

Valorisation de la chaleur renouvelable et fatale dans les réseaux thermiques

Bilan et enjeux de l'interconnexion des réseaux
CADIOM (déchets) et CADSIG (gaz)

*Loïc Quiquerez
Jérôme Faessler*

29 avril 2016

*Groupe Systèmes Energétiques
Institut Forel/Institut des Sciences de l'Environnement
Université de Genève*

loic.quiquerez@unige.ch
jerome.faessler@unige.ch
www.unige.ch/energie

Le projet REMUER

Quels rôles peuvent jouer les réseaux thermiques pour décarboner le système énergétique ?

OBJECTIFS DU RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA LIAISON CADIOM-CADSIG

- Etablir le bilan énergétique du système complet et analyser son fonctionnement en détail
- Analyser les coûts de la substitution d'énergie fossile
- Evaluer l'effet de scénarios alternatifs/évolutifs concernant l'évolution de la demande et des ressources

PLAN

- Bilan technique et économique de la connexion: analyse sur une année complète
- Enjeux futures liés aux réseaux thermiques analysés

Rapport complet téléchargeable sur internet:
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:77547>

Contexte

Dès 1963: réseau **CADSIG** alimenté par des chaudières **gaz**

2014: 34km – 250 GWh/an

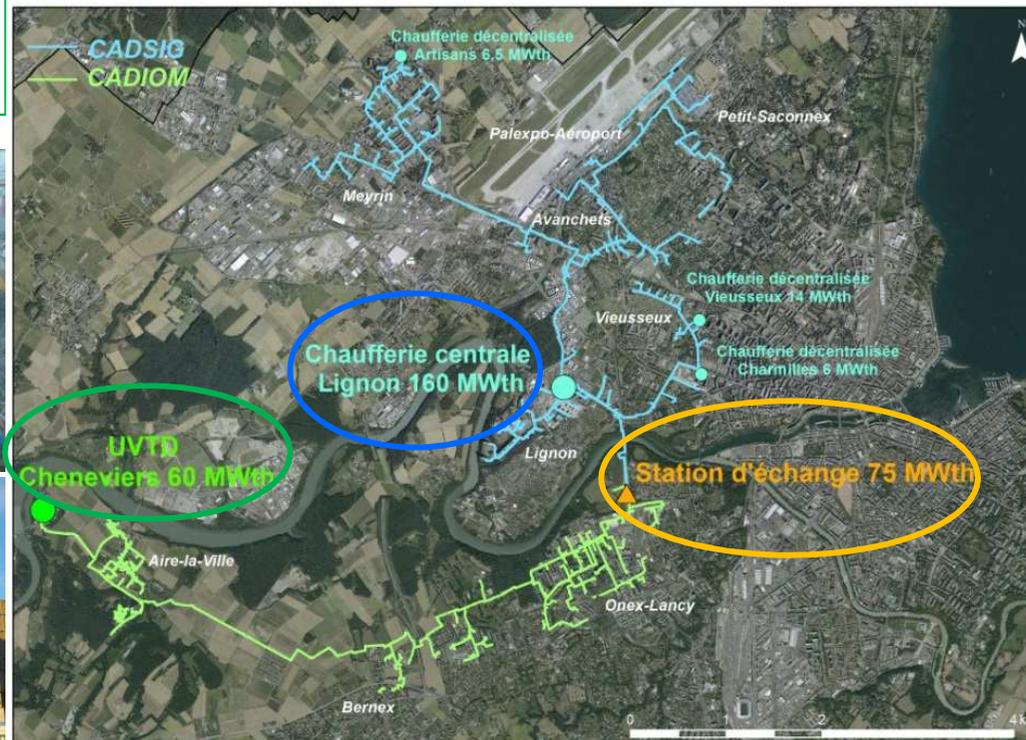
Dès 2002: réseau **CADIOM** alimenté par la chaleur produite à l'usine d'incinération des **déchets**

2014: 24km – 155 GWh/an



2012: **Interconnexion** pour:

- **Récupérer l'excès de chaleur** de l'UVTD en mi-saison et en été pour alimenter CADSIG
- Fournir la **chaleur de pointe** à CADIOM en hiver
- **Secourir CADIOM** en cas de panne à l'UVTD

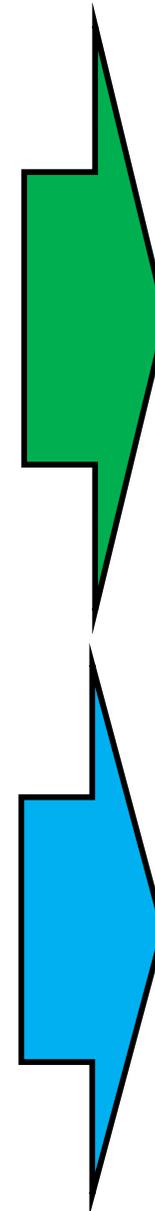


Chaleur fatale de l'UVTD

- Chaleur produite en ruban, **difficilement stockable**
- Ressource considérée à **50% renouvelable**
- Chaleur rejetée dans l'environnement si elle n'est pas récupérée ► **100% chaleur de récupération**
 - Emissions $\text{CO}_2 = 0$
 - Energie primaire = 0
- Coût de production marginal faible (« déchet d'une autre activité »)

Chaudières gaz

- Production **facilement modulable** pour répondre à la demande
- Energie **fossile** ► émissions de CO_2
- Dépendance de l'**étranger**
- Coûts d'investissements dans les infrastructures relativement faibles (densité énergétique du fossile)
- C'est surtout **l'énergie qui coûte** (gaz)



Intérêt énergétique et économique à être valorisée au maximum:
énergie de ruban

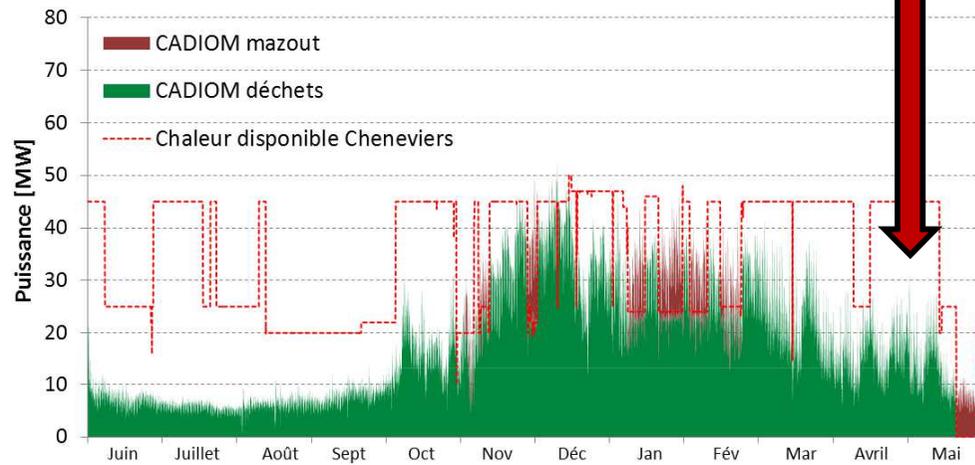
 **Complémentarité**
fossile/renouvelable

Utile pour répondre au besoins en période de forte consommation:
énergie de pointe

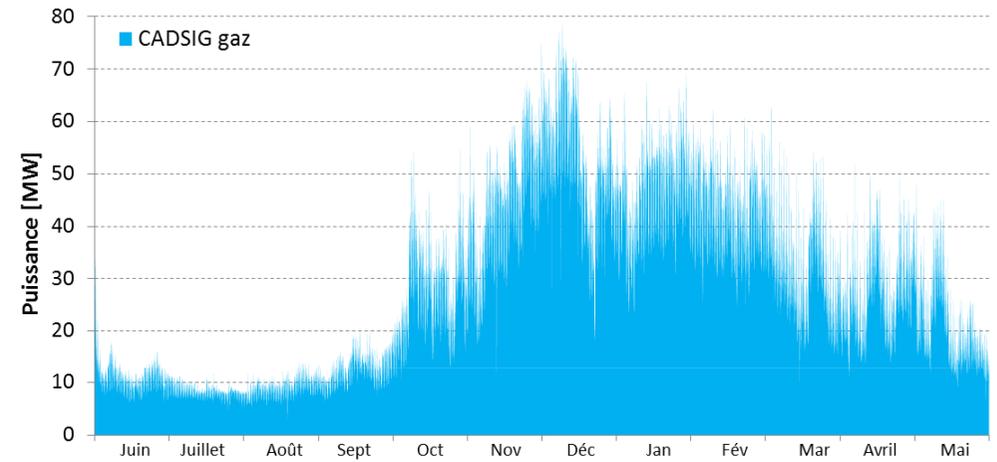
Approvisionnement thermique

Avant la connexion

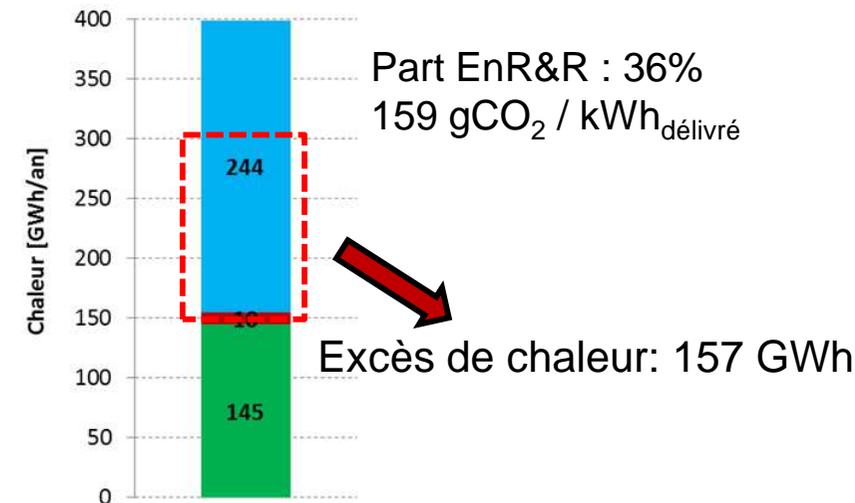
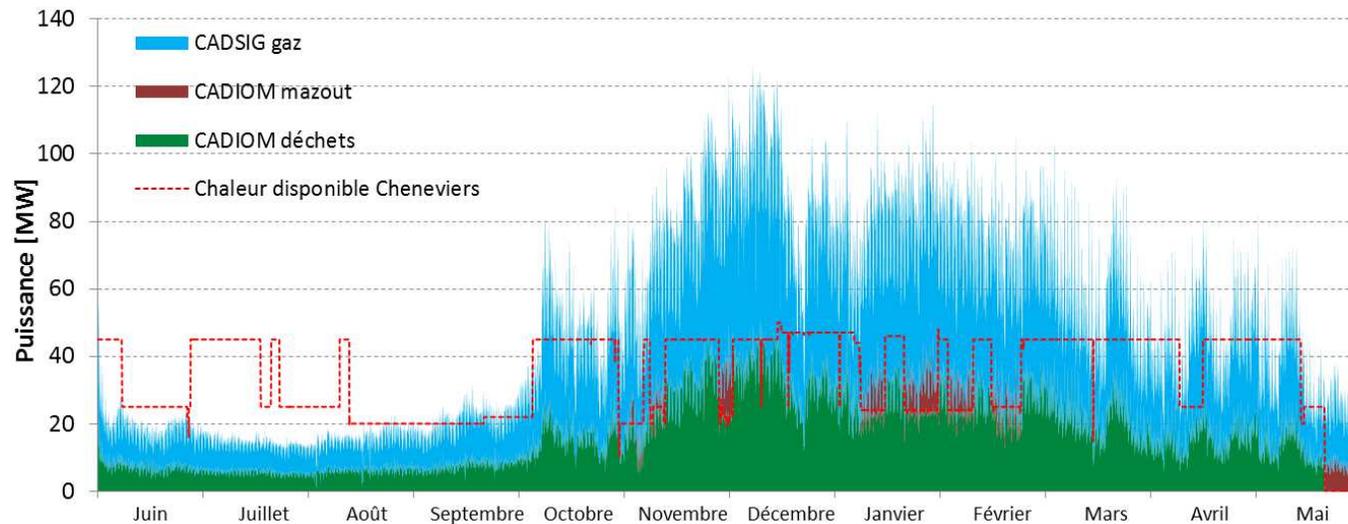
CADIOM



