



Chapitre d'actes

2014

Accepted version

Open Access

This is an author manuscript post-peer-reviewing (accepted version) of the original publication. The layout of the published version may differ .

---

## Enjeux de la climatisation au niveau territorial : le cas de Genève

---

Hollmuller, Pierre; Faessler, Jérôme; Lachal, Bernard Marie

### How to cite

HOLLMULLER, Pierre, FAESSLER, Jérôme, LACHAL, Bernard Marie. Enjeux de la climatisation au niveau territorial : le cas de Genève. In: 18. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt». Zurich. [s.l.] : [s.n.], 2014.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:40060>

## Enjeux de la climatisation au niveau territorial : le cas de Genève

Pierre Hollmuller, Jérôme Faessler, Bernard Lachal  
Université de Genève, Institut des Sciences de l'Environnement & Institut Forel, Section des sciences de la Terre et de l'Environnement

[www.unige.ch/energie](http://www.unige.ch/energie)

Contact: [pierre.hollmuller@unige.ch](mailto:pierre.hollmuller@unige.ch)

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

### Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer les enjeux actuels et l'évolution de la demande de climatisation du Canton de Genève. En un premier temps celle-ci est évaluée via une approche bottom-up, à partir des requêtes de climatisation déposées au Service cantonal de l'énergie sur la période 1980 – 2009. En un second temps les résultats sont confrontés à une approche top-down, basée sur la corrélation estivale entre la courbe de charge électrique au niveau du Canton et la température météo.

### Abstract

The objective of this study is to determine the issues and the evolution of the air conditioning demand of the Canton of Geneva. As a first step it is evaluated using a bottom-up approach, based on requests submitted to the cantonal energy office, over the period 1980 – 2009. In a second step the results are compared to top-down approach, based on the correlation between the summer electric load curve charge of the Canton and the meteorological temperature.

## 1. Introduction

A Genève comme ailleurs dans le monde, la demande d'électricité due à la climatisation est en forte augmentation. L'objectif de cette étude est de déterminer les enjeux actuels et l'évolution de la demande de climatisation du Canton de Genève. En un premier temps celle-ci est évaluée via une approche bottom-up, à partir des requêtes de climatisation déposées au Service cantonal de l'énergie sur la période 1980 – 2009. En un second temps les résultats sont confrontés à une approche top-down, basée sur la corrélation estivale entre la courbe de charge électrique au niveau du Canton et la température de l'air.

## 2. Requêtes d'autorisation pour la climatisation

### Base de données et méthodologie

L'évaluation de la demande de climatisation au niveau du Canton de Genève a été menée sur la base des fiches de synthèse des requêtes d'autorisation de climatisation déposées au Service cantonal de l'énergie, pour la période 1980-2009 (soit depuis l'introduction de la procédure). Ces requêtes couvrent les demandes de froid de confort (à l'exclusion des appareils mobiles), ainsi que pour les datacenters. Elles ne concernent pas les installations de froid commercial et industriel.

Les données disponibles concernent l'année de la requête, la surface climatisée, la puissance thermique, la puissance électrique, l'estimation de la consommation électrique annuelle et l'adresse de l'installation. Dans le cas de données manquantes, les valeurs globales (au niveau de l'ensemble du parc) ont été reconstituées par analyse statistique [1]. Par ailleurs, des données concernant la raison sociale du propriétaire et/ou le type de locaux à climatiser ont permis d'affecter (de façon aussi systématique que possible) une typologie d'usage à chaque installation.

Il est à préciser que les données issues des autorisations ne correspondent pas forcément à la réalité de terrain, étant donné que : i) il est notoire qu'un nombre important d'installations (en principe de petites tailles) sont installées sans autorisation ; ii) les données transmises au moment de la requête d'autorisation ne correspondent pas forcément à la réalisation qui en découle ; iii) la base de donnée ne comprend pas les installations antérieures à 1980, ni les déclassements d'installations devenues obsolètes.

