'ÉNERGIE TROIS ORIENTATIONS



Mesures visant à accroître l'efficacité énergétique

- bâtiments
- mobilité
- industrie
- appareils

Mesures visant à développer les énergies renouvelables

- encouragement
- amélioration des conditions-cadres juridiques

Sortie du nucléaire

- aucune nouvelle autorisation générale
- sortie progressive, avec la sécurité comme unique critère

Cadre légal

Loi sur l'énergie

- + Priorité aux énergies renouvelables
- + Si combustible fossile, utiliser la chaleur
- + Production régulière
- + Prix selon le marché pour une énergie équivalente
- + Bilan:
électricité injectée = électricité produite – consommation propre

Cadre légal

Ordonnance sur l'énergie

- + Production prévisible, dans des plages appropriées
- + Contrat avec le gestionnaire de réseau
- + Taux d'utilisation annuel total de minimum 80%
- + Rétribution à des prix d'achat alignés sur le marché, se définit selon les économies du gestionnaire de réseau par rapport à l'acquisition d'une énergie équivalente

Cadre légal

Loi sur le CO2

- + De 0 à 20MW
taxe CO2 ou réduction locales d'émissions de CO2
- + De 20 à 100 MW
réduction locales d'émissions de CO2, certificats de réduction d'émissions
- + Plus de 100MW
projets de compensation en CH et à l'étranger, certificats de réduction des émissions

Cadre légal

Loi sur la protection de l'air

- + Valeurs d'émissions maximales d'émissions de polluants

Loi sur la protection contre le bruit

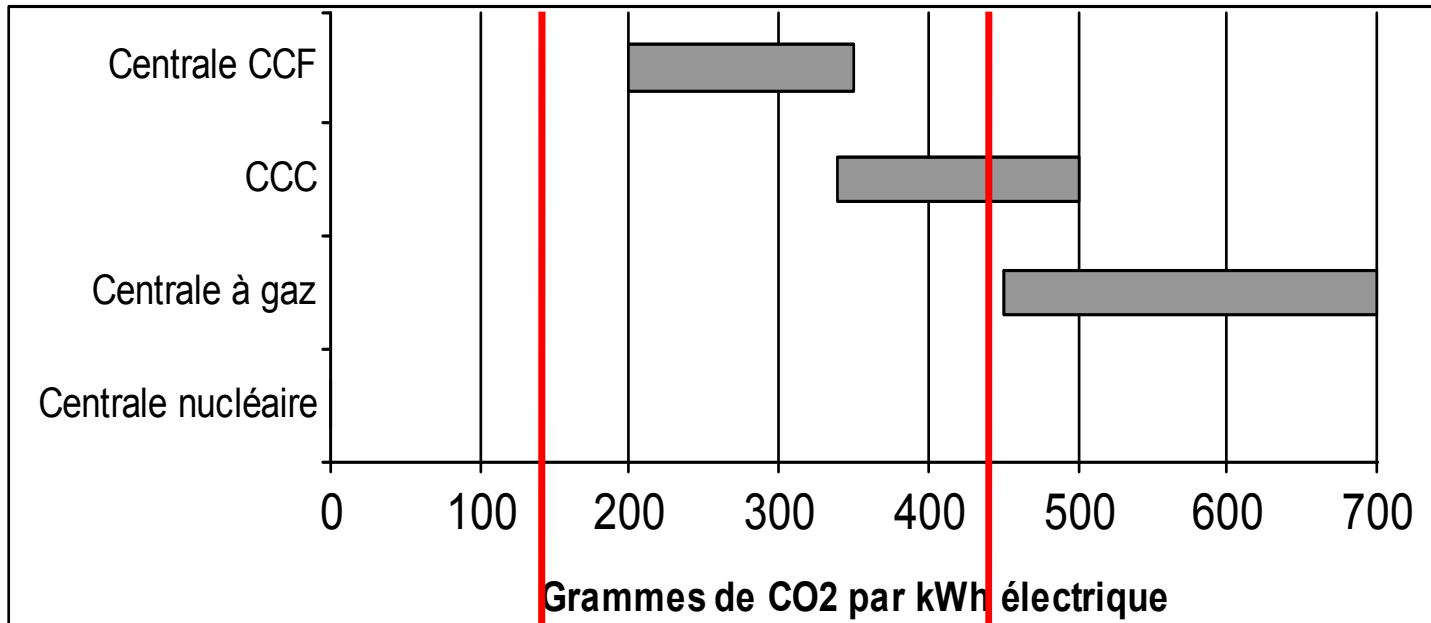
- + Valeurs limites d'immission à ne pas dépasser selon les zones

OPAM

- + En fonction de la quantité de combustible stocké sur place
(500 tonnes de diesel)

Environnement

CO₂



Mixe suisse

Mixe européen

Environnement

Exigences légales

Emissions	Moteurs à gaz	Moteurs diesel	Turbines à gaz
CO (mg/m ³)	650	650	240
Suie (mg/m ³)	50	50	2 à 4
NOx (> 1000kW) (mg/m ³)	250 (100)	250	120
NOx (mg/m ³) pour d..et e..	400	400	----
Valeurs locales pour NOx			
Ville de Zurich	50	50	45
Bâle-Ville	70	110	40

d. Les gaz assimilables au gaz naturel, au gaz de pétrole ou au gaz de ville, tels que les biogaz d'origine agricole ou les gaz d'épuration;

e. Le gaz de décharge, dans la mesure où sa teneur en composés inorganiques et organiques chlorés et fluorés, exprimée en acide chlorhydrique ou fluorhydrique, ne dépasse pas au total 50 mg/m³.

Source: OFEV, <http://www.admin.ch/ch/f/rs/8/814.318.142.1.fr.pdf>

Prix de l'électricité

Part variable

Part fixe

		Travail (ct/kWh)		Puissance (CHF/kW)						
Énergie	Été	HP	9.30							
		HD	10.02							
	Hiver	HP	6.35							
		HD	6.84							
Utilisation du réseau	Toutes saisons	HP	10.05			A	B			
		HD	10.82							
	Toutes saisons	HP	6.85					A	B	
		HD	7.38							
		A	B	A	B					
Prestations dues aux collectivités publiques (14.2% de l'utilisation du réseau)	Toutes saisons	HP	4.35	3.00	5.35*					9.10*
		HD	4.68	3.23	5.76*					9.80*
	Toutes saisons	HP	2.60	1.80						
		HD	2.80	1.94						
		+		+						
Supplément fédéral pour le développement des énergies renouvelables et la protection des eaux	Toutes saisons	HP	0.62	0.43	0.76*	1.29*				
		HD	0.67	0.46	0.82*	1.39*				
	Toutes saisons	HP	0.37	0.26						
		HD	0.40	0.28						
		+								
		Toutes périodes	2.30							
			2.48							

Tarif de rachat de l'électricité

+ Montant du tarif de reprise par SIG, validés par le Conseil d'Etat

	<i>Prix en cts/kWh (†)</i>	<i>Hors TVA</i>	<i>TVA incl.</i>
Hiver	Heures pleines	7.33	7.92
	Heures douces	5.23	5.65
Eté	Heures pleines	5.23	5.65
	Heures douces	3.43	3.70

(†) Pour les installations photovoltaïques, le tarif d'achat moyen appliqué, sur la base du tarif ci-dessus, est de 5.43 ct/kWh hors TVA (5.87 ct/kWh TVA incl.) indépendamment de la période horo-saisonnière.