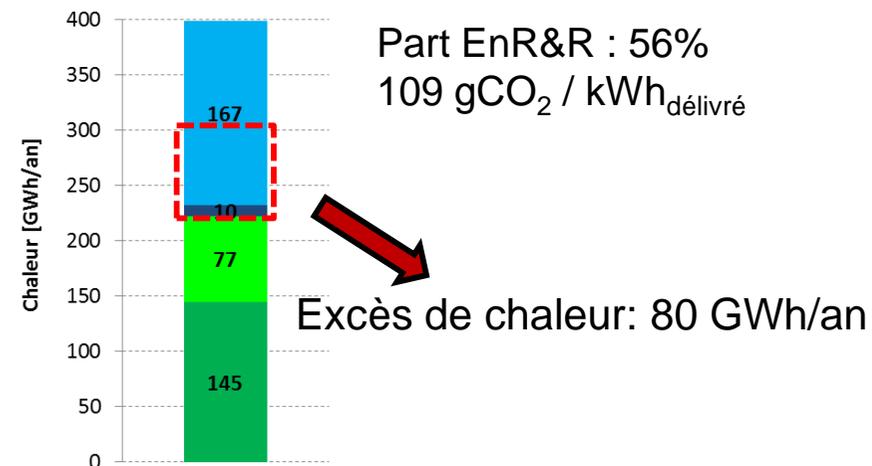
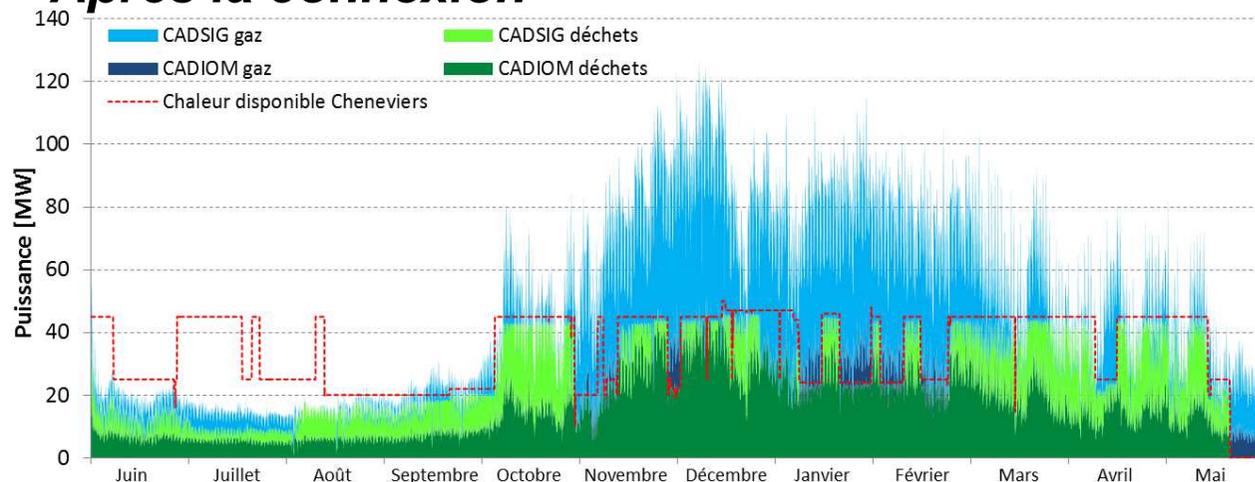
CADSIG



CAD total



Après la connexion



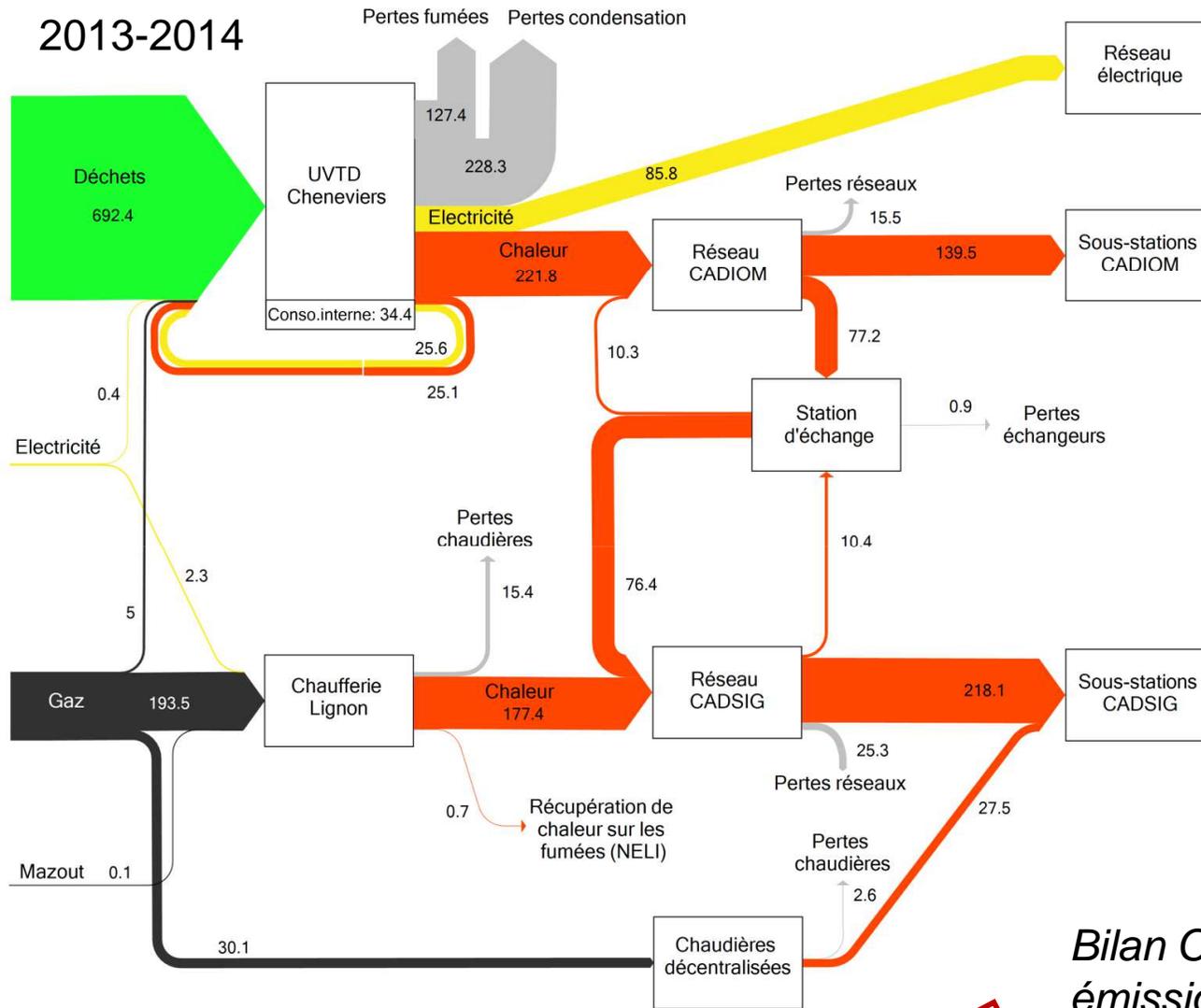
- Optimisation de la **valorisation thermique des déchets en ruban**
- Renforcement de l'utilisation du **gaz** comme **énergie de pointe**

Deux constats:

- Encore du **potentiel**, essentiellement **en été**
- En **hiver**, la ressource est **bien valorisée**
-> intérêt pour la rénovation énergétique

Bilan énergétique du système

2013-2014



Différence avec/sans connexion en GWh/an:

Input déchets	0
Récupération de chaleur fatale	+ 77
Production électrique	- 15
Rejets thermiques	- 62
Input gaz	- 72
Input mazout	- 12

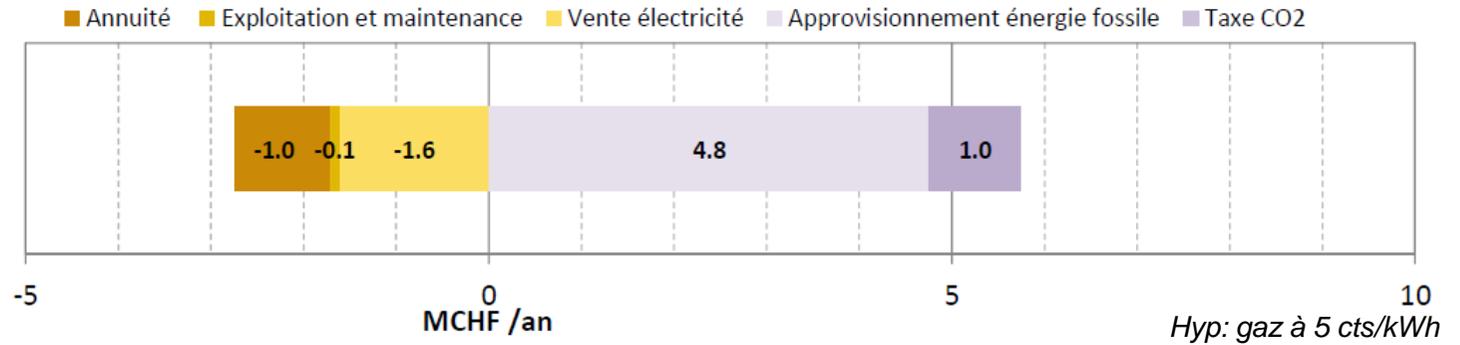
Bilan CO₂ local : -18 ktCO₂/an (1.7% des émissions annuelles du canton pour le chauffage)

Equivalents CO₂:
820 camions-citernes par année!

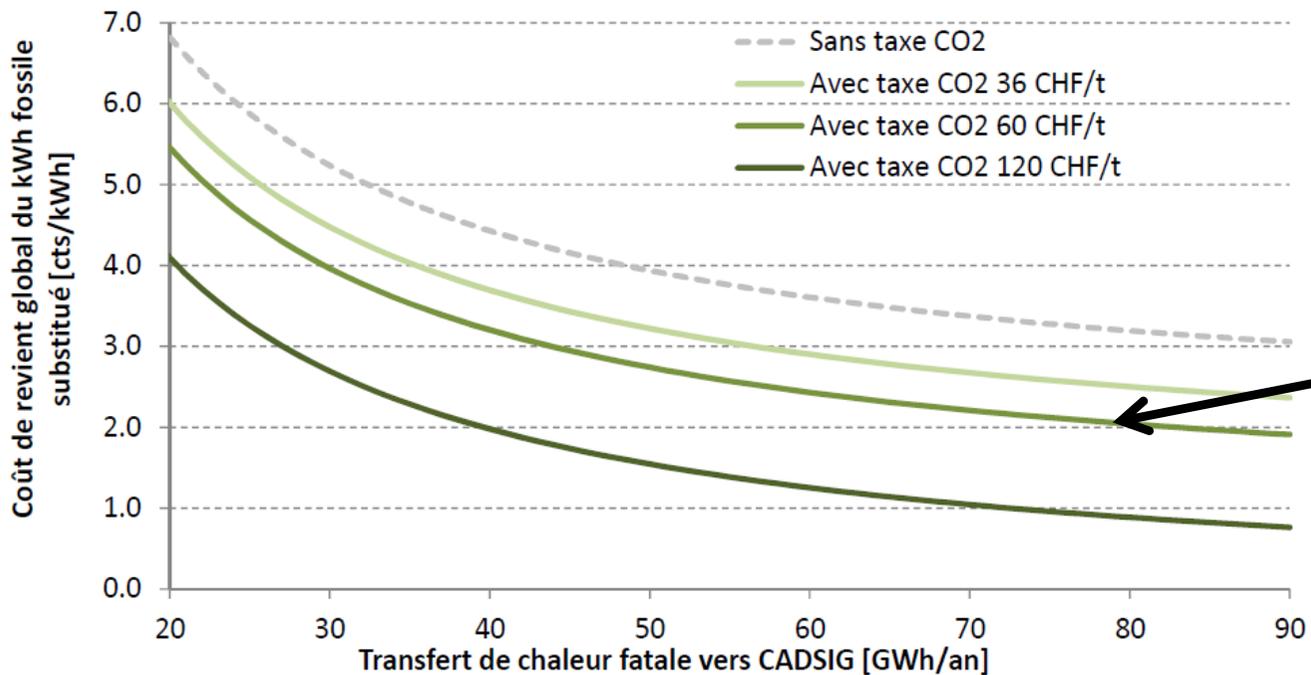
Aspects économiques

- Investissement réalisé par SIG: 20 Millions CHF (station d'échange + conduites à distance)

- Bilan global positif



- Coût de revient global du kWh fossile substitué grâce à la connexion (C)



Coût du kWh fossile substitué: environ 2 cts/kWh

Quelques **enjeux futures** liés aux réseaux étudiés:

- Extension du réseau
- Rénovation énergétique des bâtiments
- Intégration de nouvelles capacités de production

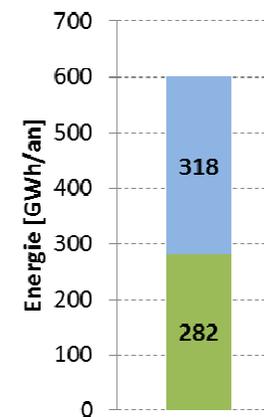
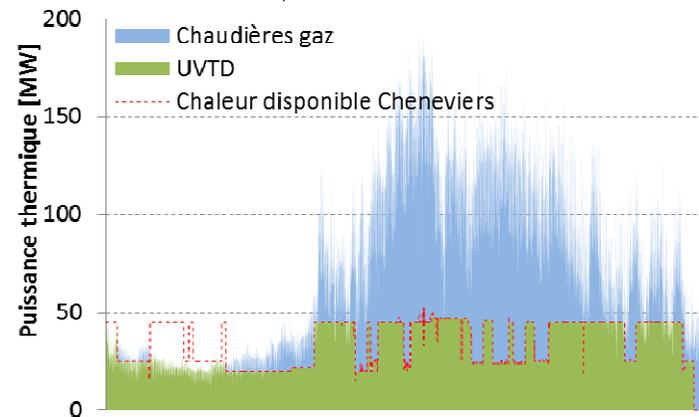
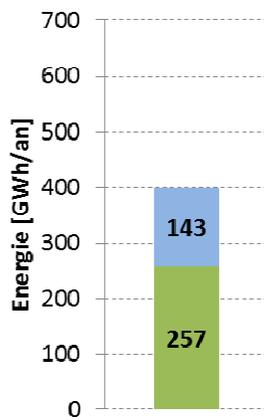
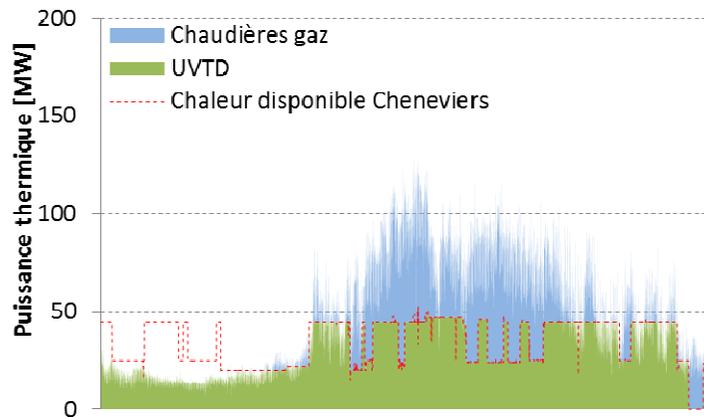
Concurrence/Synergie ?
Quels impacts sur les ressources ?