Pour le centre-ville, analysé de façon plus détaillée, certaines de ces incohérences ont pu être mise à jour par confrontation à des données de terrain en notre possession [2]. Par ailleurs, un contrôle de qualité concernant la saisie des données a été effectué sur toutes les installations de plus de 1000 kW<sub>th</sub> et sur un tirage aléatoire de 50 installations de moins de 1000 kW<sub>th</sub>, pour lesquelles le taux d'erreur était d'environ 5%, lié essentiellement aux adresses des installations [3].

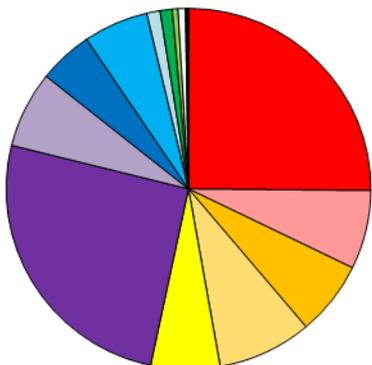
### Demande de climatisation du Canton

Au niveau cantonal, l'analyse de cette base de données permet les constats suivants (Fig. 1) :

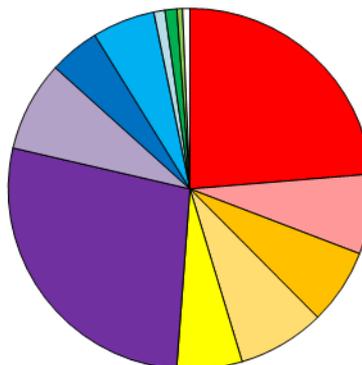
- En 2009, les 911 installations répertoriées représentent une puissance thermique nominale de 272 MW<sub>th</sub>. Au niveau électrique, il lui correspond une puissance nominale de 91 MW<sub>el</sub> (soit 18% de la puissance de pointe au niveau du canton) et une consommation annuelle estimée à 225 GWh<sub>el</sub>.
- La surface climatisée représente aux alentours de 1.8 million de m<sup>2</sup>, soit un peu plus de 10% de la surface totale des locaux non résidentiels du canton.
- Si les datacenters ne représentent que 10% du nombre d'installations (5% de la surface climatisée), ils font par contre un peu plus d'un quart de la puissance. Étant donné leur fonctionnement en continu, essentiellement contraint par les intenses charges interne, ils représentent finalement à peu près 60% de la consommation électrique annuelle due à la climatisation ! Le solde, essentiellement dédiée à de la climatisation de confort, se répartit grosso-modo en trois tiers entre : i) les bâtiments de type administratif (banques non comprises) ; ii) banques, commerces et industrie ; iii) divers autres usages, dont une très faible part pour le résidentiel (1% au niveau des puissances).

