

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 101 (2010)

Heft: 11

Artikel: L'impact des couplages chaleur-force sur les émissions de CO2 d'une ville

Autor: Cherix, Gaëtan

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856148>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'impact des couplages chaleur-force sur les émissions de CO₂ d'une ville

Cadre institutionnel et productions décentralisées

La production décentralisée de chaleur et d'électricité semble être une bonne solution pour diminuer les consommations d'énergie primaire et les émissions de CO₂ d'un territoire donné. Cependant, les performances environnementales d'un tel système dépendent fortement des sources d'énergies auxquelles cette nouvelle production se substitue. Cet article fait le point sur les potentialités offertes par des unités de production décentralisées telles que les couplages chaleur-force.

Gaëtan Cherix

Le début du 21^e siècle laissera vraisemblablement dans l'histoire la marque d'une prise de conscience collective des enjeux énergétiques et climatiques. La sécurité d'approvisionnement en énergie de notre société est remise en cause à moyen terme, voire à court terme en considérant la problématique climatique.

Les gouvernements à travers le monde prennent conscience de l'impact d'une éventuelle pénurie d'énergie et de leurs responsabilités. Autrement dit, ils souhaiteraient limiter notre consommation actuelle de ressources de manière à ne pas compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins. Sur cette base, d'ambitieuses politiques énergie-climat sont mises en place aux différents niveaux de gouvernance.

Près de 70% de la consommation d'énergie primaire au niveau mondial provient des zones urbaines, plus spécifiquement des secteurs des transports et de la construction (IEA, 2008). Dans cette perspective, les villes et les agglomérations urbaines occupent un rôle essentiel dans la réduction de la consommation d'énergie primaire et dans les actions de protection du climat. « Les autorités locales doivent donc devenir des acteurs incontournables dans la mise en œuvre de politiques énergétiques durables et être reconnues et soutenues dans leurs efforts.

La Convention des Maires est une initiative ambitieuse de l'Union européenne, qui permet aux villes européennes pionnières d'atténuer les effets du réchauffe-

ment climatique grâce à la mise en œuvre de politiques énergétiques intelligentes au niveau local » (EU, 2010). Parmi les options possibles pour améliorer les performances des systèmes énergétiques urbains, la production décentralisée au moyen de cogénérations à gaz semble être une solution prometteuse.

Simultanément, le secteur électrique est dans une phase de transition depuis plusieurs années au niveau européen et depuis 2009 en Suisse, passant d'une industrie monopolistique à un marché compétitif et libéralisé. Ces processus de libéralisations ont forcé les gouvernements concernés à élaborer de nouveaux règlements dans ce secteur, ce qui a notamment débouché sur des opportunités

et des contraintes pour le déploiement des unités de production décentralisées telles que les couplages chaleur-force (CCF), (figures 1 et 2).

Diminuer la consommation d'énergie primaire

Techniquement, les performances des systèmes énergétiques urbains sont principalement influencées par l'ampleur et la structure de la demande (caractéristiques des bâtiments, systèmes de chauffage, équipements électriques, comportement des consommateurs finaux, etc.); la disponibilité de l'offre (ressources d'énergies renouvelables, énergie des déchets, systèmes décentralisés de conversion d'énergies, réseaux énergétiques, etc.); ainsi que la gestion de l'ensemble du système (Cherix et al., 2009). Tel que cité auparavant, les CCF alimentés au gaz naturel représentent une solution intéressante pour améliorer les performances énergétiques, des systèmes urbains.

Les CCF sont des systèmes de conversion énergétique, capables de transformer des vecteurs énergétiques (pétrole, gaz naturel, biogaz, hydrogène, etc.) en électricité et en chaleur. Dans cette optique, diverses technologies peuvent être utilisées: des technologies matures (moteur 4 temps, turbine à gaz, cycle combiné gaz-turbine, etc.), mais également de



Figure 1 Couplages chaleur-force du centre de dispatching de Gaznat à Aigle.