Pour évaluer **les effets globaux d'action locales**,
il est désormais nécessaire de :

- Considérer le **mix chaleur de l'ensemble** du réseau
- Prendre en compte la **production marginale**
(comparaison offre disponible – demande)
- Prendre en compte la **dynamique temporelle**

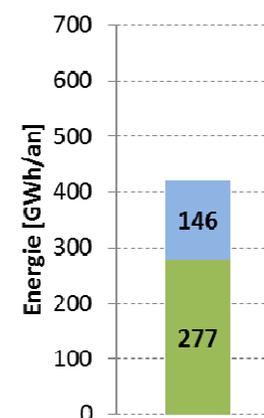
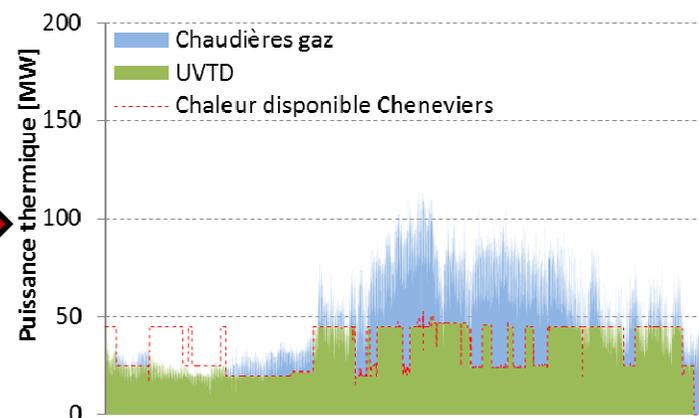
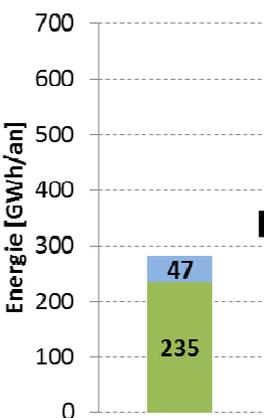
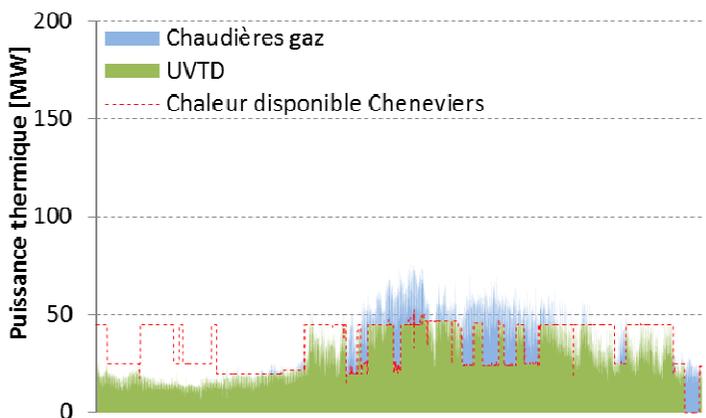
Extension CAD / rénovation des bâtiments

Extension (+150%)



Taux de récupération = 85% (257/302GWh)
Mix réseau (part déchets) = 65% (257/400GWh)

Taux de récupération
Mix réseau
+ Place pour de nouvelles ressources



Taux de récupération
Mix réseau



Taux de récupération
Mix réseau



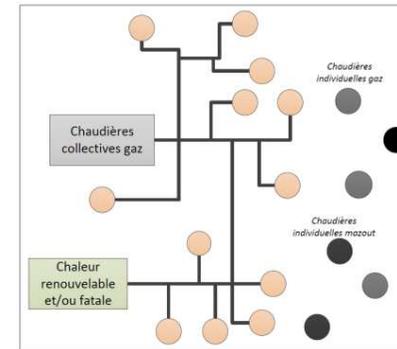
Rénovation (-50% chauffage)



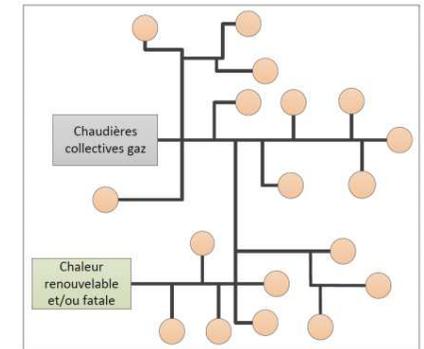
Scénarios: extension CAD / rénovation des bâtiments

8 scénarios évalués sur un périmètre de référence

	Ressources actuelles	Nouvelles ressources (+22MW en ruban)
Demande actuelle	<i>Ref</i>	<i>Ress</i>
Extension du réseau (150%)	<i>Ext150</i>	<i>Ext150+Ress</i>
Rénovation des bâtiments (-50% sur le chauffage)	<i>Ren50</i>	<i>Ren50+Ress</i>
Extension du réseau et rénovation des bâtiments	<i>Ext150&Ren50</i>	<i>Ext150&Ren50+Ress</i>

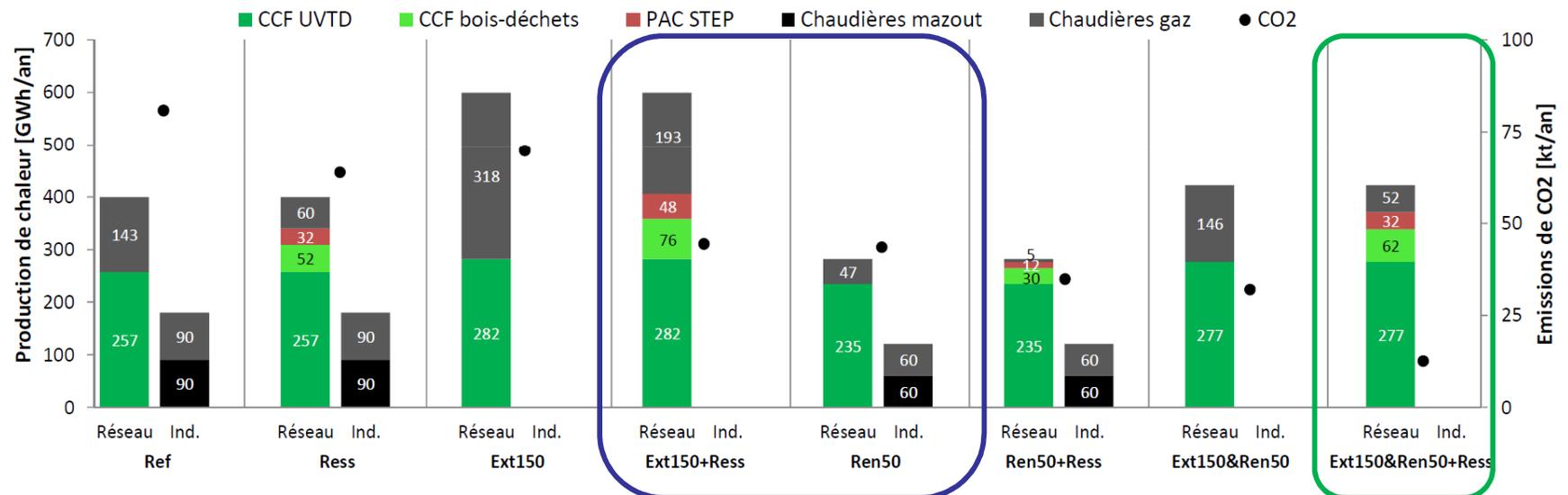


(a) Réseau actuel



(b) Extension de réseau de 150%

Résultats



Scénario le plus performant (CO2): action sur l'offre et sur la demande

- La rénovation des bâtiments -> améliore du mix du réseau
- Une extension du réseau -> améliore la valorisation des ressources renouvelables et fatales locales



Investissements: trouver le juste dosage entre les investissements dans le système d'approvisionnement et les investissements dans les économies d'énergie au niveau du bâtiment

Bilan de la connexion

- **Réussite** d'un point de vue technique-énergétique-économique
- Ouvre de nouvelles **perspectives de développement** du CAD
- Confirme l'intérêt d'**interconnecter les réseaux** pour favoriser la valorisation de la **chaleur renouvelable/fatale locale**
- Illustre la **flexibilité** qu'offrent les CAD (basculement de nombreux consommateurs)

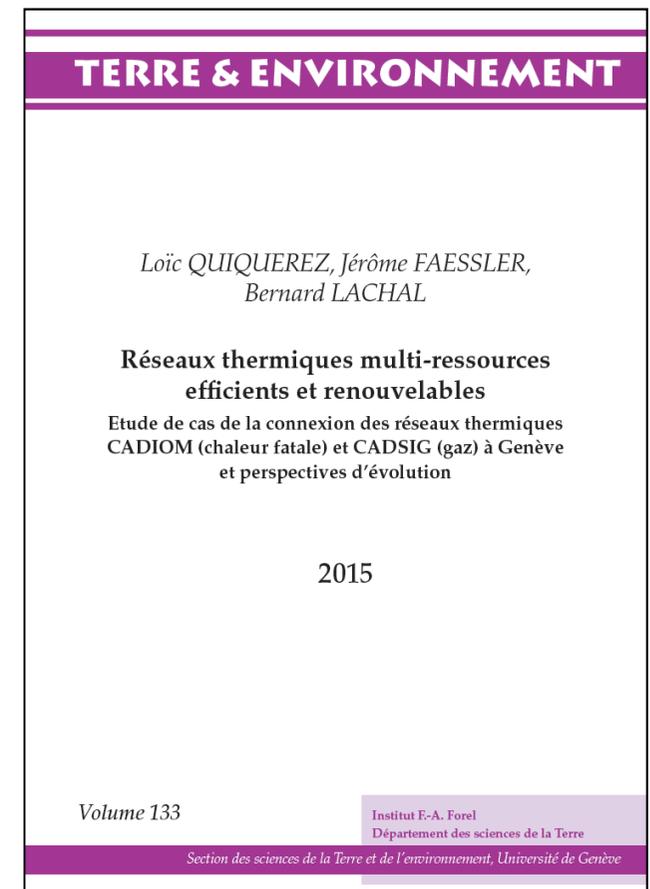
Quelques enjeux futurs

- Développer les CAD en **complémentarité à la rénovation** des bâtiments : réflexions à mener pour prioriser/zoner le territoire ? (densité, localisation des ressources)
- **Concurrence** CAD – réseau gaz : zonage du territoire ?
- **Intégrer de nouvelles ressources** renouvelables: concurrence pour l'accès au ruban
- Développer le **stockage saisonnier** ?

Merci de votre attention !