Typologie	Valeurs extensives					Valeurs intensives							
	<u>Ninst</u> : nombre d'installations <u>Pth</u> : puissance thermique <u>Pel</u> : puissance électrique <u>Sclim</u> : surface climatisée					<u>Pinst</u> : puissance thermique par installation <u>COP</u> : coefficient de performance <u>Nh</u> : durée nominale de fonctionnement <u>Psurf</u> : puissance thermique spécifique							
	<u>Ninst</u>	<u>Pth</u>	<u>Pel</u>	<u>Eel</u>	<u>Sclim</u>	<u>Pinst</u>	<u>COP</u>		<u>Nh</u>		<u>Psurf</u>		
					<u>Moy</u>	<u>EcTyp</u>	<u>Moy</u>	<u>EcTyp</u>	<u>Moy</u>	<u>EcTyp</u>	<u>Moy</u>	<u>EcTyp</u>	
	MW	MW	GWh	mil.m2	kW	kW			h	h	W/m2	W/m2	
<u>Administ.</u>	285	68	22	28	681	240	540	3.2	1.1	1286	1107	100	99
<u>Banques</u>	90	19	7	14	134	213	401	2.9	0.8	2110	1619	143	166
<u>Commerces</u>	112	18	6	10	141	161	352	2.9	1.0	1695	1275	128	160
<u>Ind./Artis.</u>	67	23	7	11	139	339	402	3.2	1.2	1573	1482	164	139
<u>Mixte</u>	25	17	5	5	158	666	994	3.1	1.0	1033	536	105	106
<u>Data/Tele.</u>	94	69	25	130	88	738	2725	2.8	0.9	5169	2381	792	1786
<u>Expo./Cong.</u>	6	19	7	7	118	3100	1791	2.5	0.3	1011	450	157	82
<u>Hôtel/Rest.</u>	79	13	4	6	133	166	300	3.2	1.0	1479	1385	99	57
<u>Médical</u>	50	16	5	10	101	313	828	3.1	0.7	1937	1299	155	175
<u>Rech./Ens.</u>	10	3	1	1	23	322	321	3.6	1.7	1024	550	137	100
<u>Loisirs</u>	26	3	1	1	24	112	141	3.0	0.9	817	569	121	56
<u>Résidentiel</u>	33	1	0	0	15	42	63	3.1	1.7	966	667	89	96
<u>Divers</u>	30	2	1	1	11	60	90	3.0	1.0	1418	1139	161	216
<u>Inconnu</u>	4	1			9								
<b>Total</b>	<b>911</b>	<b>272</b>	<b>91</b>	<b>225</b>	<b>1776</b>								

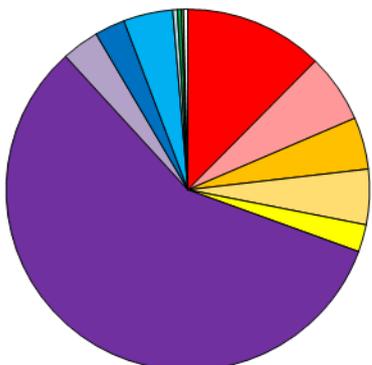
272 MW th



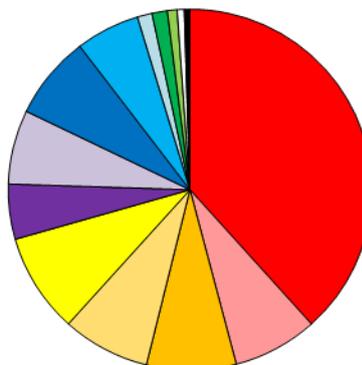
91 MW el



225 GWh el



1776 millier m2



- Administ.
- Banques
- Commerces
- Ind./Artis.
- Mixte
- Data/Tele.
- Expo./Cong.
- Hôtel/Rest.
- Médical
- Rech./Ens.
- Loisirs
- Résidentiel
- Divers
- Inconnu

Figure 1: Requêtes de demande de climatisation par typologie, 1980-2009.

Par ailleurs, au niveau de la taille des installations, seules 5% des requêtes concernent des installations de plus de 1000 kW<sub>th</sub>, mais leur puissance cumulée représente plus de la moitié de la puissance concédée totale. A l'autre extrême, plus de la moitié des requêtes concernent des installations de moins de 100 kW<sub>th</sub>, dont la puissance cumulée représente cependant moins de 10% de la puissance totale

Au niveau temporel, la situation actuelle résulte d'une croissance régulière du nombre de requêtes depuis 1980, avec une accélération dès le début des années 2000 (Fig. 2). A noter que le pic particulier de l'année 2000 provient de deux autorisations de gros datacenters de plus de 15 MW<sub>th</sub> chacun. Ainsi, sur la totalité de la période, la croissance moyenne est de 9.4 MW<sub>th</sub> par an (3.9 MW<sub>th</sub> par an sur la période 1980-1999, 14.1 MW<sub>th</sub> par an sur la période 2000- 2009).