HP = heures pleines (la semaine de 7h à 22h, le week-end de 17h à 22h)

HD = heures douces (la semaine de 22h à 7h, le week-end de 22h à 17h)

Tarif moyen si fonction 24/24 5.32

Tarif moyen si heures pleines 6.28

Présentation du jour

1

Techniques disponibles

2

Marché et conditions-cadres

3

Rôles possibles dans la transition énergétique

Introduction à la Cogénération

La situation actuelle

La Cogénération produit env. 3% des besoins en énergie électrique suisse

	Nombre	Puissance électrique	Consommation d'énergie primaire	Production d'électricité	Production de chaleur
Installations > 1 MW	41	359 MW		1.151 TWh	
Installations ≤ 1 MW	856	137 MW	<ul style="list-style-type: none"> • 0.5 TWh de gaz naturel • 0.02 TWh de produits pétroliers • 1 TWh de biogaz, de gaz d'épuration et décharge 	0.539 TWh	0.693 TWh

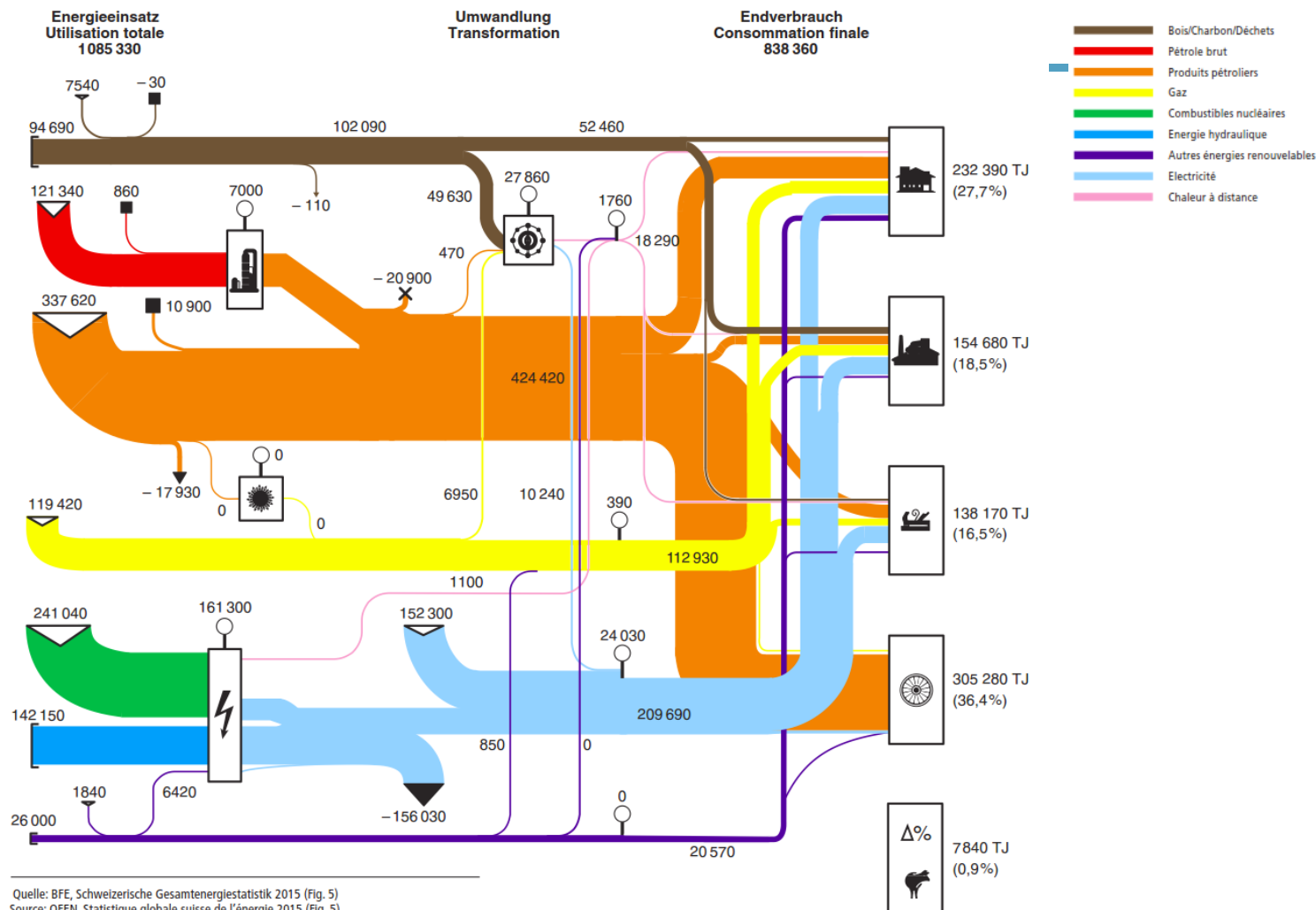
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2018

CCF: prix de revient de l'électricité fossile

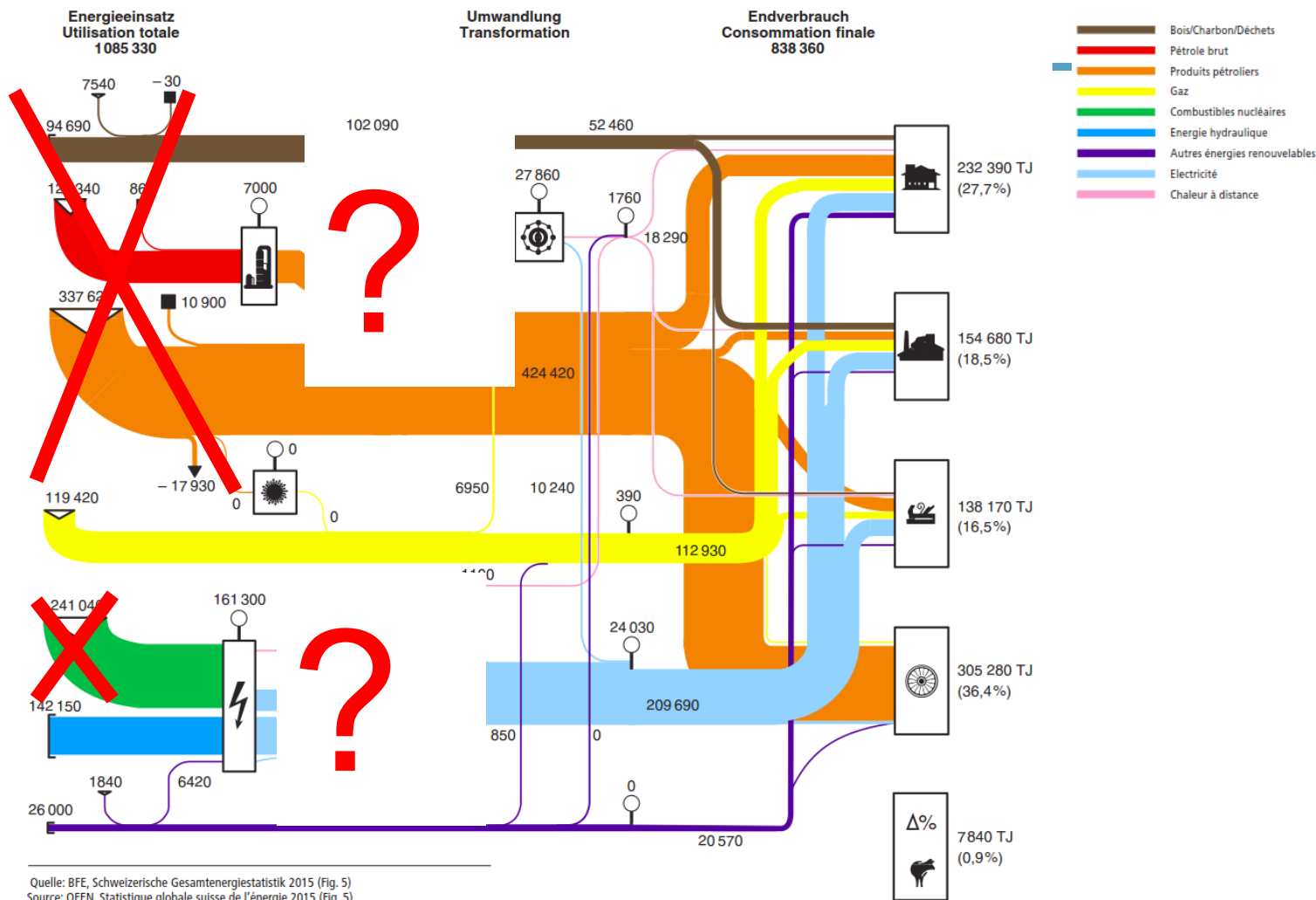
(Source: V3E)