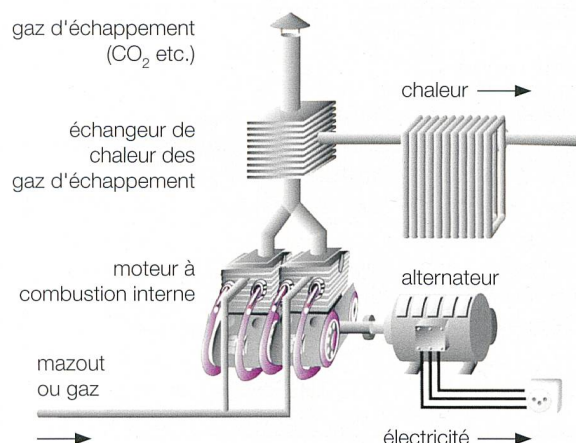


Figure 2 Le fonctionnement du couplage chaleur-force des petites installations est relativement simple : celles-ci produisent de l'électricité grâce à un générateur actionné par un moteur diesel, à gaz ou entraîné au biogaz. La chaleur contenue dans l'eau de refroidissement et les gaz d'échappement du moteur servent en même temps au chauffage.

nouvelles technologies (piles à combustible, moteur Stirling, etc.). Les points forts de ces technologies ne sont pas seulement leur efficacité énergétique globale, mais également leur haute efficacité « exergétique » (seconde loi de la thermodynamique), ce qui signifie que la production combinée de chaleur et d'électricité n'exige qu'une quantité limitée de ressources énergétiques primaires.

Vu leur champ d'application de petite à moyenne taille, et la grande quantité d'expériences menées par les villes, la présente étude de l'impact du déploiement de CCF au niveau local s'est focalisée sur les moteurs 4 temps alimentés au gaz naturel.

« Performances climatiques » de CCF décentralisés

L'impact du déploiement de CCF alimentés au gaz naturel sur les bilans CO₂ territoriaux dépend fortement des systèmes énergétiques auxquels cette nouvelle production s'est substituée : anciens vec-

teurs énergétiques et systèmes de conversion utilisés, composition du mix d'électricité initialement acheté.

Au niveau suisse, le chauffage domestique est assumé par des chaudières à mazout à 60 % et à environ 20 % par des chaudières à gaz naturel (OFEN, 2008). Par conséquent, la production nationale moyenne de chaleur peut être considérée comme fortement chargée en CO₂. Ces technologies de chauffage bénéficient à l'heure actuelle d'une bonne efficacité énergétique, mais produisent encore des pertes importantes en termes d'exergie (2^e principe de la thermodynamique) soit aussi de consommation d'énergie primaire.

De plus, en se basant sur le cahier technique 2031 de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA, 2009), nous pouvons relever que l'électricité consommée en « moyenne » en Suisse est alimentée par de l'hydroélectricité (34 %), de l'énergie nucléaire (41 %), de l'électricité importée (20 %) et des ressources

issues des énergies fossiles et des nouvelles énergies renouvelables (5 %). Cette différence entre l'électricité produite et l'électricité consommée signifie que la moyenne de l'électricité consommée en Suisse est relativement chargée en CO₂ (0,09 kg [CO₂]/kWh) et implique une consommation élevée de ressources : 2,97 kWh d'énergie primaire sont nécessaires pour pouvoir distribuer 1 kWh électrique à la prise chez le consommateur.

Ainsi, dans le cas de la mise en œuvre de CCF pour remplacer des chaudières à mazout et des contrats d'achat d'électricité standard consommée en Suisse, les performances du nouveau système d'approvisionnement en énergie sont améliorées significativement (**tableau 1**) : 39 % d'énergie primaire sont économisés ainsi que 6,2 % des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Cette première analyse semble déboucher sur la conclusion qu'au niveau suisse, le déploiement de CCF à une grande échelle constitue une option prometteuse pour l'amélioration de l'efficacité énergétique globale et pour la réduction des émissions de CO₂. Cette conclusion implique toutefois deux hypothèses : les systèmes de conversion de chaleur substitués sont des chaudières à mazout et l'électricité produite par les CCF remplace un approvisionnement électrique standard suisse. Par conséquent, une régulation nationale pour la promotion des CCF, telle que la rétribution à prix coûtant de l'électricité produite, semble à priori pertinente.