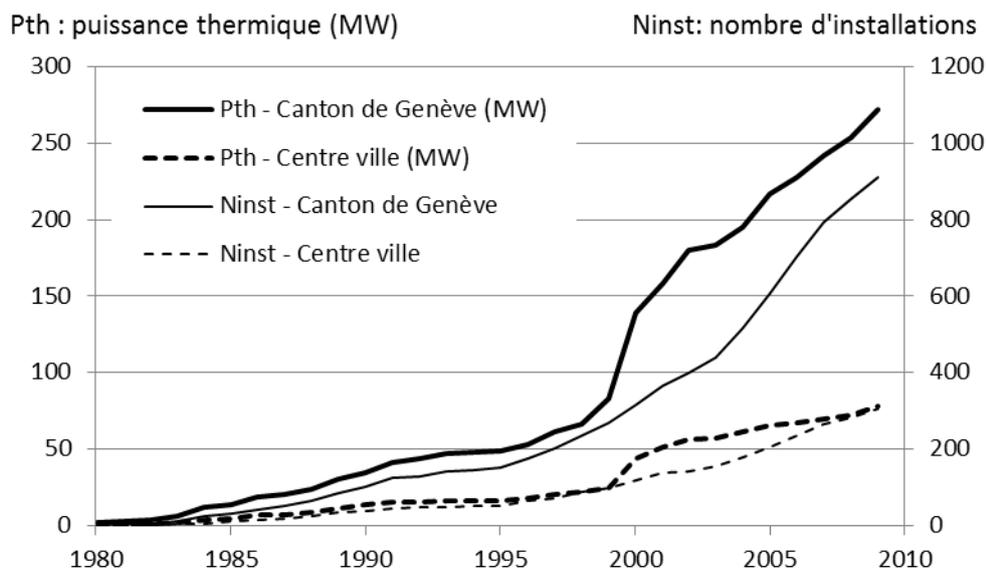


Figure 2: Evolution des requêtes de demande de climatisation, Canton et Centre-Ville..

### Demande de climatisation du centre-ville

Grâce à son insertion dans le système d'information géo-référée du territoire genevois, la base de données ci-dessus est utilisée pour évaluer la demande de climatisation pouvant être substituée par les deux réseaux hydrothermiques en projet [2]. Nous nous concentrerons ici sur le réseau urbain, qui devrait irriguer l'ensemble du centre-ville, de part et d'autre du lac. L'analyse statistique des autorisations climatisation sur la zone en question donne les résultats suivants :

- Le territoire en question représente moins de 2% du territoire du Canton (4.6 million de m<sup>2</sup>), mais abrite 29% de la surface de locaux non résidentiels (4.9 millions de m<sup>2</sup>).
- De même, 29% de la puissance de climatisation du Canton y est concentré (78 MW<sub>th</sub>), sur 26% de la surface climatisée (1.8 millions de m<sup>2</sup>). Cela représente un taux de climatisation des locaux non résidentiels de 9.4%, très proche de la valeur du Canton.
- Ainsi, toute typologie d'usage confondue, la puissance nominale de climatisation de cette zone s'élève en moyenne à environ 18 W<sub>th</sub> par m<sup>2</sup> de territoire.
- Finalement, l'évolution des requêtes d'autorisation sur la période 1980 – 2009 suit la même dynamique que pour l'ensemble du Canton (Fig. 8), avec une croissance en deux phases : 1.3 MW<sub>th</sub>/an jusqu'à 2000, 3.4 MW<sub>th</sub>/an après 2000 (pour une croissance moyenne de 2.8 MW<sub>th</sub>/an sur l'ensemble des 30 ans).