Technologie de CCF	Prix de revient de l'électricité cts/kWhel.	Hypothèses Sources
Moteur à gaz (50...200 kWel.)	18...21	Erdgas, 4000 Bh/a, Gaspreis = 7 Rp./kWh, Wärmeertrag = 8 Rp./kWh
Moteur à gaz (500...1000 kWel.)	13...15	Erdgas, 4000 Bh/a, Gaspreis = 7 Rp./kWh, Wärmeertrag = 8 Rp./kWh
Moteur à gaz (1000...4000 kWel.)	11...13	Erdgas, 4000 Bh/a, Gaspreis = 7 Rp./kWh, Wärmeertrag = 8 Rp./kWh
Turbine à gaz (> 100 MWel.)	6.5 ...11	Quelle: BFE „Effiziente Nutzung von fossilen Brennstoffen“, November 2008, Seite 14
Cycle combiné (> 400 MWel.)	5...6.5	Quelle: BFE „Effiziente Nutzung von fossilen Brennstoffen“, November 2008, Seite 14
Centrale nucléaire (> 600 MWel.)	4...5.5	Quelle: BFE „Effiziente Nutzung von fossilen Brennstoffen“, November 2008, Seite 14

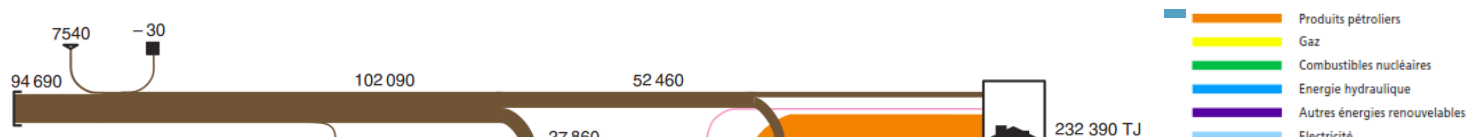
Statistique nationale de l'énergie



Statistique nationale de l'énergie



Production de chaleur < 100°C

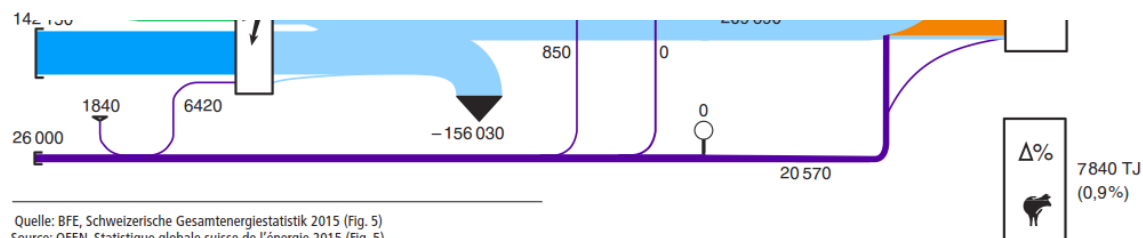


Chauffage et eau chaude sanitaire

40% de l'énergie

30% du CO₂

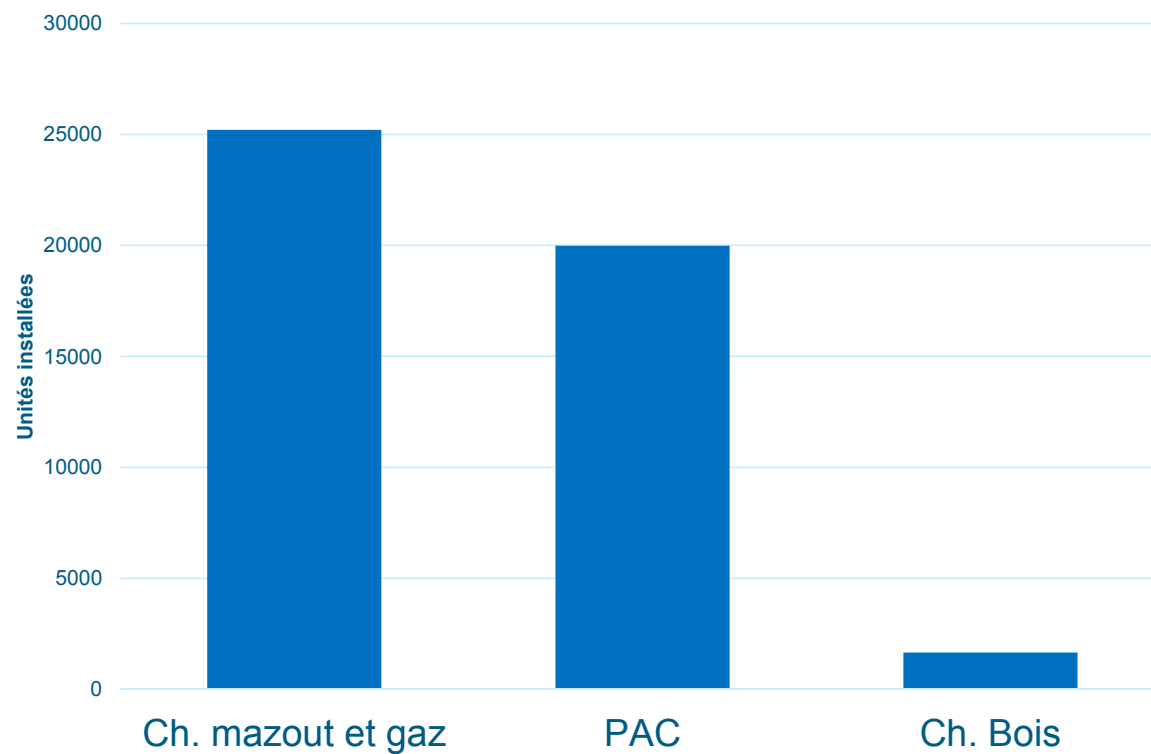
Energie fossile = 80%



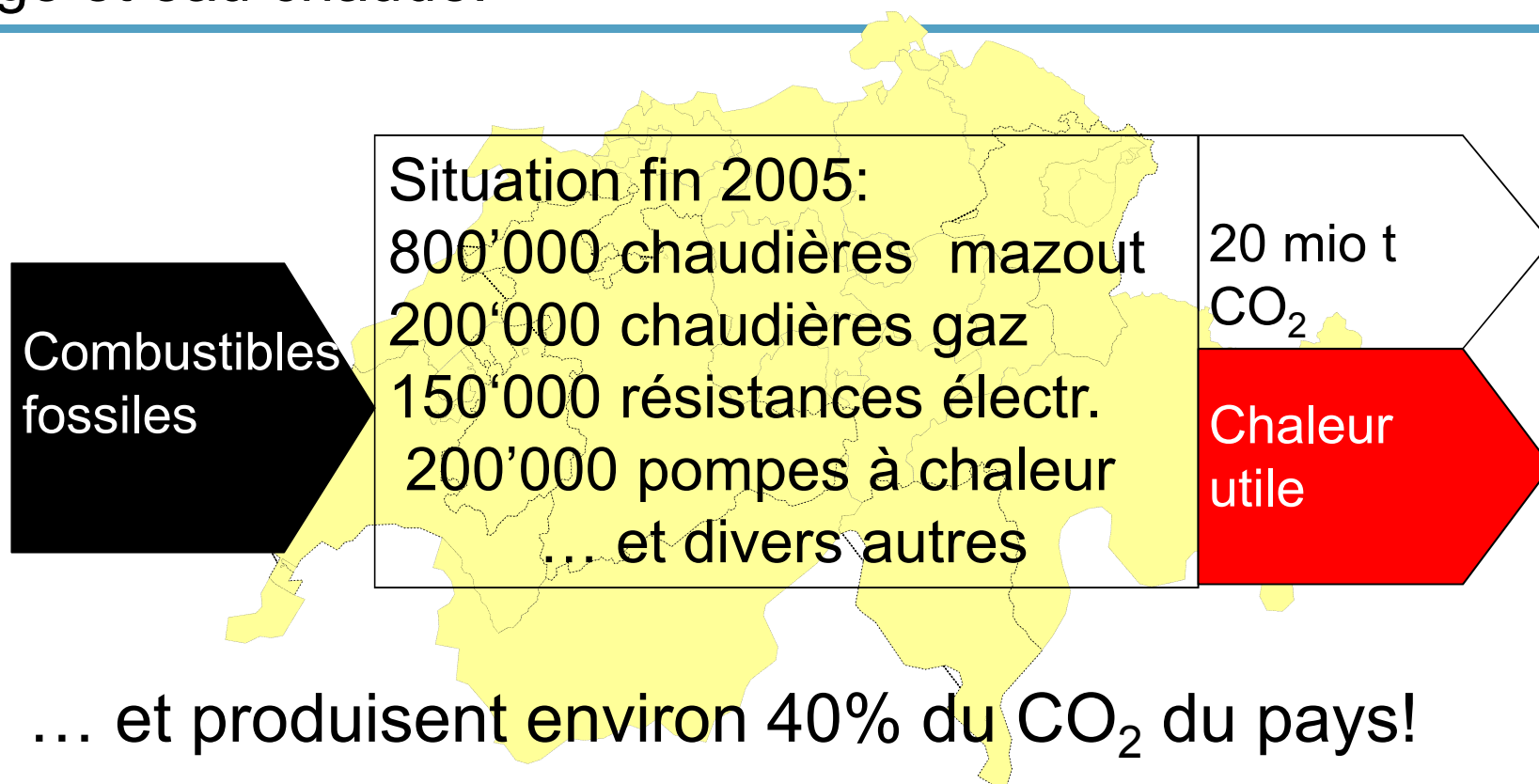
Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2015 (Fig. 5)
Source: OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2015 (Fig. 5)