Etude de cas au niveau local

Au niveau d'une ville, d'une zone ou d'un quartier, il est possible de réaliser une étude détaillée d'un système d'approvisionnement existant et ainsi de calculer les bilans initiaux de consommation d'énergie primaire et d'émissions de CO₂. Dès lors, l'impact de la mise en œuvre de CCF décentralisés peut être

Scénarios	Technologie	Consommation d'électricité [kWh]	Consommation de chaleur [kWh]	Consommation d'énergie finale [kWh]	Consommation d'énergie primaire [kWh]	Emissions de gaz à effet de serre [kg CO ₂]
Mazout et électricité du réseau	Chaudière à mazout	0	1000	1250	1550	369
	Electricité suisse	636	0	636	1889	98
	Total	636	1000		3439	467
CCF	CCF (Gaz naturel)	636	1000	1818	2090	438
	Economies				-39 %	-6,2 %

Tableau 1 Comparaison de systèmes d'approvisionnement en énergie pour produire 1000 kWh de chaleur et 636 kWh d'électricité. Les rendements, facteurs d'énergie primaire et d'émissions de gaz à effet de serre sont tirés du CT 2031 de la SIA, version 2009.

clairement identifié. Dans le cadre du projet « Outils innovants pour la conception et le management de systèmes énergétiques en zones urbaines » (Projet MEU) dirigé par l'EPFL, financé par l'Office fédéral de l'énergie et le fond de développement et de recherche de l'industrie gazière (FOGA), et qui fait intervenir le CREM, la HES-SO Valais et quatre villes romandes (La Chaux-de-Fonds, Lausanne, Martigny et Neuchâtel), une étude de cas a été réalisée sur un quartier d'environ 300 bâtiments de l'une de ces trois villes (figure 3).

L'approvisionnement en chaleur de ce quartier est initialement estimé de la manière suivante: 45% de la surface bâtie est alimentée par des chaudières à mazout individuelles; 17% par des chaudières à gaz naturel et 38% par du chauffage à distance. La chaleur distribuée dans cette partie du chauffage à distance est quant à elle produite à 49% à partir de bois, à 41% par des chaudières à gaz naturel et à 10% par les rejets thermiques d'une usine d'incinération des ordures ménagères.

Selon la loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEl) suisse actuellement en vigueur, chaque entreprise distributrice d'électricité doit annoncer à sa clientèle le marquage de l'électricité distribuée. Dans la ville étudiée, l'électricité est composée de la manière suivante (2009): hydroélectricité (à 35%), énergie nucléaire (à 5%), incinération des déchets (3%); électricité importée (57%). L'électricité consommée dans ce quartier peut ainsi être considérée comme plus chargée en CO₂ que la moyenne suisse: 0,34 kg(CO₂)/kWh_{el} contre 0,15 kg(CO₂)/kWh_{el} en Suisse.

Le but de cette étude de cas était d'analyser l'impact, sur les bilans territoriaux énergie-climat, de la substitution des systèmes d'approvisionnement initiaux du chauffage à distance considérés par des moteurs de cogénération alimentés au gaz naturel.

Sur cette base, une analyse de sensibilité a été conduite, afin d'identifier la taille optimale (puis, le pourcentage de substitution du système d'approvisionnement initial) pour minimiser les émissions des CO₂ et/ou la consommation d'énergie primaire à l'échelle du quartier. L'hypothèse suivante a été établie: la mise en œuvre de la cogénération sur le réseau de chauffage à distance remplacerait d'abord les chaudières à gaz naturel, puis la chaudière à bois et finalement l'incinérateur de déchets.