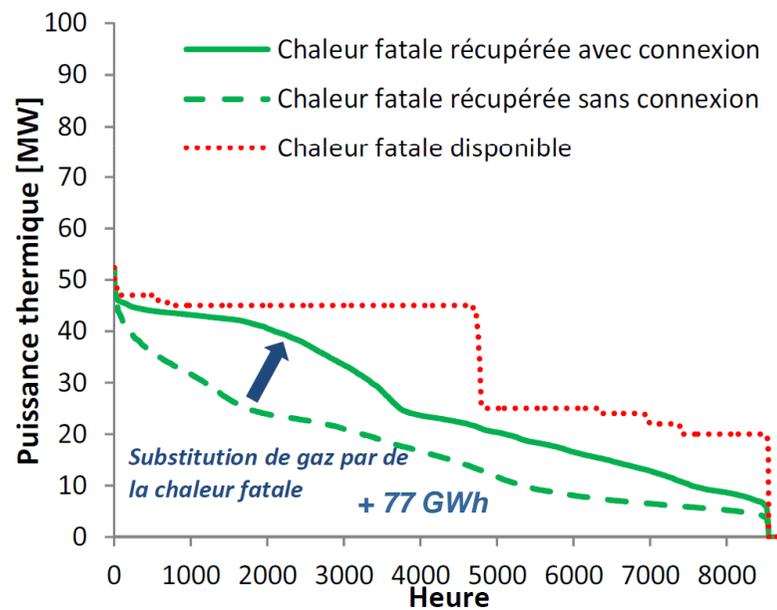
Place aux questions

Rapport complet téléchargeable sur internet:
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:77547>

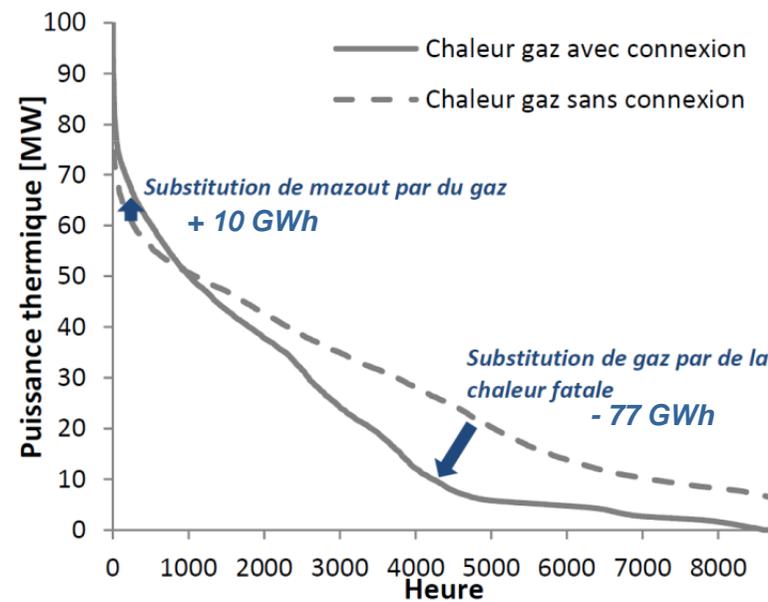


Après la connexion

- Optimisation de la **valorisation thermique des déchets en ruban**

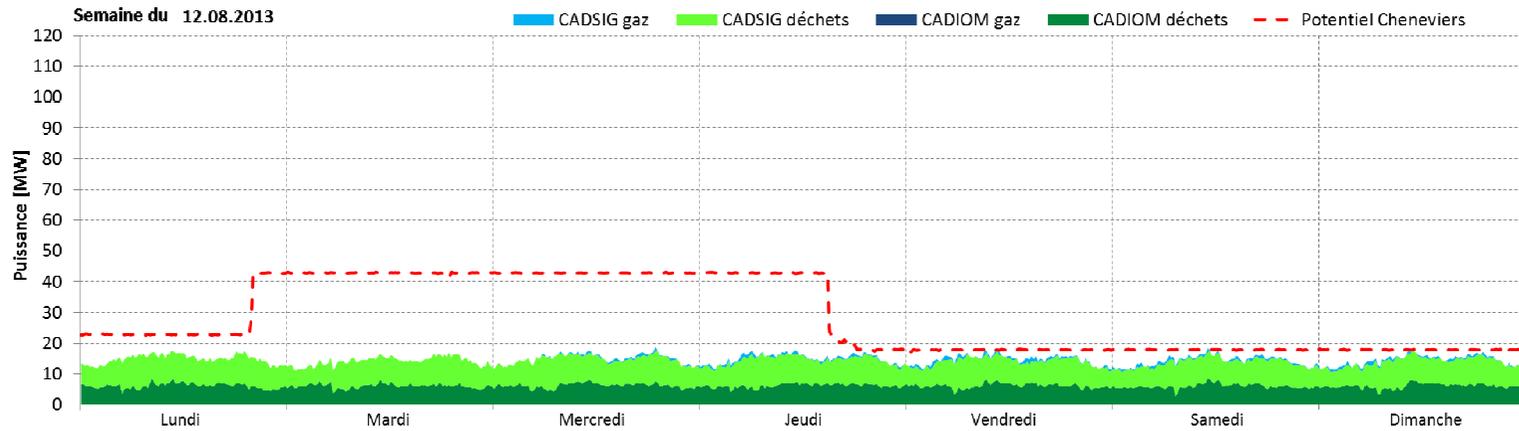


- Renforcement de l'utilisation du **gaz comme énergie de pointe**

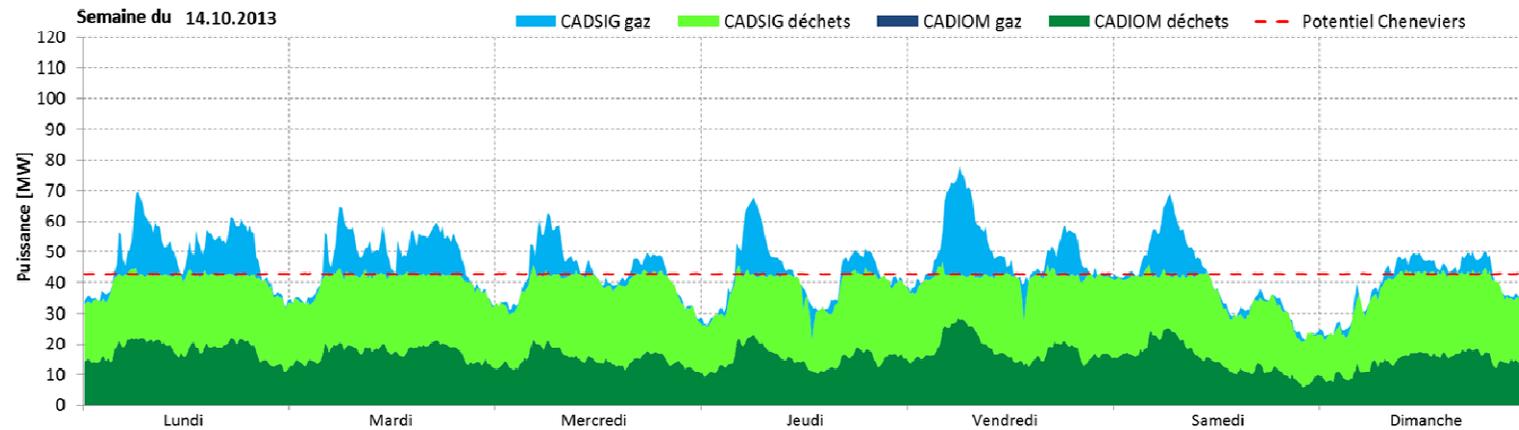


Approvisionnement thermique

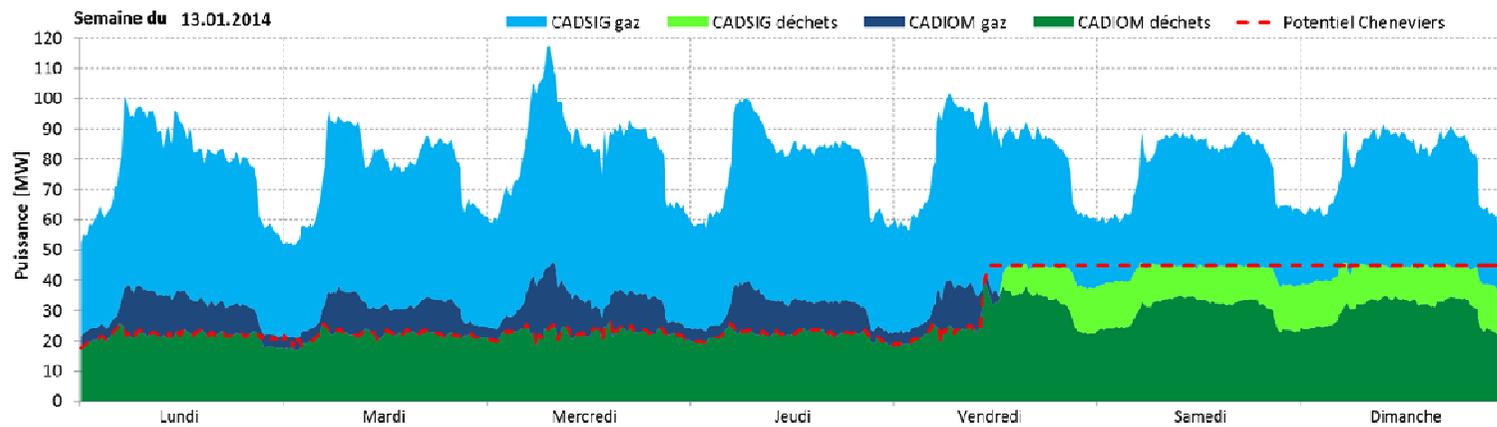
Été



Mi-saison



Hiver



Le mix chaleur: enjeux de périmètres

- Mix chaleur annuel sur les réseaux et contenu CO₂

	Chaleur fatale %	Chaleur gaz %	Contenu CO ₂ gCO ₂ /kWh _{dél}
CADIOM	93.3	6.7	16.5
CADSIG	31.4	68.6	168.7
CAD TOTAL	55.6	44.4	109.3



La chaleur fatale est prioritairement donnée à CADIOM (d'un point de vue physique et contractuel)

-  Périmètre système énergétique > périmètre contractuel, économique et administratif (commune)
- La connexion a modifié les enjeux énergétiques des deux côtés
 - **Les actions énergétiques sur l'un ou l'autres réseaux ont désormais les même impacts sur les ressources au niveau global**
- Les effets énergétiques peuvent être «délocalisés» (si périmètre contractuel considéré)
 - la rénovation de bâtiments sur CADIOM n'améliore pas le bilan CO₂ des communes alimentées par CADIOM, mais celles alimentées par CADSIG
 - le raccordement de nouveaux bâtiments sur CADIOM péjore le bilan CO₂ des communes alimentées par CADSIG
- Un seul mix commun = meilleur indicateur d'un point de vue énergétique
→ problème: accepter de partager le renouvelable, enjeux contractuels
- A qui appartiennent les ressources ? Déchets, eaux-usées...

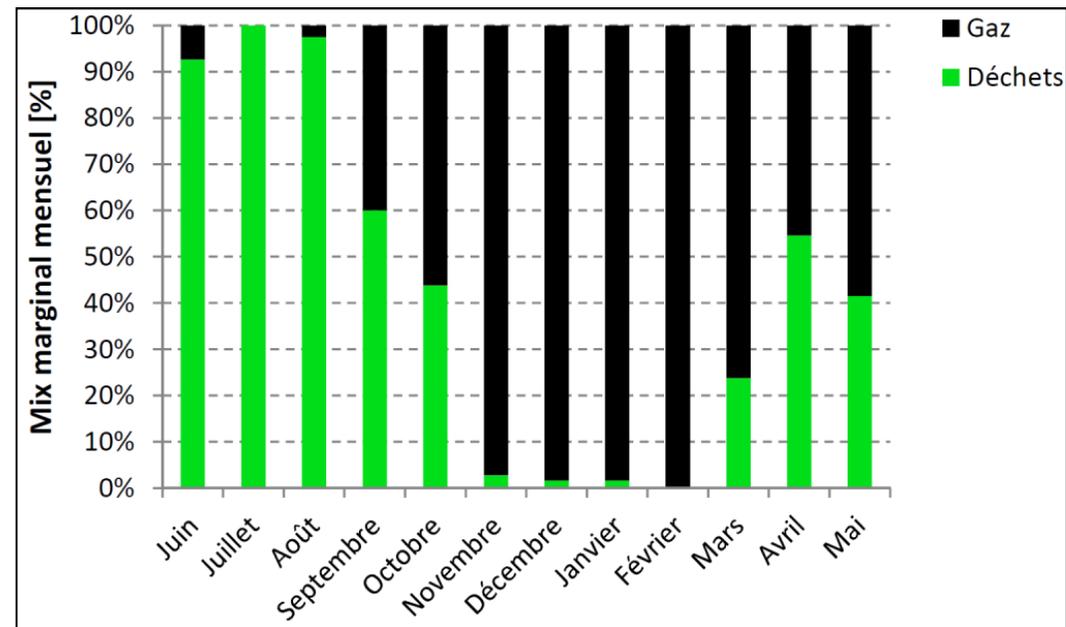
Quelques **enjeux futures** liés aux réseaux étudiés:

- Extension du réseau
- Rénovation énergétique des bâtiments
- Intégration de nouvelles capacités de production

Concurrence/Synergie ?
Quels impacts sur les ressources ?