Sortir du chauffage fossile

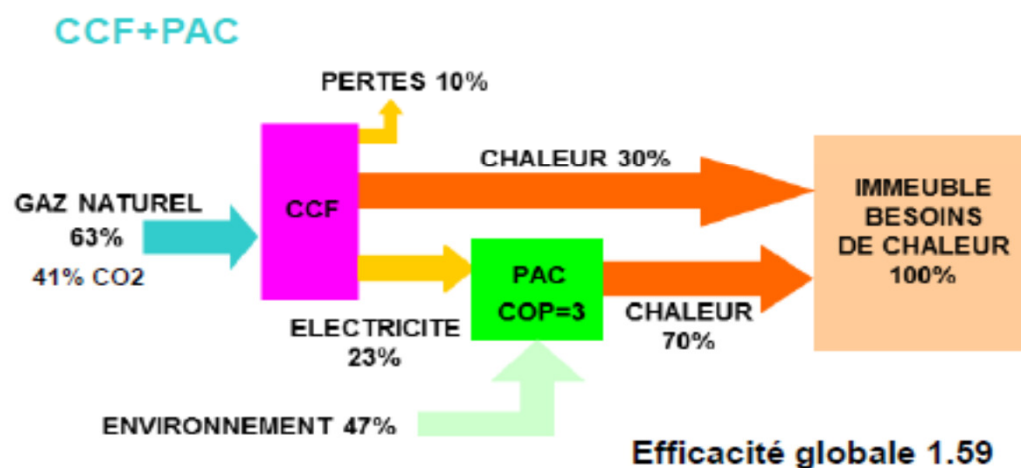
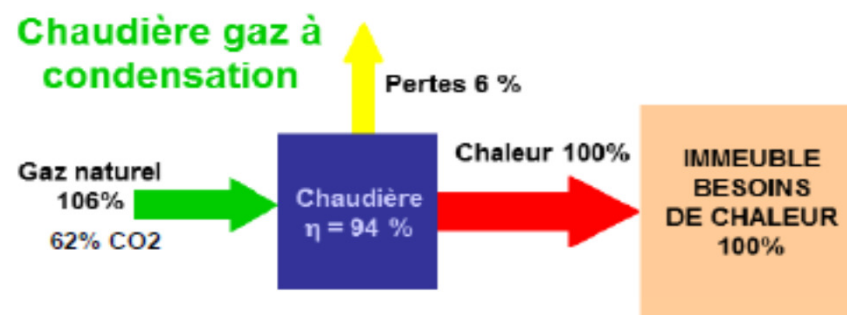
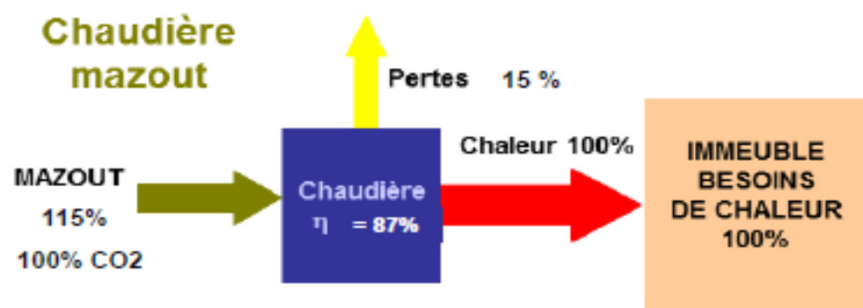
Marché du chauffage 2017



Mazout et gaz couvrent plus de 75% des besoins en chauffage et eau chaude!

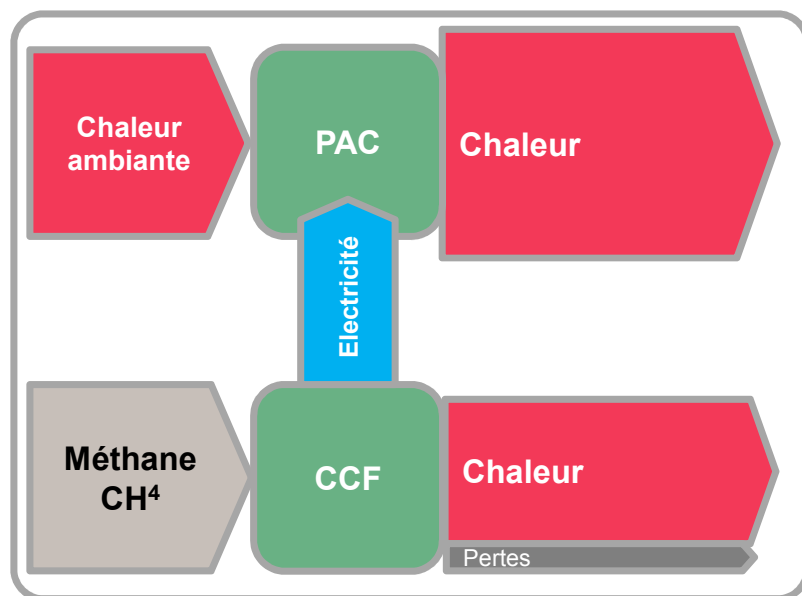


Faire mieux que les chaudières



Solutions avec la Cogénération

Exemples novateurs: Le CCF combiné avec le Power to Gaz et une pompe à chaleur



Le box hybride de Leimbach

Combinaison de la Cogénération avec le photovoltaïque et une pompe à chaleur dans un immeuble d'habitation avec 11 appartements.

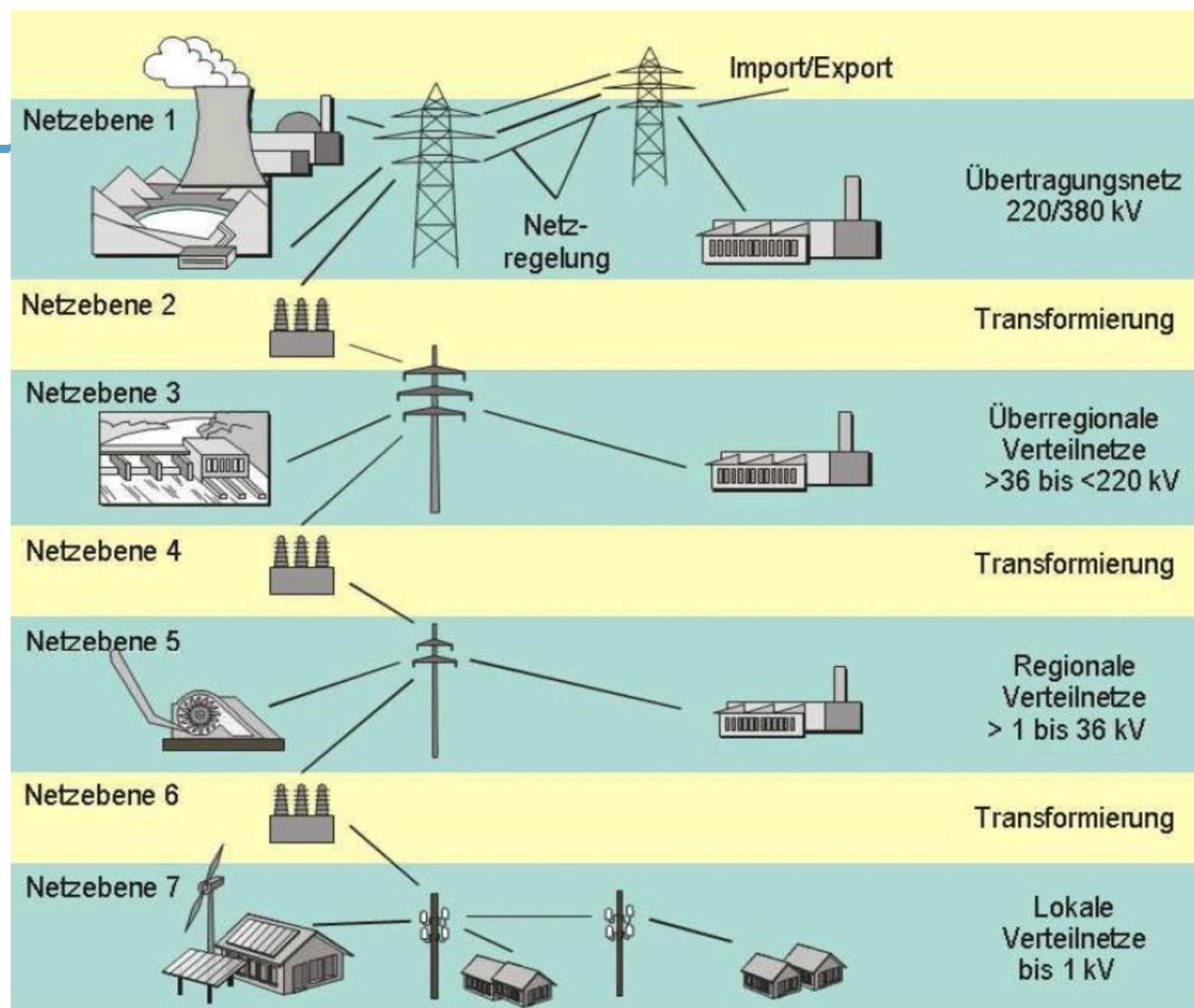
Production d'électricité avec 1'000 panneaux photovoltaïques.