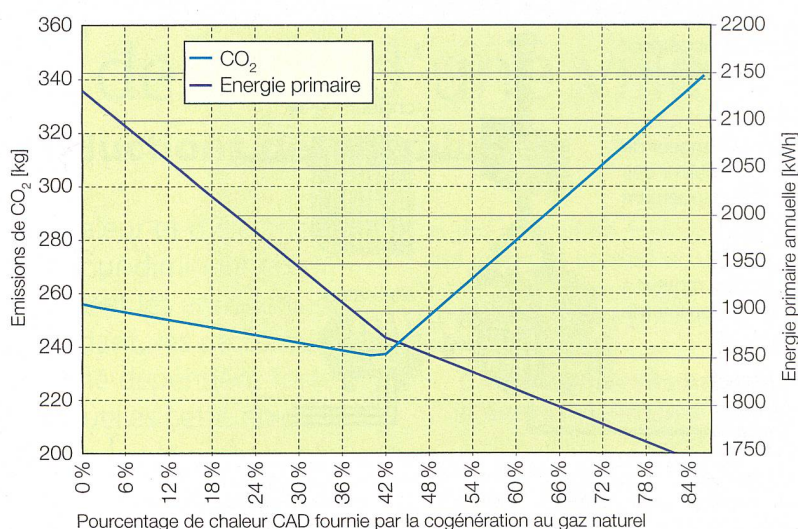


Figure 3 Emissions de CO₂ et consommation d'énergie primaire pour la production d'un MWh de chaleur et de 300 kWh d'électricité: évolution en fonction du pourcentage de chaleur fourni par des unités de CCF.

Cette étude de cas montre à nouveau que le déploiement d'unités de cogénération au niveau local peut améliorer l'efficacité énergétique et climatique de systèmes énergétiques urbains, pour autant que les CCF alimentés au gaz naturel ne remplacent pas des sources d'énergies renouvelables. En effet, la quantité minimale des émissions de CO₂ est obtenue lorsque les CCF remplacent intégralement les chaudières à gaz initiales. Au-delà de ce pourcentage, la consommation d'énergie primaire décroît encore, mais les émissions de CO₂ commencent à s'accroître aussitôt que la chaleur produite par les CCF remplace de la chaleur produite par les chaudières à bois.

La conclusion de cette étude de cas est que la pertinence de la production décentralisée de CCF, utilisant des moteurs 4 temps alimentés au gaz naturel, dépend fortement des conditions initiales et locales. Dans cette optique, il semble que le cadre institutionnel relatif à cette technologie doit être traité de manière aussi décentralisée que les technologies. Même si, dans la majorité des cas, il peut être assumé que l'approvisionnement en électricité est similaire pour tous les clients d'un distributeur et donc pour une ville entière, cela ne sera jamais le cas pour la chaleur. En effet, même à un niveau municipal, un cadre institutionnel général appliquant des règlements standards semble difficilement pouvoir tenir compte de la multitude de

systèmes initiaux d'approvisionnement en chaleur.

Conclusions et perspectives

Comme l'a montré l'étude de cas explicitée plus haut, la pertinence de la mise en œuvre de CCF décentralisés est fortement influencée par les systèmes d'approvisionnements initiaux auxquels les CCF viennent se substituer. Carvalho et al. (2009), obtiennent une conclusion similaire dans leur étude portant sur l'effet des conditions initiales d'approvisionnement en électricité sur les performances économiques et environnementales de systèmes de tri-génération (production de chaleur, de froid et d'électricité).

Cette étude s'est basée sur l'évaluation de systèmes de trigénération dans sept hôpitaux espagnols, en utilisant un modèle de programmation « mixed-integer linear » qui inclue des conditions locales économiques et environnementales pour déterminer les configurations optimales des différentes unités d'approvisionnement énergétique.

Les résultats de ces études ont permis aux auteurs d'en venir à la conclusion suivante: « Les diminutions d'émissions de CO₂ engendrées par le déploiement de CCF dépendent en grande partie du mix local d'approvisionnement en électricité, qui serait substitué » (Carvalho et al, 2009, p. 14). Ces spécificités locales compliquent l'élaboration d'un cadre institutionnel global au niveau national. Dans

le cas espagnol, le gouvernement national a décidé de mettre en œuvre un prix spécial de rachat de l'électricité produite par les CCF, à condition qu'un rendement électrique minimum soit atteint. Néanmoins, d'un point de vue environnemental et notamment en regard des émissions de GES, cette réglementation nationale ne semble pas efficace dans six des sept cas étudiés.

En conséquence, des institutions centralisées ou nationales peuvent élaborer un cadre général visant à la promotion des CCF décentralisés, mais les détails d'application doivent être délégués à des institutions plus décentralisées. En effet, les institutions locales apparaissent comme le niveau pertinent pour développer et mettre en œuvre des politiques énergétiques locales et les réglementations qui leur sont associées, visant à promouvoir le déploiement de CCF décentralisés tout en édictant des conditions spécifiques en fonction des systèmes d'approvisionnement existants.