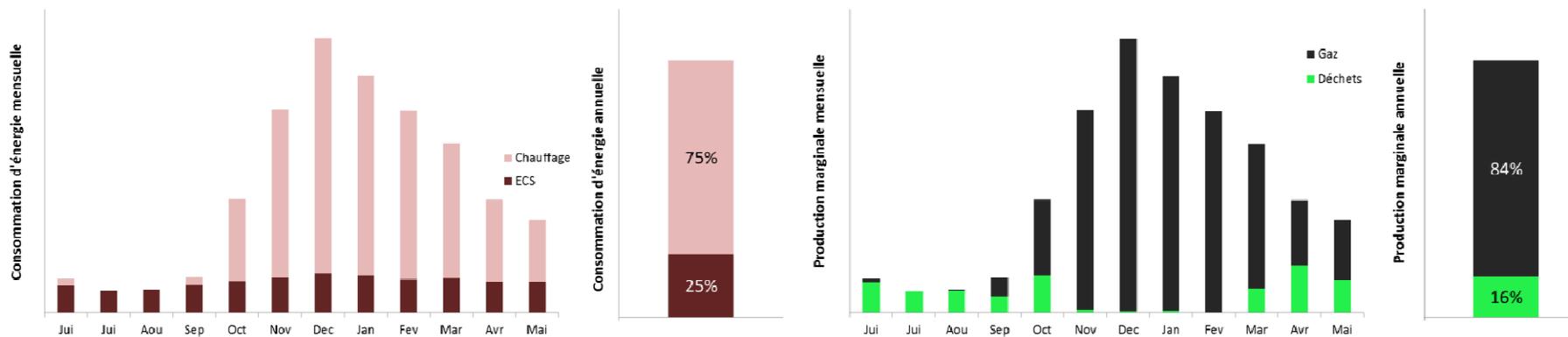
Pour évaluer **les effets globaux d'action locales**, il est désormais nécessaire de :

- Considérer le **mix chaleur de l'ensemble** du réseau
- Prendre en compte la **production marginale** (comparaison offre disponible – demande)
- Prendre en compte la **dynamique temporelle**

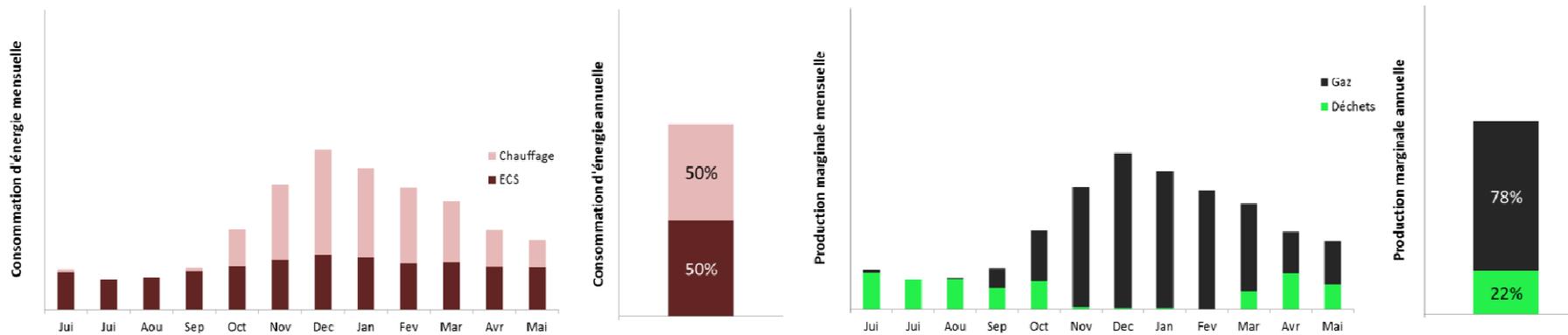


Enjeux futures

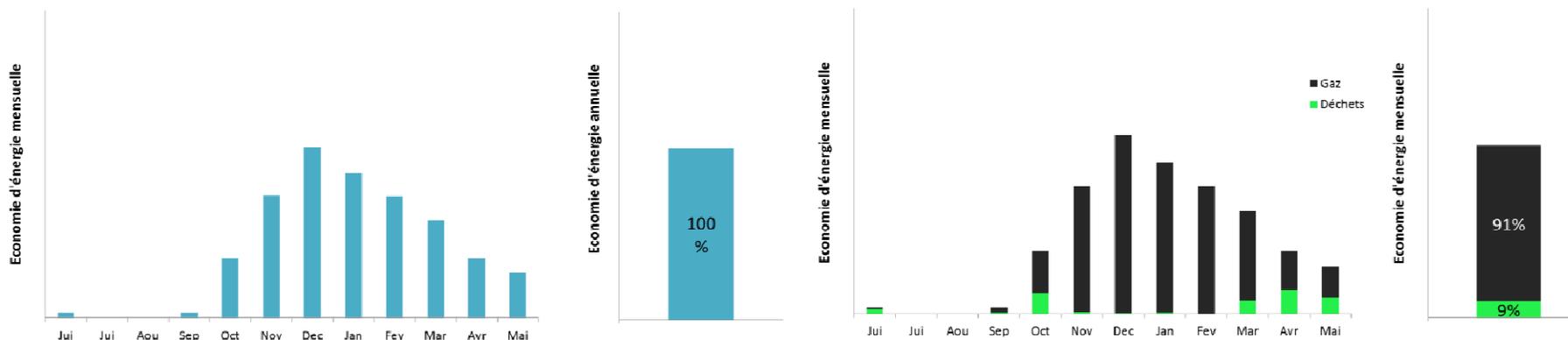
1. Raccordement d'un bâtiment ancien



2. Raccordement d'un bâtiment neuf



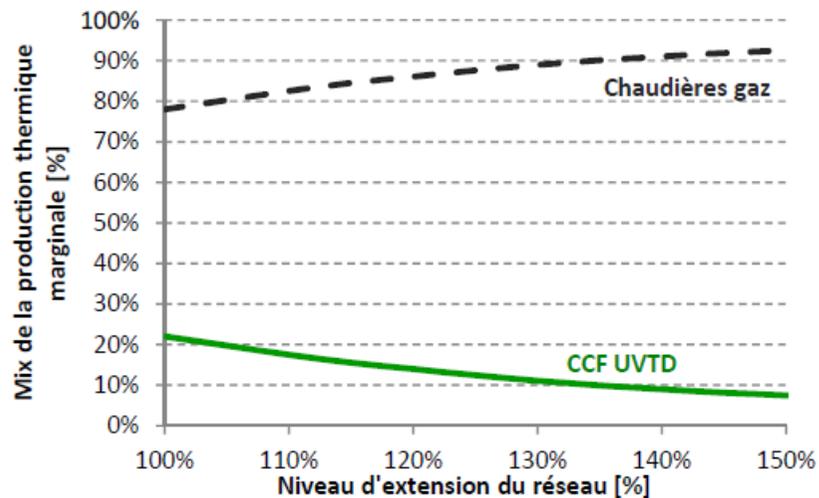
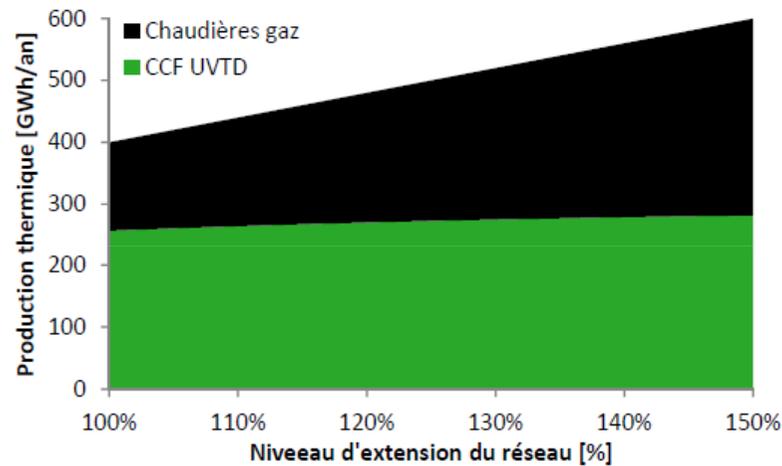
3. Rénovation d'un bâtiment



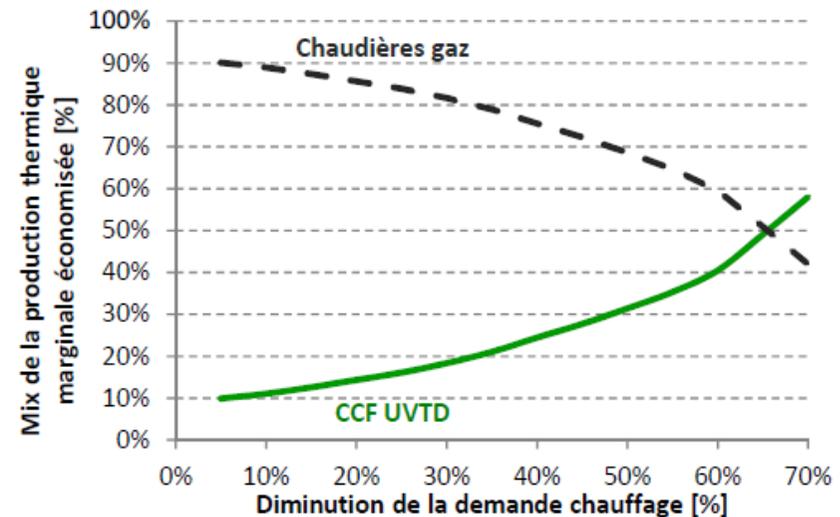
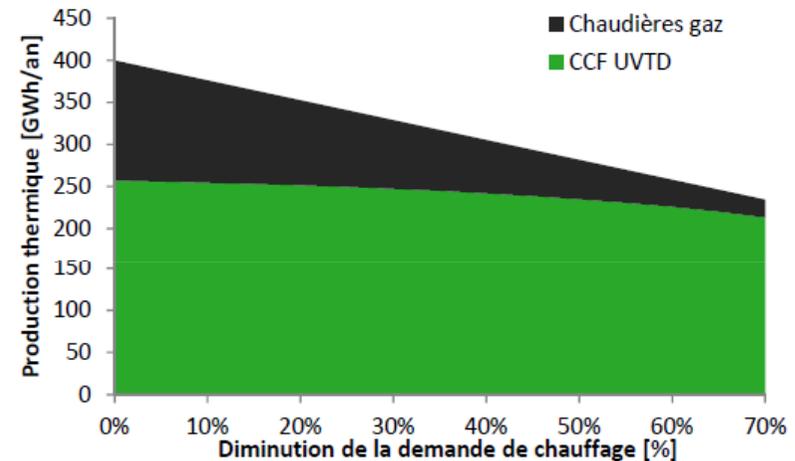
Aspect évolutif

Extension de réseau

(profil de la nouvelle demande = profil actuel du réseau)

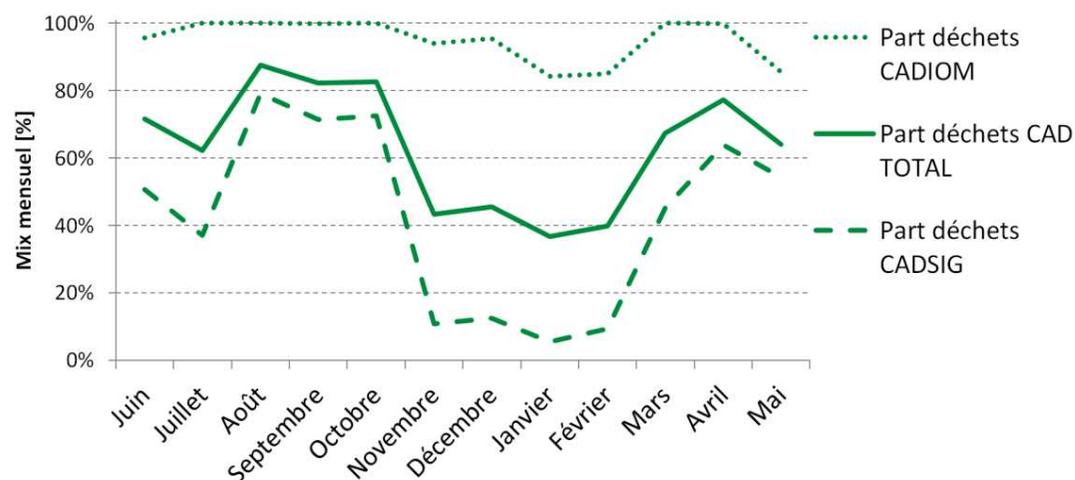
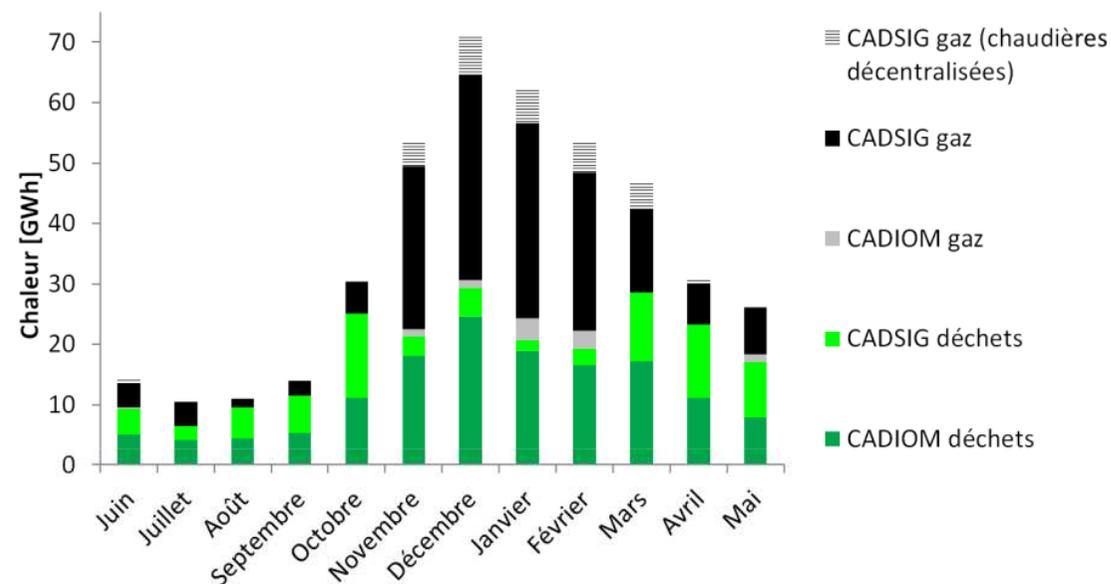