Transformation de l'énergie excédentaire en du méthane renouvelable et stockage dans le réseau de gaz.

Utilisation du gaz dans un CCF pour la production de chaleur et d'électricité qui actionne une pompe à chaleur.

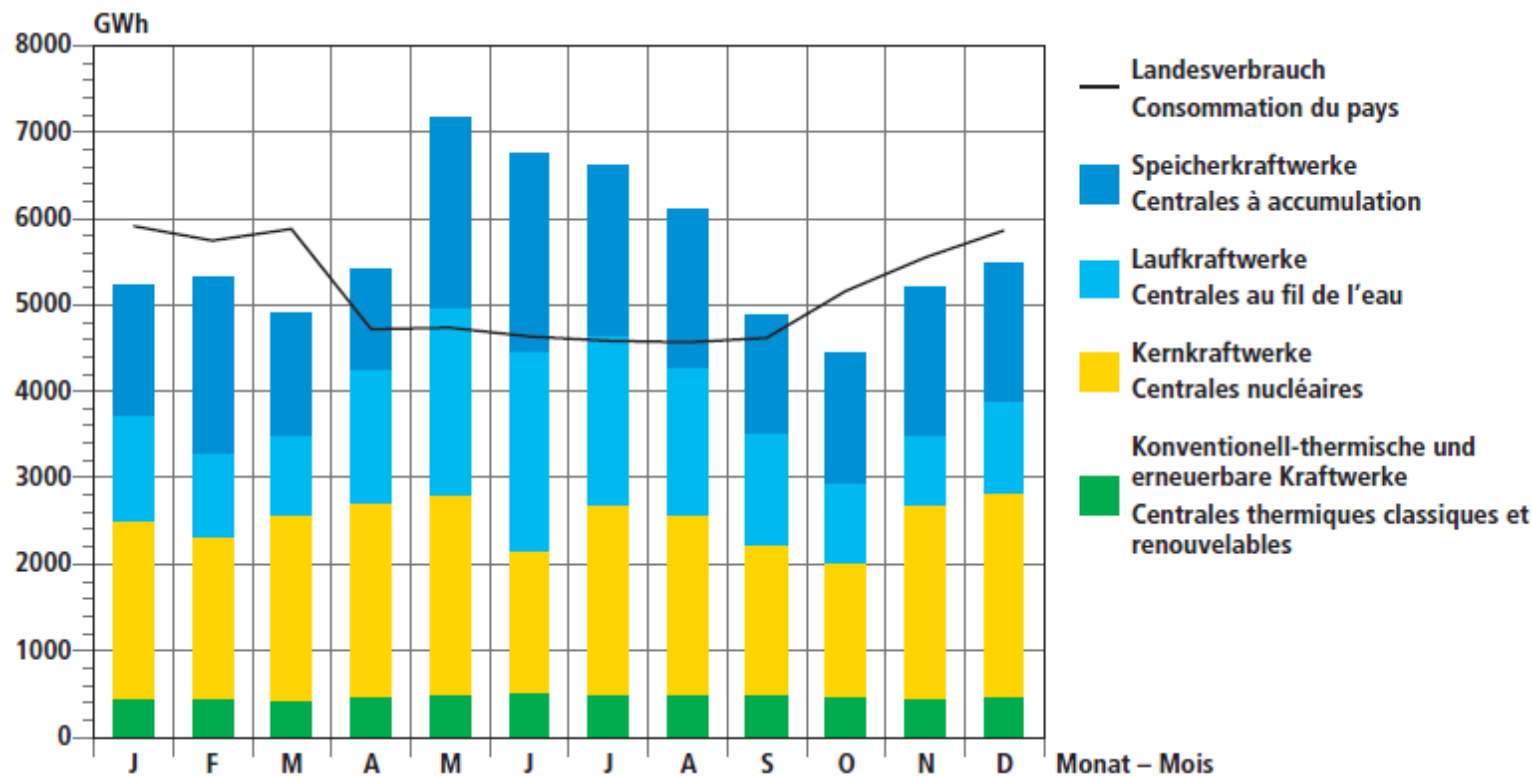


Electricité



Nouveaux défis énergétiques

Production et consommation d'électricité par mois



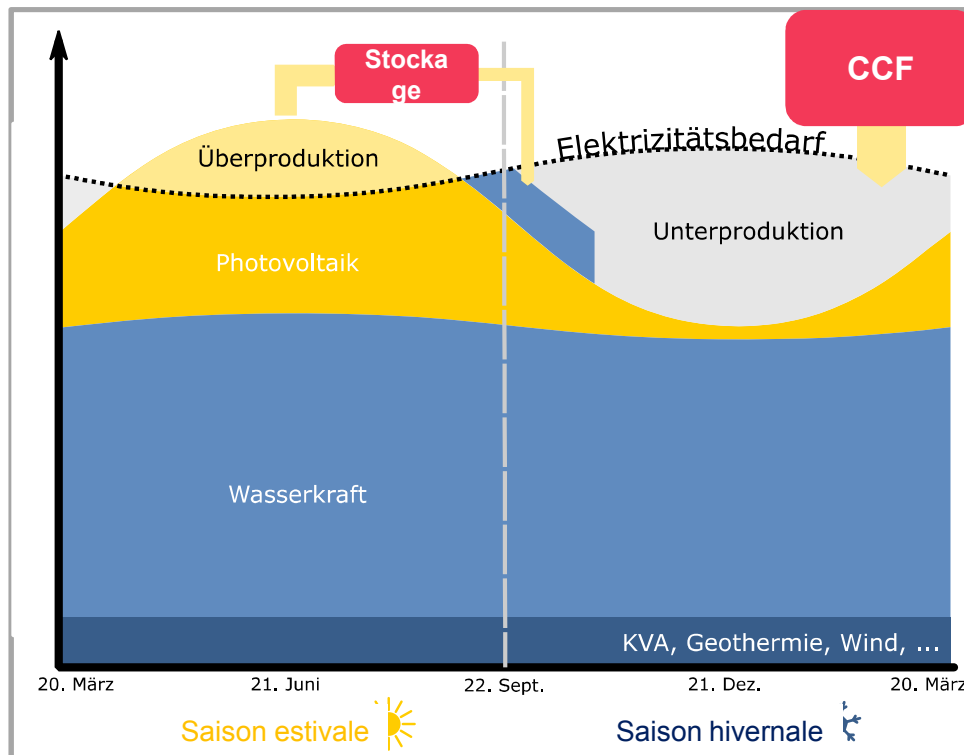
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2018