Finalement, la rentabilité de tels systèmes combinés de production chaleur-force n'est pas systématiquement atteinte, particulièrement si le propriétaire et l'opérateur de cette unité est un multi-distributeur d'énergies. Le prix d'achat de l'électricité de base peut dans ce cas être plus bas que le coût de production produit par les CCF. Dans ce contexte, les technologies de l'information et de la communication peuvent être employées pour contrôler l'opération des unités CCF, visant à produire de l'électricité

lorsque les prix d'achat sont élevés (du type services système). Un tel contrôle proactif de la production énergétique d'usines CCF, même s'il est interdit par certaines réglementations en raison de la priorité accordée à la demande et à la valorisation de la chaleur, fait l'objet d'importants programmes de recherche dans le domaine des réseaux intelligents. Ces recherches se concentrent tant sur les aspects technologiques que sur les aspects institutionnels qui permettront de déployer massivement ces technologies.

Zusammenfassung Wirkung von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen auf den CO₂-Ausstoss **Institutioneller Rahmen der dezentralen Produktion**

Die dezentrale Erzeugung von Wärme und Elektrizität in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen scheint ein geeignetes Vorgehen, um den Verbrauch von Primärenergie und die CO₂-Emissionen in einem bestimmten Gebiet zu verringern. Allerdings hängen die Auswirkungen eines solchen Systems auf die Umwelt stark von der Energiequelle ab, welche durch die Anlage ersetzt wird. Auch wenn die regulatorischen Rahmen für die Errichtung von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen auf nationaler Ebene festgelegt werden, so sollten die Details idealerweise dennoch auf lokaler Ebene geklärt werden.

Gn

Références

- Carvalho, M., Serra, L. M., Lozano, M. A. (2009). Geographic evaluation of trigeneration systems in the tertiary sector. Effect of climatic and electricity supply conditions. 5th Dubrovnik Conference on sustainable development of energy, water and environment systems (p. 14). Dubrovnik : SDEWES.
- Cherix, G., Capezzali, M., Chapuis, A., Püttgen, H. B., Finger, M. (2009). Actions and Influence of The Multiple Decision Levels Over the Whole Energy Chain. 5th Dubrovnik Conference on sustainable development of energy, water and environment systems. Dubrovnik.
- European Commission, Covenant of Mayors (2010), « Key role for local authorities », www.eumayors.eu/about_the_covenant/key_role_for_local_authorities_en.htm, accessed 15 January 2010.
- International Energy Agency, IEA (2008). World energy outlook 2008. OECD.
- Office fédéral de l'énergie, OFE (2008). Analyse der schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken. Bern.
- Société suisse des ingénieurs et architectes, SIA, (2009). Certificat énergétique des bâtiments, CT 2031. Zürich.

Indications sur l'auteur

Gaëtan Cherix est directeur du Centre de Recherches Énergétiques et Municipales (CREM), basé à Martigny. Il a obtenu un Master à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en 2005 en génie mécanique. Il s'est spécialisé dès le deuxième cycle de sa formation dans les domaines de l'énergie et de la thermodynamique. Ses intérêts de recherche se concentrent sur les systèmes énergétiques en zones urbaines (demande et approvisionnement), les changements climatiques, ainsi que les politiques publiques et le cadre législatif s'y rapportant.

Remerciements : M. Akbar Nour, Chef de projet responsable du secteur CREM informations, pour ses efforts de traduction de la version anglaise de cet article.

Centre de Recherches Énergétiques et Municipales (CREM), 1920 Martigny, gaetan.cherix@crem.ch

Anzeige

Revue de Presse Electronique

En partenariat avec ARGUS, l'AES propose chaque jour ouvrable une sélection de 15 à 20 articles de presse en format PDF, envoyée par email avant 11h30.

Cette prestation vous offre une vue synthétique unique de l'actualité énergétique locale, nationale et internationale. Réservée aux membres de l'AES, la revue de presse existe en deux versions différentes, pour la Romandie et pour la Suisse alémanique.

Demandez un essai gratuit durant deux semaines.

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Association des entreprises électriques suisses
Associazione delle aziende elettriche svizzere

www.strom.ch
www.electricite.ch

VS
AES