Diminution de la demande de chauffage



Le mix chaleur: enjeux de temporalité

- Variation mensuelle du mix chaleur du réseau



Pour déterminer le mix de l'approvisionnement d'un bâtiment alimenté par le réseau

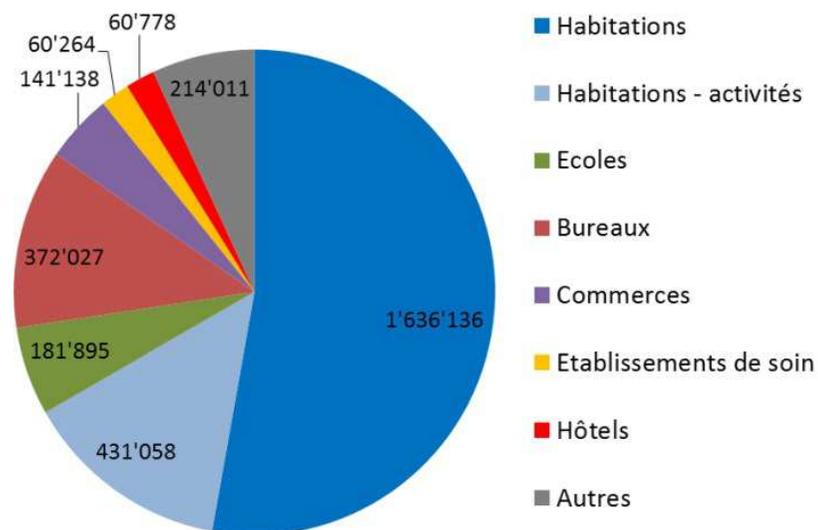
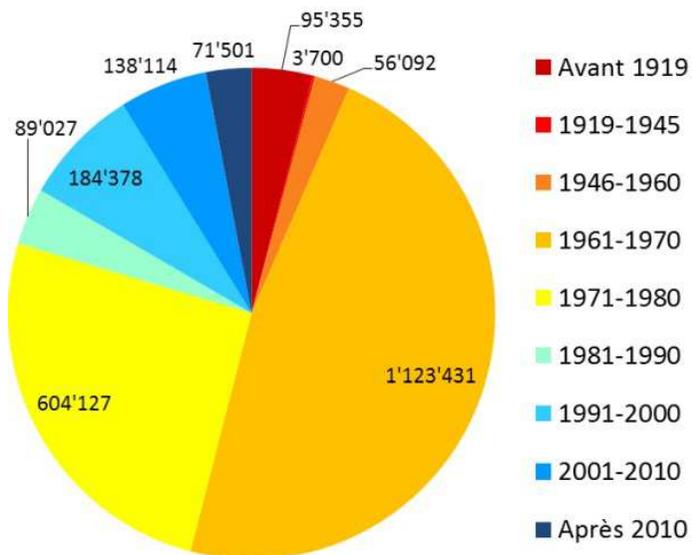


Pondérer les mixes mensuelles du CAD par les consommations mensuelles du preneur de chaleur

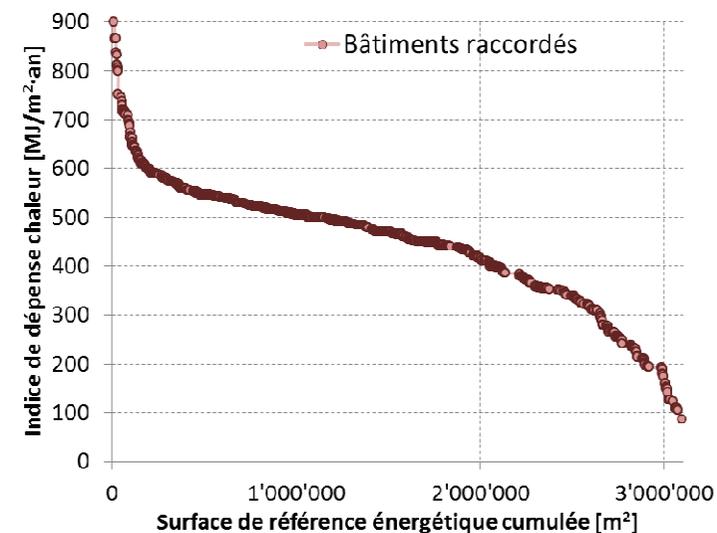
Exemple:

1. Bâtiment ancien
2. Bâtiment neuf
3. Demande en ruban

Répartition des surfaces selon l'époque de construction et la destination (en m²)



IDC (consommation par m² chauffé)

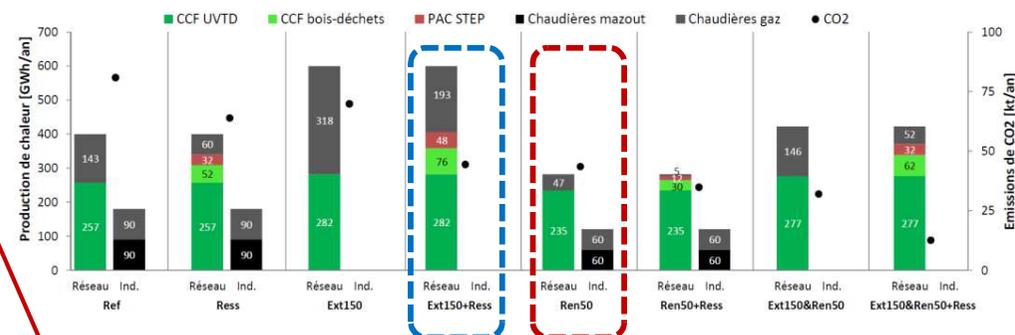


Scénarios : évaluation économique sommaire

REN50	Invest. (MCHF)	Durée (ans)	MCHF/an
Rénovation MIN (450 CHF/m ²)	2'000	50	40
Rénovation MAX (900 CHF/m ²)	4'000	50	80

EXT150+RESS	Invest. (MCHF)	Durée (ans)	MCHF/an
Réseau distr. MIN (30km à 1000CHF/m)	30	30	1
Réseau distr. MAX (40km à 2000CHF/m)	80	30	2.6
Install. production MIN (y.c.raccord CAD)	20	15 (30 pour conduites)	0.9
Install. production MAX (y.c.raccord CAD)	30	15 (30 pour conduites)	1.6
Coûts variables additionnels MIN	-	-	+ 3.5
Coûts variables additionnels MAX	-	-	+ 6
Investissements + coûts variables additionnels MIN	-	-	5.5
Investissements + coûts variables additionnels MAX	-	-	10

Evaluation approximative des coûts de 2 scénarios « extrêmes »



Facteur 4 à 15

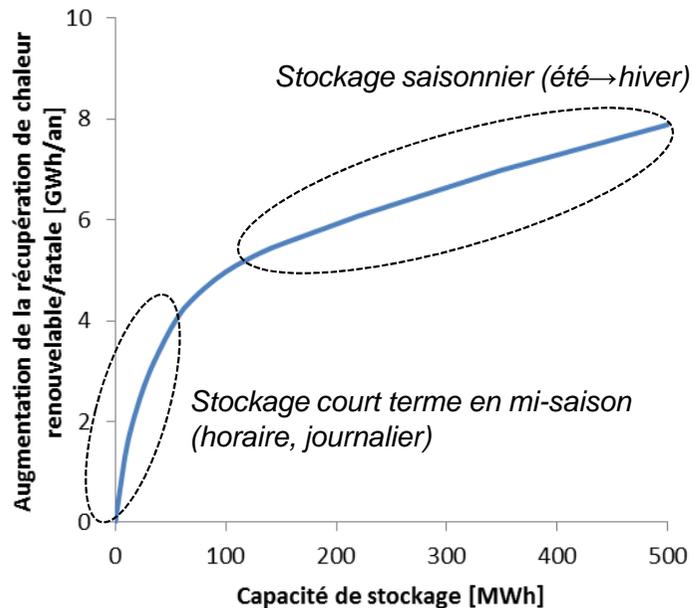
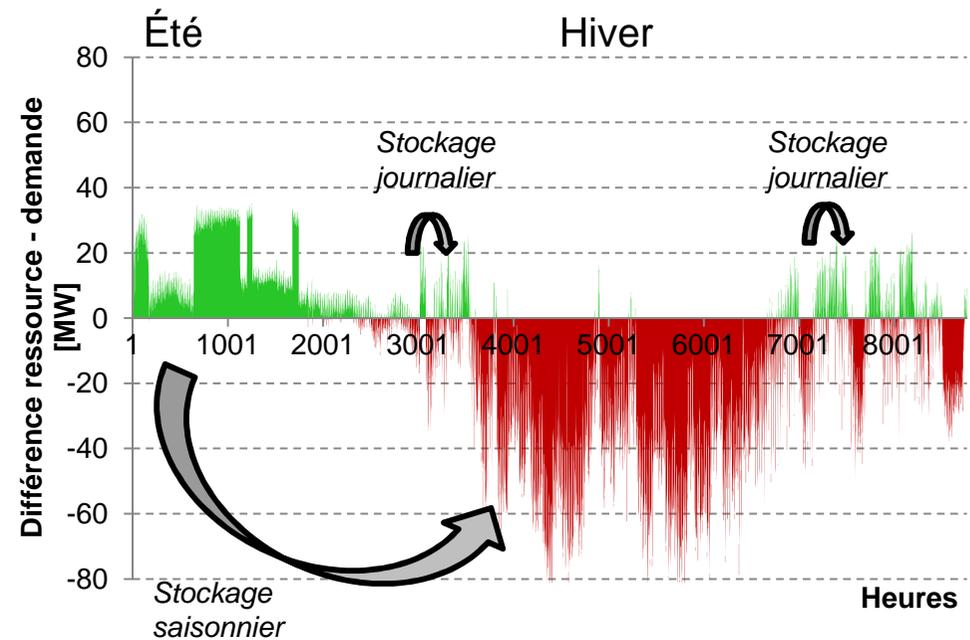


- Surcoût lié à l'amélioration de la performance énergétique
- Pérennité des ressources
- Coût de la chaleur fatale (gestion des déchets, gestion des eaux-usées...)
- Manque de maturité dans la rénovation

Voir Projet ONEX RENOVE en cours
(Ville d'Onex, OCEN, Signaterre, HEPIA, UNIGE)

Stockage: potentiel "brut"

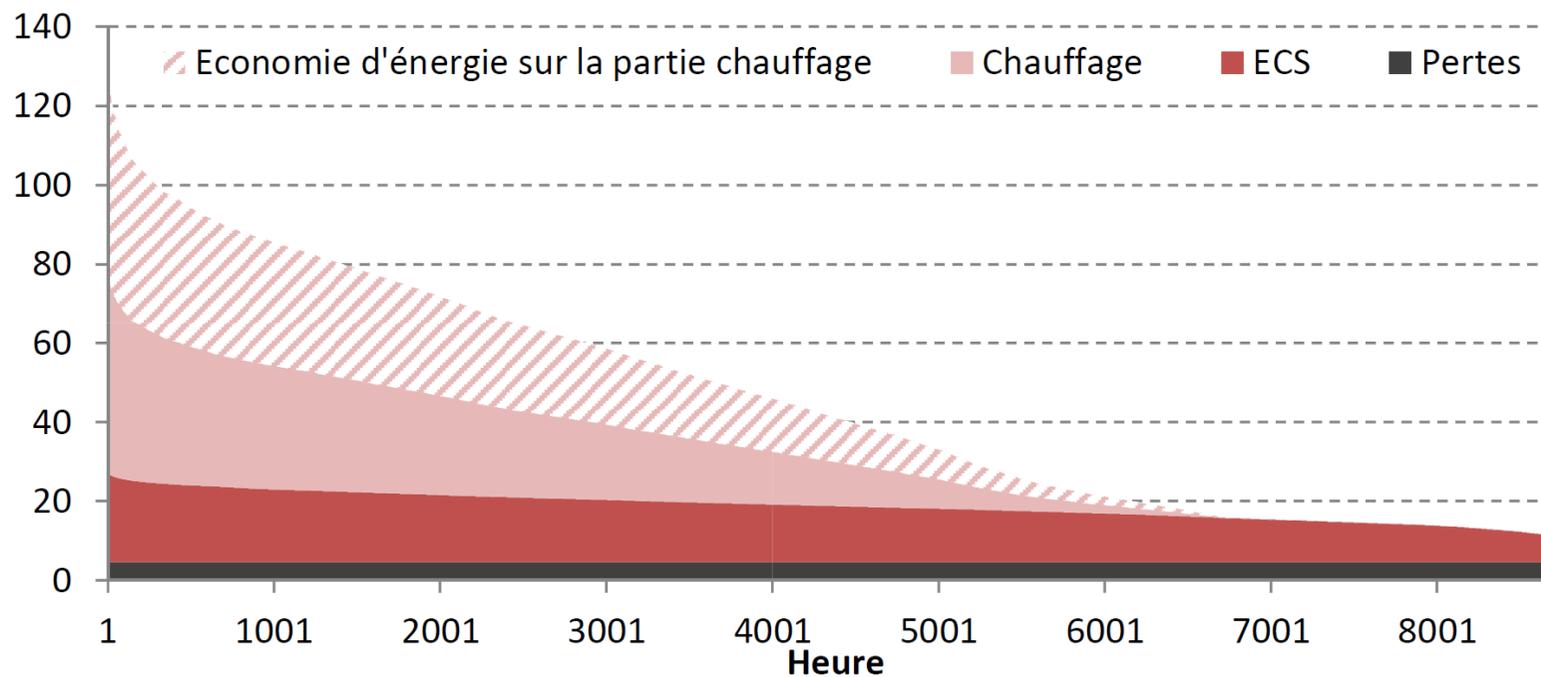
- Disconcordance ressource - demande:
Diff positive = 46 GWh
Diff négative = 141 GWh
- Potentiel brut d'un stockage parfait (pas de pertes) ?