Evolution prévisible

- Baisse de la production hivernale et des possibilités d'importation
- Besoin de mesures en faveur de la sécurité d'approvisionnement

Solutions avec la Cogénération

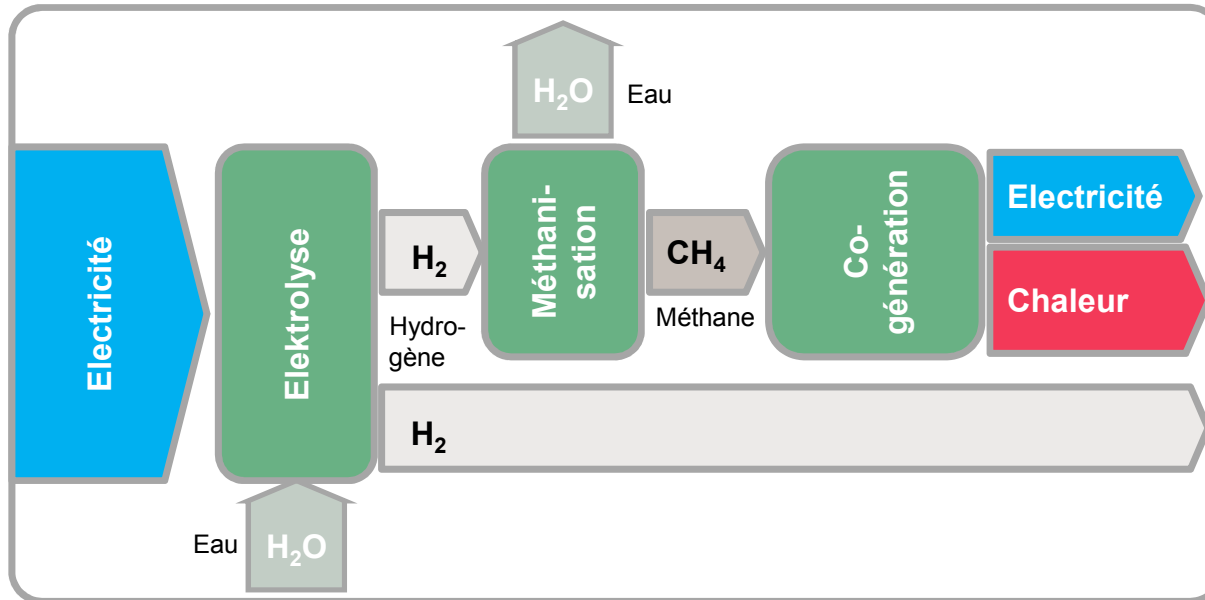
Combler le déficit hivernal par des applications CCF



- Chauffage, eau chaude et électricité pour des habitations individuelles et collectives, des bureaux et l'industrie.
- Combinaison une pompe à chaleur (PAC) et le Power to Gas (PtG).
- Chauffages à distances.
- Regroupements dans le cadre de la consommation propre d'électricité.

Solutions avec la Cogénération

Exemples novateurs: le CCF combiné avec le Power to Gaz (PtG)



Store & Go de Regio Energie Solothurn

But: Production de gaz renouvelables par la méthanisation et le stockage en quantités industrielles.



Centrale hybride de Limeco

Une installation d'incinération produit de l'électricité à partir des ordures qui est ensuite transformée en gaz renouvelable et injecté au réseau de gaz pour la vente aux consommateurs de gaz renouvelable certifié.

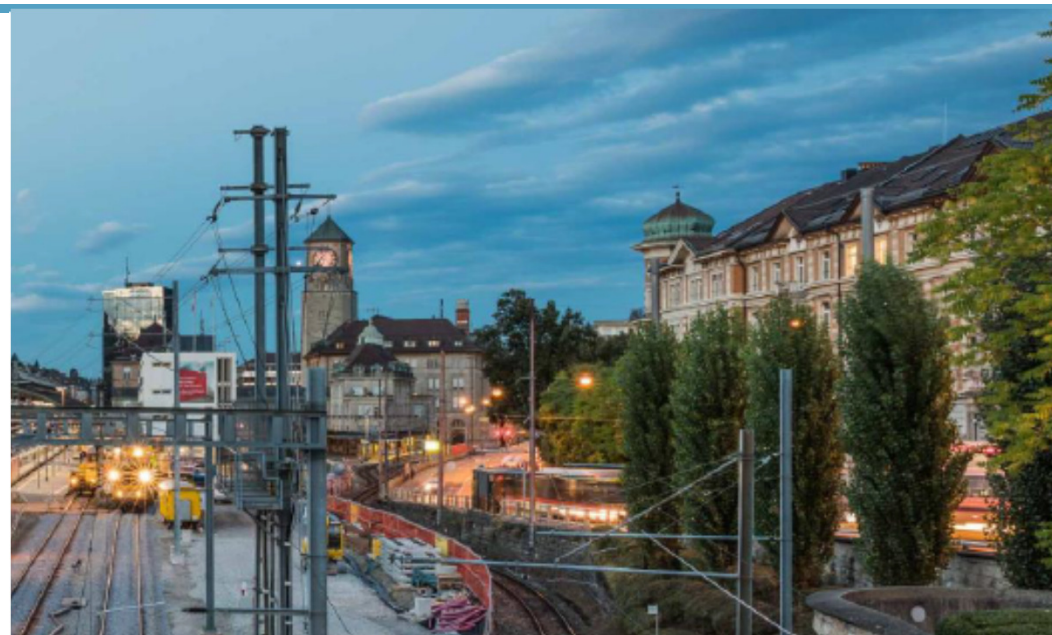
Production d'env. 20 GWh/a.



Exemple: services industriels de St. Gall

Objectifs

- + Libérer des capacités électriques pour de nouvelles applis
- + Améliorer la sécurité d'approvisionnement
- + Réactivité lors de variations de production PV



Exemple: services industriels de St. Gall

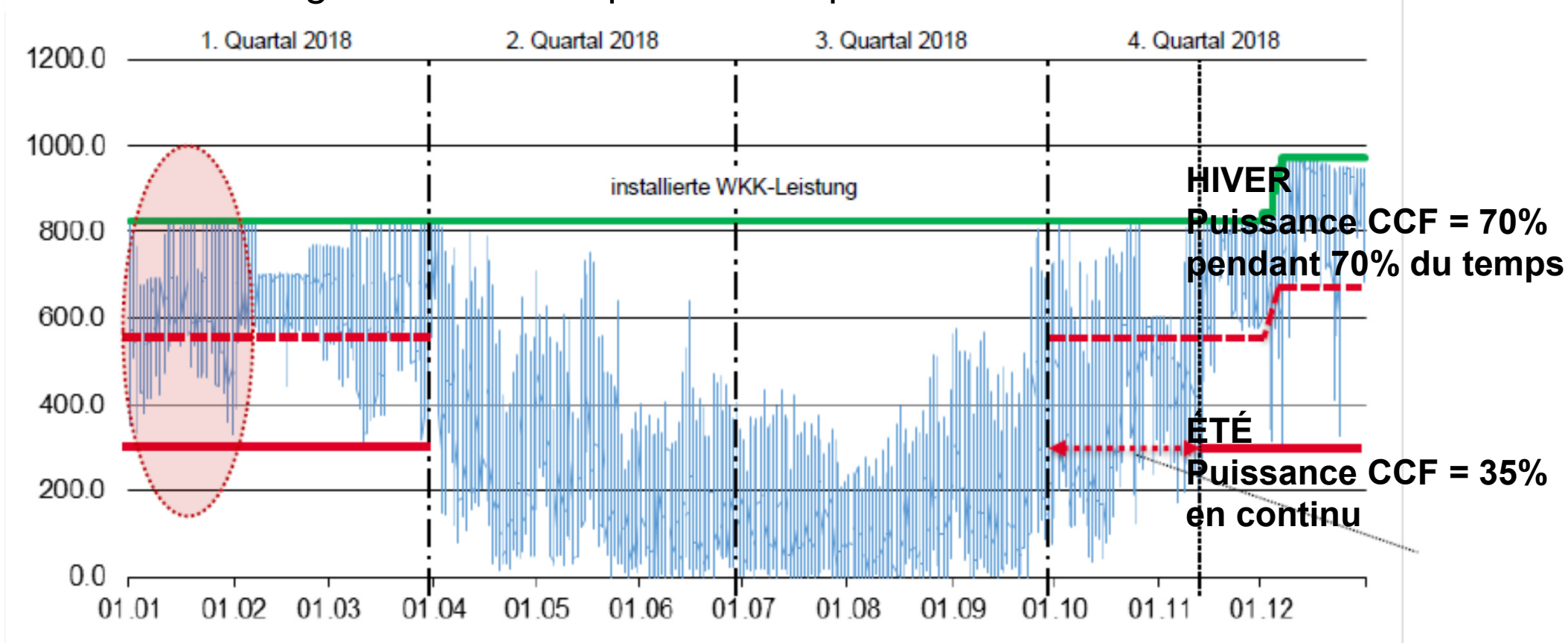
Installations

- + Puissance de 3.2MWel de CCF
- + 30 centrales de chauffe
- + Pilotage central de l'ensemble des CCF(centrale virtuelle)
- + Intégration des contraintes hydrauliques du CAD lors d'injection de chaleur multipoint
- + Intégration de la contraintes de l'utilisation de la chaleur



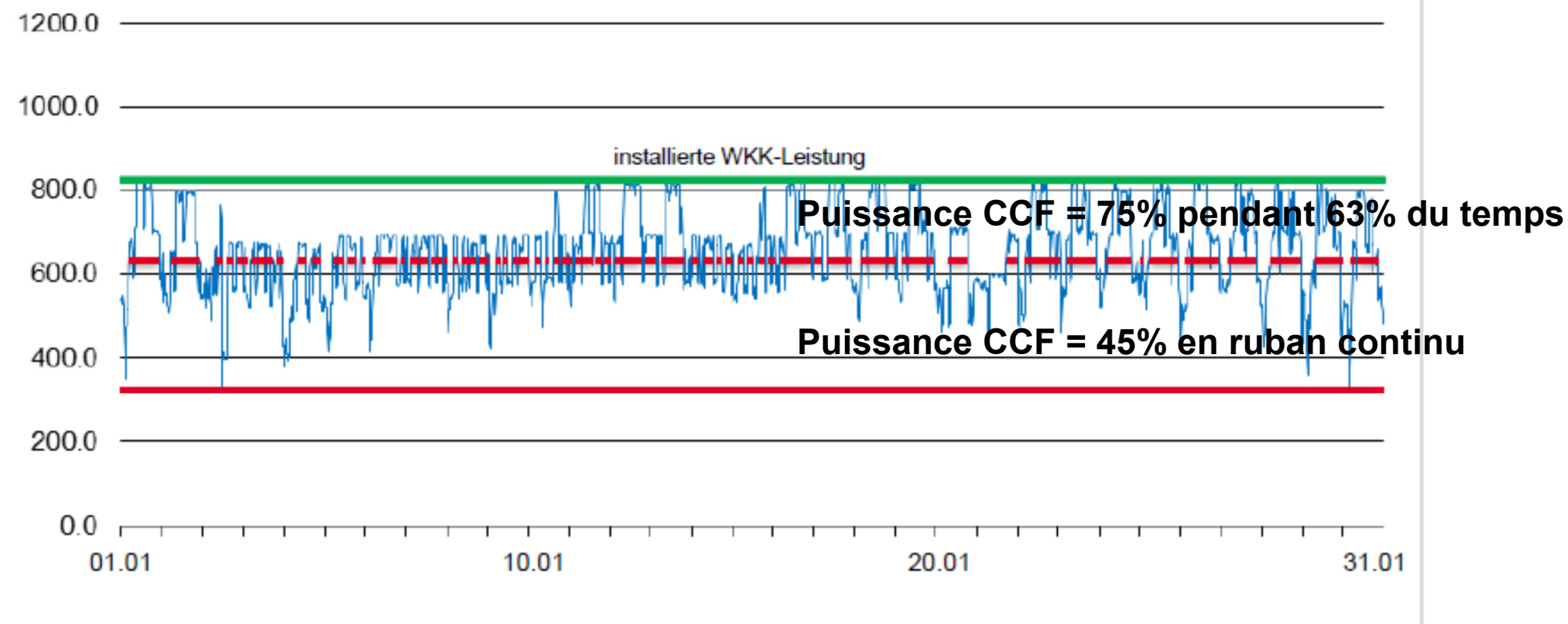
Sécurité d'approvisionnement

Courbe de charge du réseau et puissances par CCF en 2018



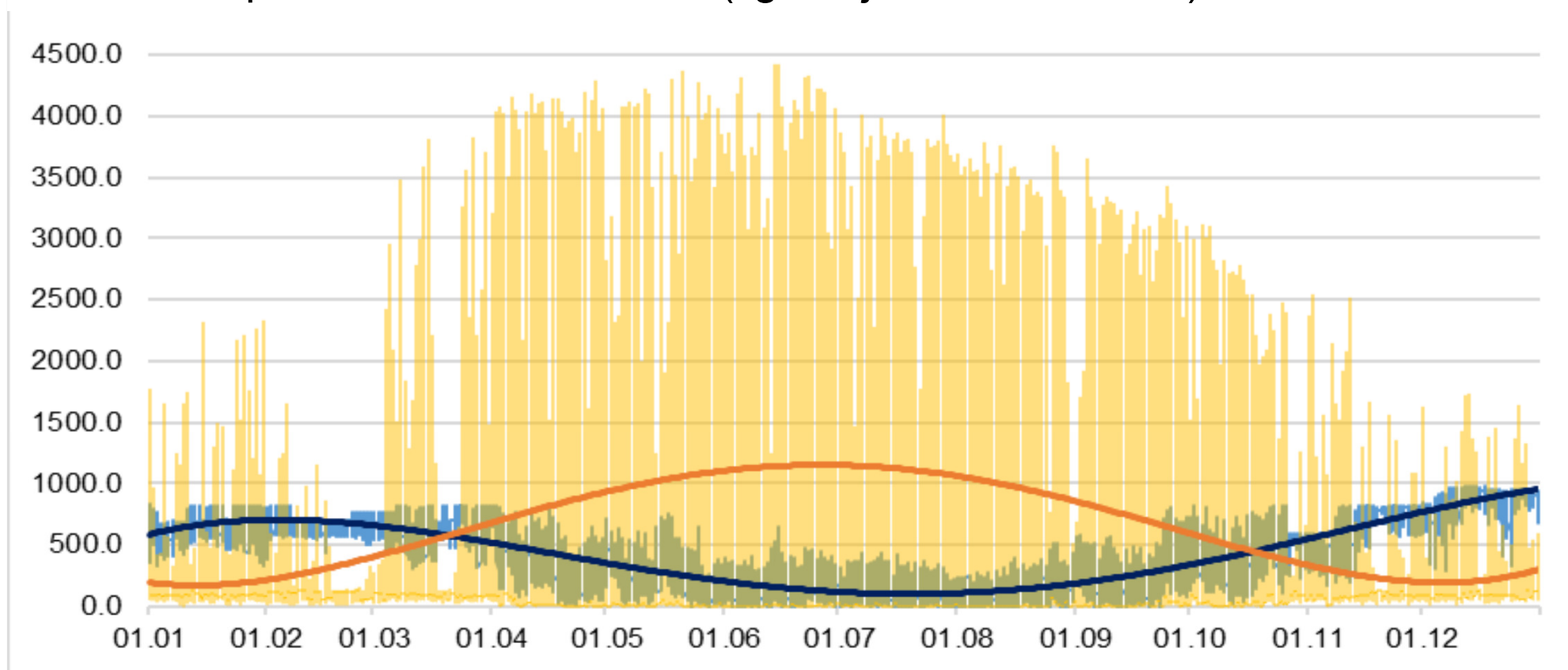
Sécurité d'approvisionnement

Courbe de charge du réseau et puissances par CCF en janvier 2018



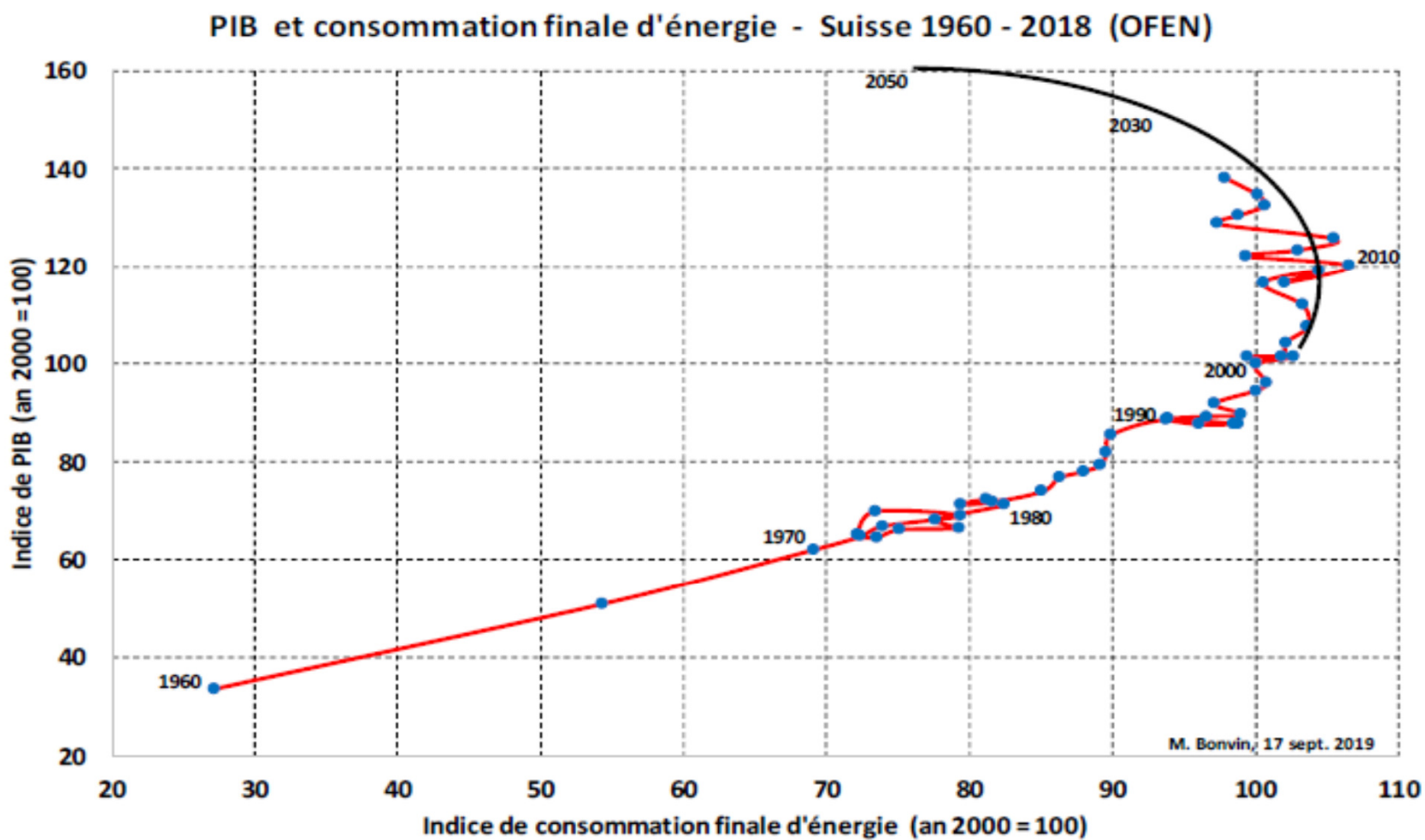
Complément aux productions renouvelables dépendantes de la météo

Production par PV et CCF en 2018 (lignes jaunes et bleues)



XXXXXXXX

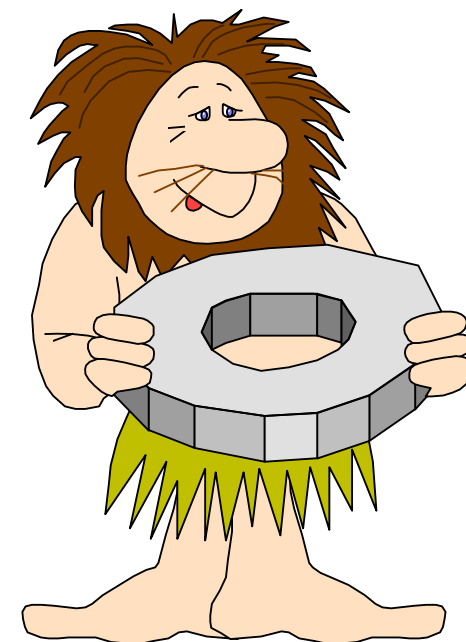
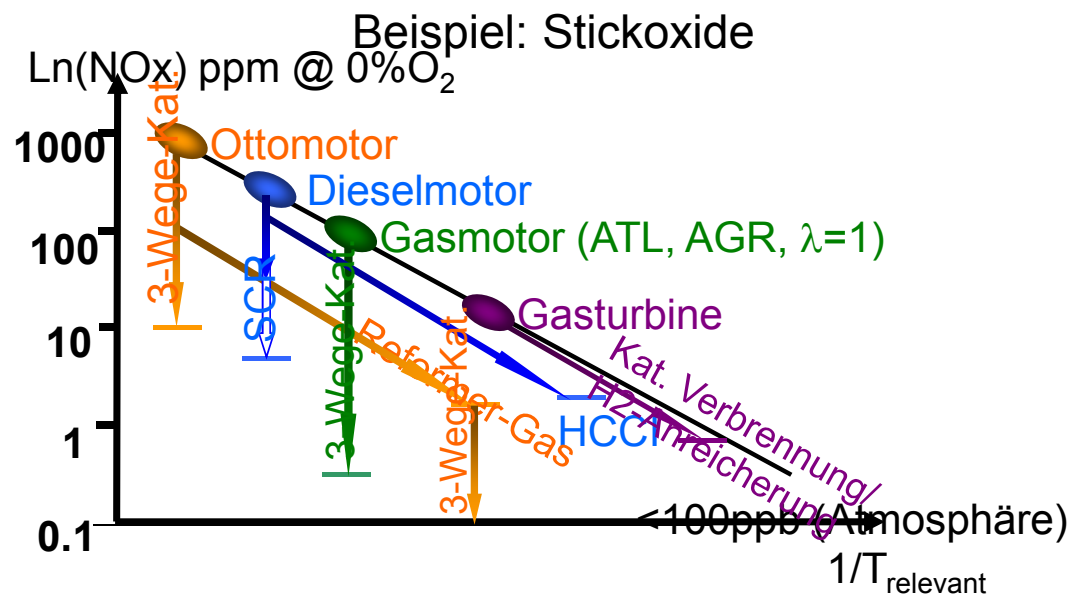
Aujourd'hui



Conclusions

«Vieilles» technologies ont encore du chemin

- Moteurs, turbines, pile à combustible, hydrogène, Stirling...
- Grosses évolutions possibles (rendements, émissions)



Conclusion

- + Les conditions-cadres seront définies par la politique
- + Dans les conditions actuelles, il existe des applications rentables (auto-conso, CAD)
- + Surcapacités de production électrique en Europe doivent d'abord être résorbé
- + CCF peut se combiner avec PV et vent pour compenser les fluctuations de production (réactivité, décentralisé)
- + Le potentiel de biomasse pour les CCF est limité, concurrence avec d'autres u