- On pourrait récupérer 4-5 GWh avec un stockage d'une capacité de 100-150 MWh (+ possibilité d'écarter les pointes)
- Quelques pistes envisageables:
 - Inertie du réseau
 - Inertie de certains bâtiments
 - Cuves (2'000-3'000 m³)
- Pour gagner davantage (saisonnier), ça devient plus compliqué: coûteux, volume, pertes
- Autre possibilité: valoriser en produisant du froid en été (absorption)

Décomposition de la demande

Economie de 50% sur le chauffage



Périmètres pour la comptabilisation énergétique

- Rendement des chaudières individuelles au gaz et au mazout : 85% (PCI)
- Rendement des chaudières gaz collectives qui alimentent le réseau : 92% (PCI)
- COP annuel de la pompe à chaleur sur les eaux épurées : 3.5

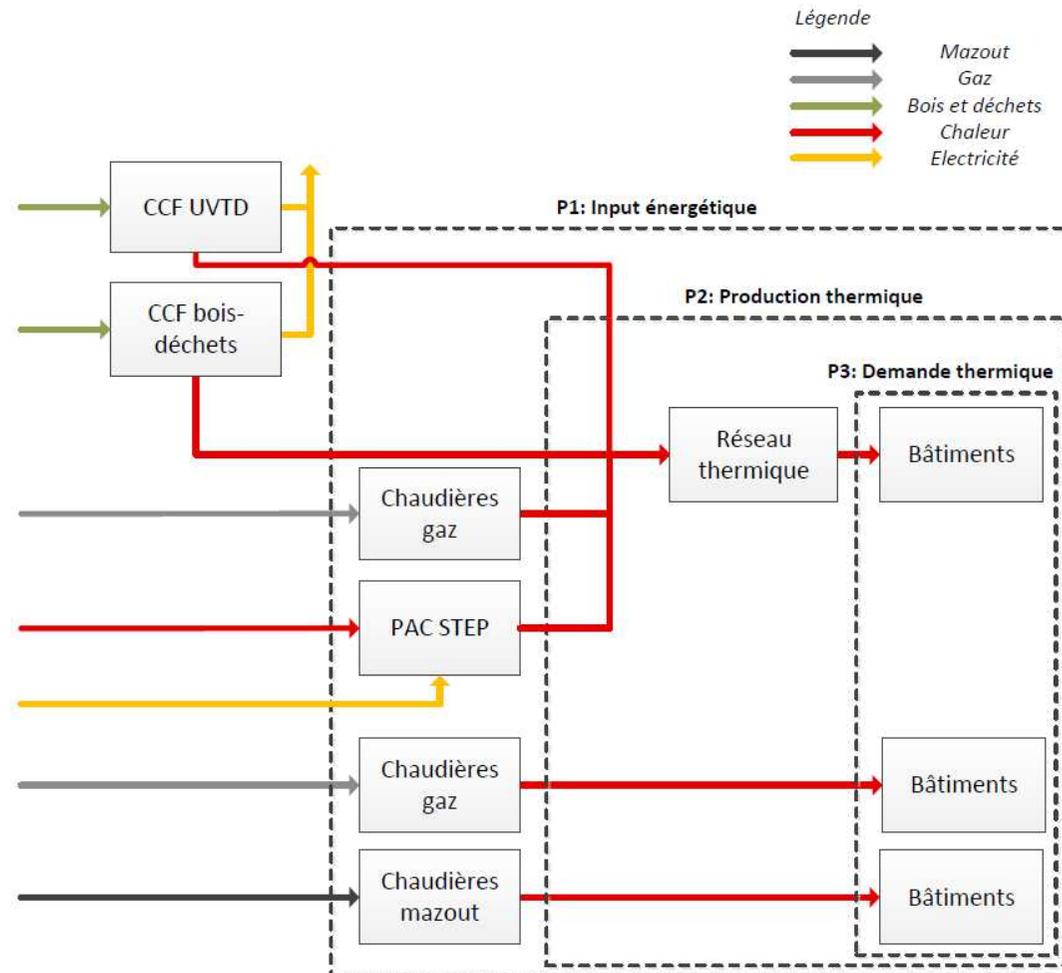
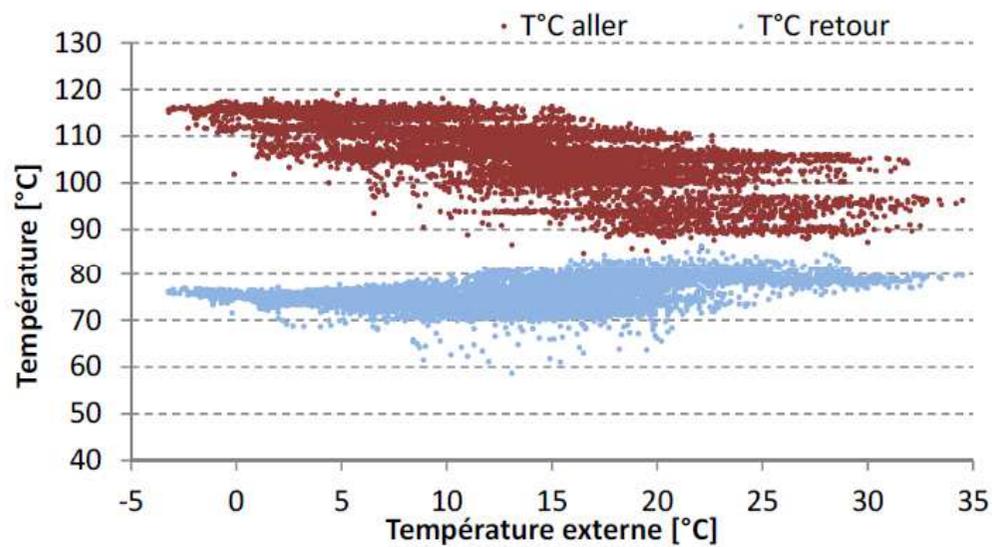
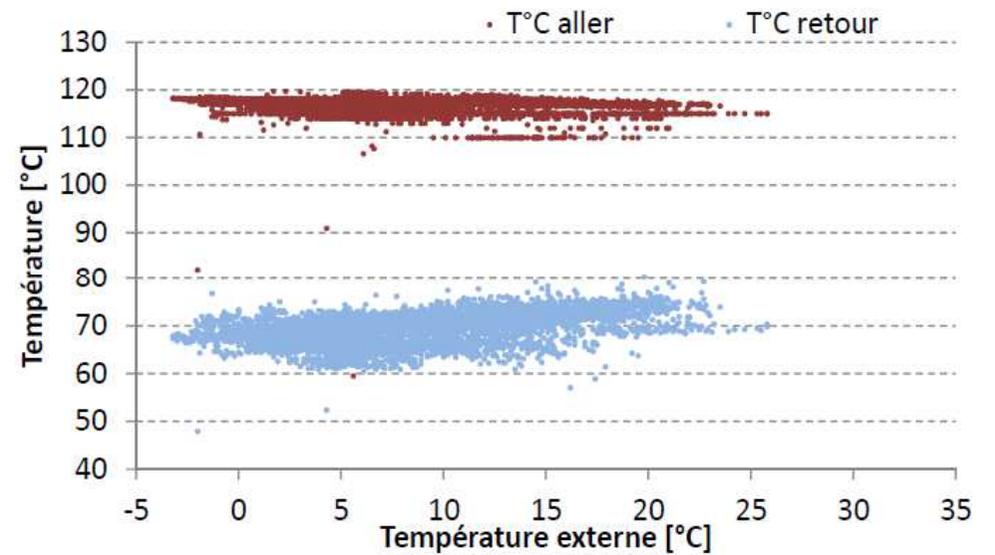


FIGURE 5.9 – Définition des périmètres pour la comptabilisation énergétique



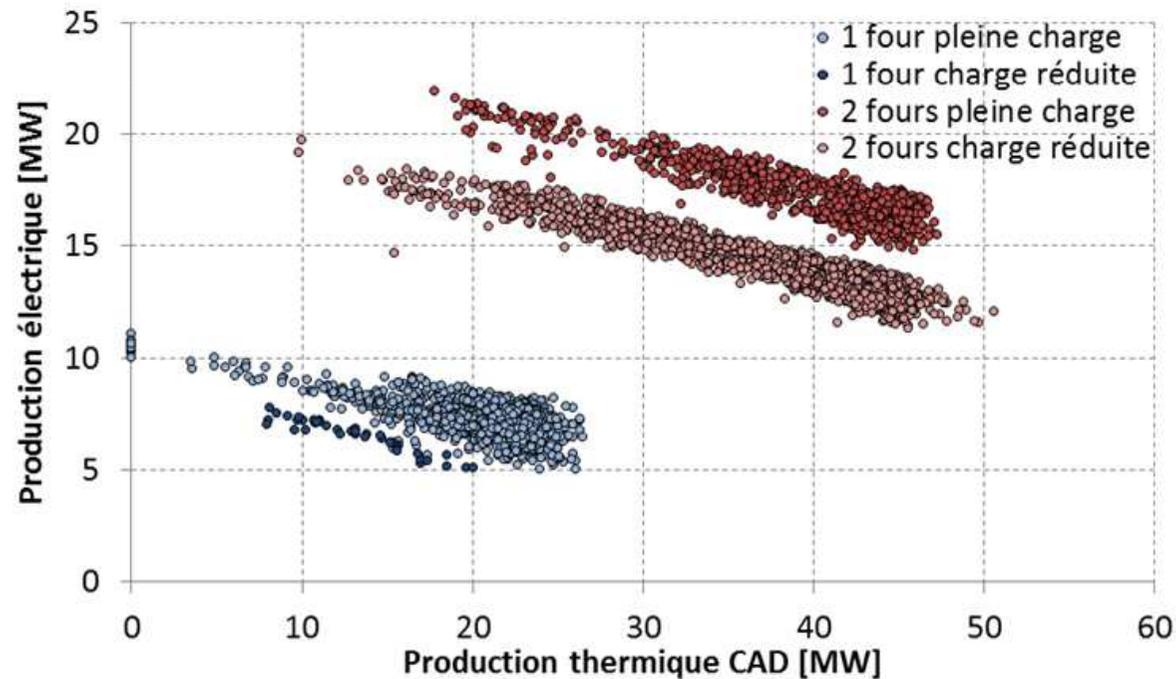
(a) CADSIG : températures aller et retour



(b) CADIOM : températures aller et retour

Production électrique de l'UVTD

- L'augmentation de récupération de chaleur fatale implique une diminution de la production électrique (soutirage de vapeur vive sur les turbines)
- Pour 1 MW thermique récupéré, 0.2 MW électrique sacrifié (facteur 5)