- + Si la Confédération veut une stratégie pour les CCF, il faudra définir des conditions-cadres qui permettront la viabilité économique



Sources et références

- Powerloop, Mme Susanne Michel
- HES-SO Valais, Prof. Michel Bonvin
- SIG, J. Armengol
- SI St Gall, M. Letta
- V3E: Informations générales, politiques, statistiques, faits et chiffres, brochure:
<http://www.v3e.ch/assets/files/downloads/v3e/V3E-WKK-Broschuere-fr-aug11.pdf>
- Ass couplage chaleur-force: infos plus techniques, en allemand:
<http://www.waermekraftkopplung.ch/>
- OFEN: office fédéral de l'énergie, domaine CCF, M. L.Gutzwiller
http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00506/index.html?lang=fr&dossier_id=00761
- OFEN, statistiques des CCF, uniquement en allemand:
J. Gulden, U. Kaufmann, Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz (pdf, 829 KB), OFEN, Berne, à chercher sous
<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/index.html?lang=fr>
- OFEV, Ordonnance sur la protection de l'air:
http://www.admin.ch/ch/f/rs/814_318_142_1/index.html
- OFEN, ordonnance sur l'énergie, recueil systématique fédéral RS730.01

Contact

F. Rognon
Responsable Energie
Suisse romande
f.rognon@csd.ch