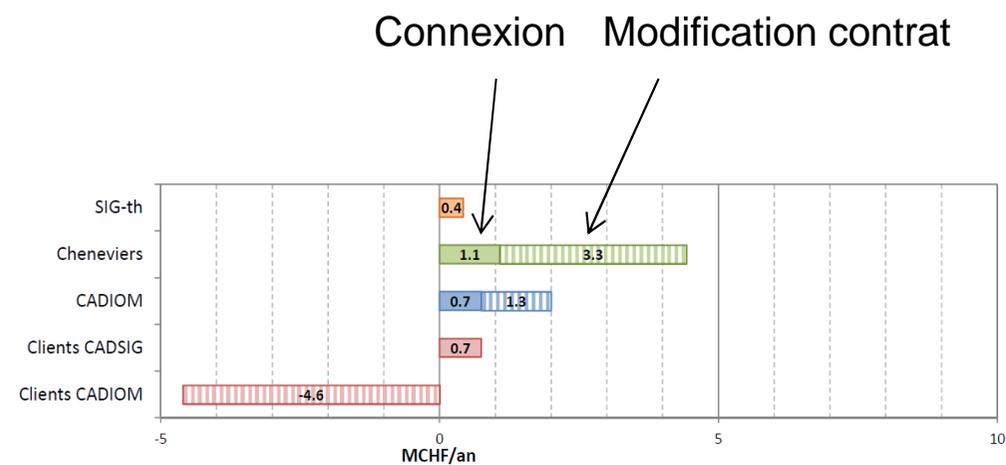
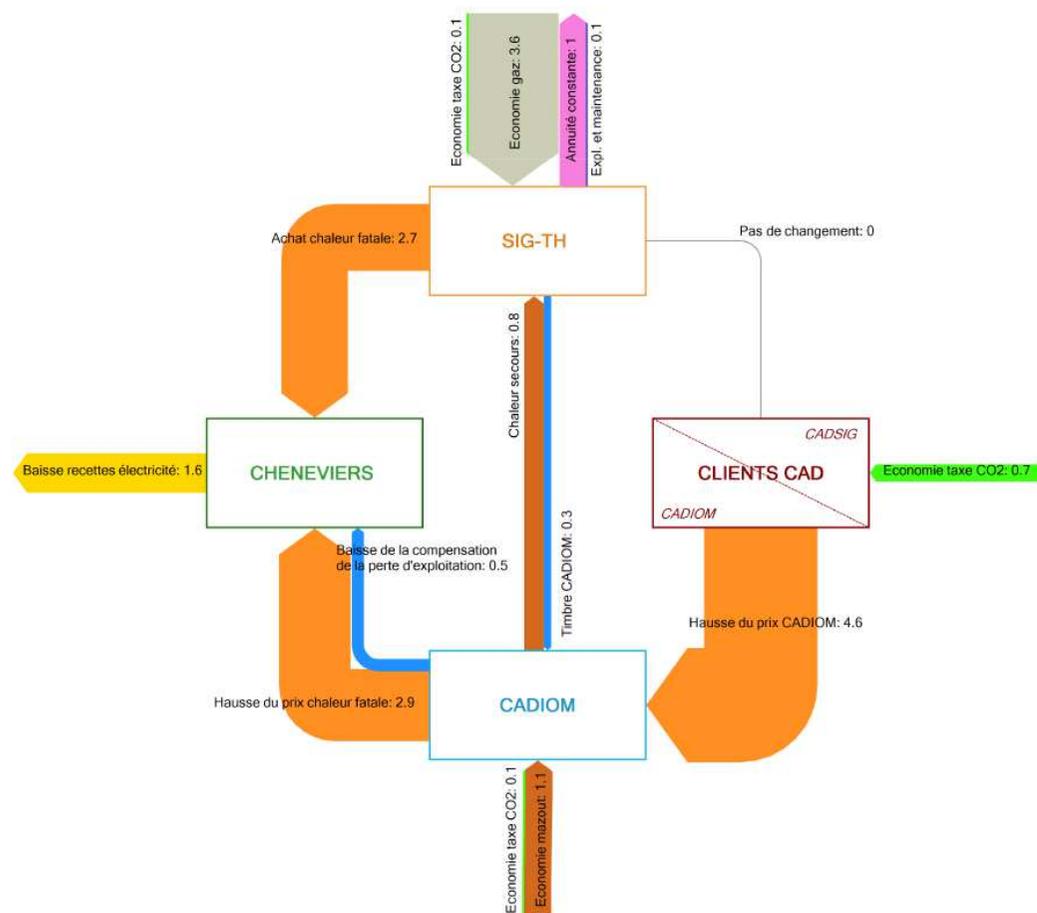


Bilan par acteur des variations de flux financiers

Hypothèses

- Prix du gaz pour SIG à 5 cts/kWh
- Prix de la chaleur fatale: de 1.5 à 3.5 cts/kWh (mod. contrat)
- Chaleur fatale récupérée en plus: 77 GWh/an

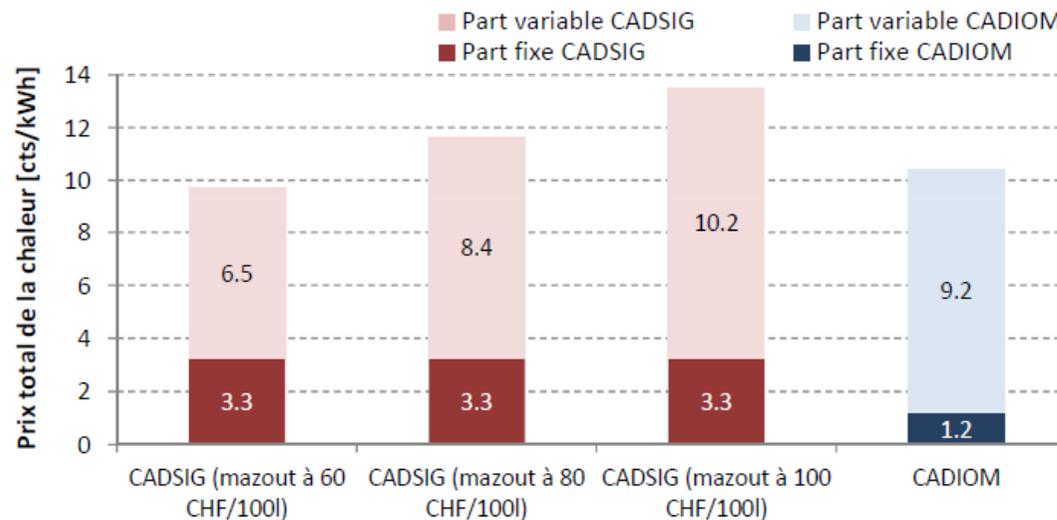
Bilan par acteurs



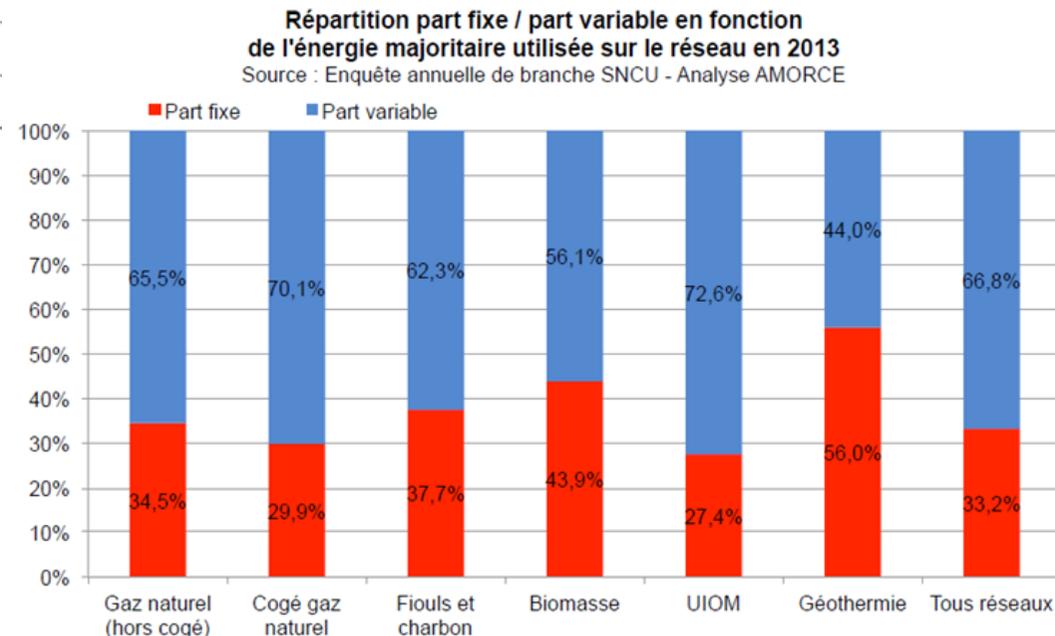
Chaque réseau a son propre système de tarification :

- part variable CADISG indexée sur le mazout
- part variable CADIOM dépend du contrat de cession et de l'indice des prix genevois

➤ Enjeu sur la tarification: la répartition part fixe / part variable



➤ Cette répartition prix fixe / prix variable ne reflète pas les coûts réels



Le fait d'avoir «trop» de part variable dans le prix peut avoir des conséquences :

+ : favorise les économies d'énergie en hiver

– : peut encourager la pose de systèmes de production alternatifs décentralisés
(surinvestissement dans le renouvelable)

+ ou – : différence entre coûts à charge de l'exploitant et recettes perçues sur la vente de chaleur en cas de:

- modification de la demande (rénovation et/ou climat)
- évolution du prix des énergies fossiles (également lié au système d'indexation)

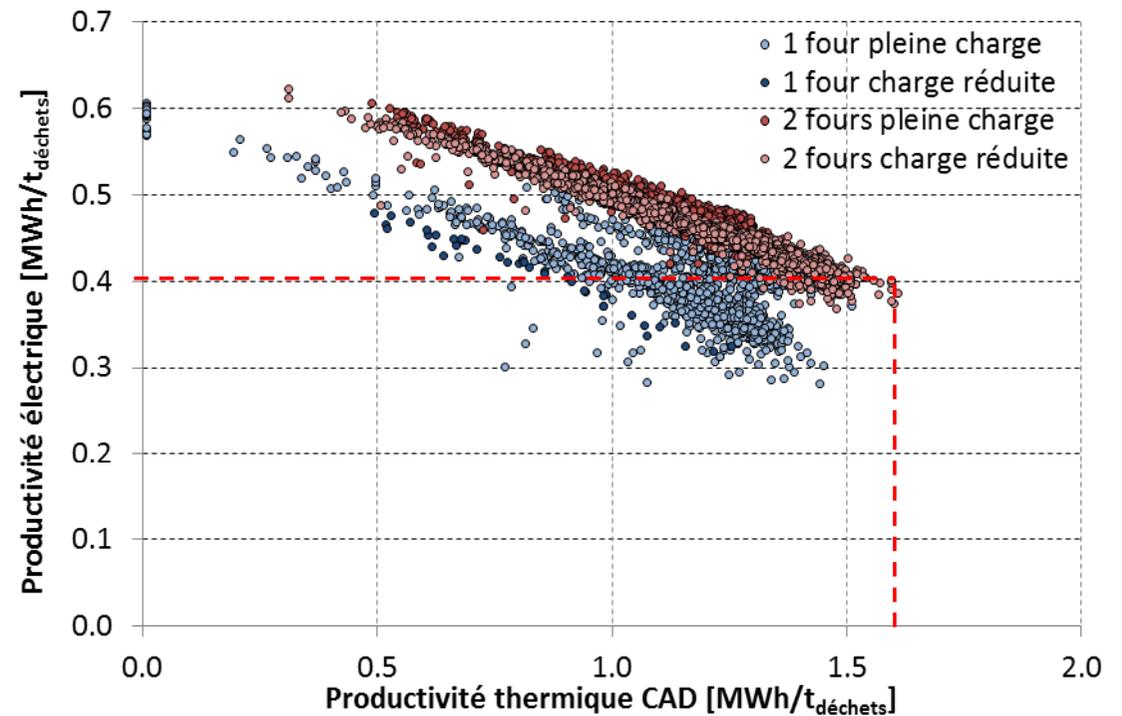
Plus généralement :

- Enjeu énergétique unifié -> tarification homogénéisée ? labellisation ? vision 2030 ?
- Tarifs différenciés été/hiver pour offrir le bon signal-prix ?

Rendements UVTD

$$\text{Productivité électrique} = \frac{\text{Production TG2 + TG3 [MWh]}}{\text{Vapeur [t]} \cdot \frac{1}{3.624}}$$

$$\text{Productivité thermique CAD} = \frac{\text{Production CAD [MWh]}}{\text{Vapeur [t]} \cdot \frac{1}{3.624}}$$



- Productivité plus faible avec un seul four (TG3)
- Rendement global max: environ 66%

$$66\% = \frac{0.4 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{t}} \right] + 1.6 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{t}} \right]}{3.01 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{t}} \right]}$$

<i>UVTD Cheneviers</i>	<i>4 juin 2013 - 4 juin 2014</i>	
Déchets	695 GWh	100%
Production thermique CAD	222 GWh	31.9%
Production électrique	111 GWh	16.0%
Total production	333 GWh	48.0%

<i>UVTD Cheneviers</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>
η Thermique	17.1%	19.9%	16.7%	20.1%	29.9%
η Electrique	18.1%	18.0%	18.4%	18.1%	16.3%
η Global	35.2%	37.9%	35.1%	38.3%	46.2%

*2009-2013: déterminé à partir des rapports d'exploitations
Cheneviers-SIG*

Comparaison du prix des énergies thermiques dans le canton de Genève (en ct/kWh)