En partant de la puissance installée et des taux de croissance ci-dessus (et sans évolution de la surface bâtie), on obtient les tendances globales suivantes pour la demande de climatisation du centre-ville à un horizon de 20 ou 40 ans :

- Avec un taux de croissance bas de 1.3 MW<sub>th</sub>/an, la demande atteindrait de l'ordre de 104 MW<sub>th</sub> en 2030 (13% des locaux non résidentiels), respectivement de 130 MW<sub>th</sub> en 2050 (16%).
- Avec le taux de croissance actuel de 3.4 MW<sub>th</sub>/an, il s'agirait de l'ordre de 146 MW<sub>th</sub> en 2030 (18% des locaux non résidentiels), respectivement 214 MW<sub>th</sub> en 2050 (26%).

- Même avec une hypothétique croissance accélérée, on resterait donc à l'horizon 2050 certainement bien en dessous de la saturation en climatisation des espaces non résidentiels (cela d'autant plus qu'il s'agirait alors de considérer une évolution de type fonction logistique).

### 3. Analyse de la courbe de charge électrique

#### Base de données

En complément au chapitre précédent, ce chapitre analyse la corrélation entre la courbe de charge électrique au niveau du Canton et la température de l'air, en période estivale, afin d'en extraire la composante liée à la climatisation de confort.

Les données horaires utilisées pour cette analyse couvrent la période 2003 – 2010. Il s'agit de :

- La courbe de charge du Canton de Genève, données mises à disposition par SIG. Elles concernent des points d'injection au réseau genevois et des grandes productions locales (Verbois, Seujet et Chancy-Pougny). Elle ne contient pas les productions décentralisées, en particulier le photovoltaïque, raison pour laquelle les valeurs agrégées sont différentes des valeurs officielles (Office cantonal de la statistique).
- Les données météo, en particulier température de l'air et irradiance globale horizontale. Ces données sont mises à disposition par Pierre Ineichen, du Groupe Energie de l'Université de Genève [4].

#### Dynamique estivale et puissance nominale de climatisation

La dynamique estivale de la courbe de charge et de la température météo est représentée ci-dessous pour l'été 2003, en moyennes journalières (Fig. 3). Cette dynamique confirme très clairement la corrélation entre la consommation électrique et la température de l'air. On observe également la baisse régulière de puissance lors des week-ends, ainsi que de façon plus générale pendant les mois de juillet et août, lorsque l'activité économique est ralentie.

La relation entre la consommation électrique (moyenne et maximum journalier) et la température (moyenne journalière) est quantifiée via la signature énergétique (Fig. 4). Afin de s'affranchir des variations dues à la l'activité économique, celle-ci concerne exclusivement les jours ouvrables, ainsi que les mois de mai, juin, septembre.

La signature fait clairement ressortir une corrélation de type quadratique, que deux hypothèses nous paraissent pouvoir expliquer : d'une part le COP des installations de climatisation qui baisse lorsque la température augmente, d'autre part un nombre croissant d'installations mises en marche lorsque la température augmente.

En comparant les signatures pour 2003 et 2010, on note également : i) la croissance générale de la consommation électrique (augmentation des puissances de base et de pointe) ; ii) la météo caniculaire de 2003, avec une température moyenne journalière qui atteint 30°C, versus une météo plus clémente pour 2010.

La régression quadratique nous fournit les indicateurs suivants :

- La température neutre, soit la température moyenne journalière pour laquelle la consommation électrique est minimale (aux alentours de 15°C), que nous interprétons comme la température seuil à partir de laquelle la climatisation de confort est mise en marche.
- La puissance de base (à 15°C de moyenne journalière), soit la consommation électrique hors climatisation, ainsi que la puissance de pointe (à 30°C de moyenne journalière), soit la consommation électrique lorsque la climatisation fonctionne à sa valeur maximale.

Le différentiel entre la puissance de pointe (à 30°C) et la puissance de base (à 15°C) est interprétée comme la puissance électrique de la climatisation sur le Canton (hors datacenters, qui fonctionnent en ruban). Cette analyse est faite aussi bien au niveau de la puissance journalière moyenne, qu'au niveau de la puissance journalière maximale (voir la Fig. 2.3).

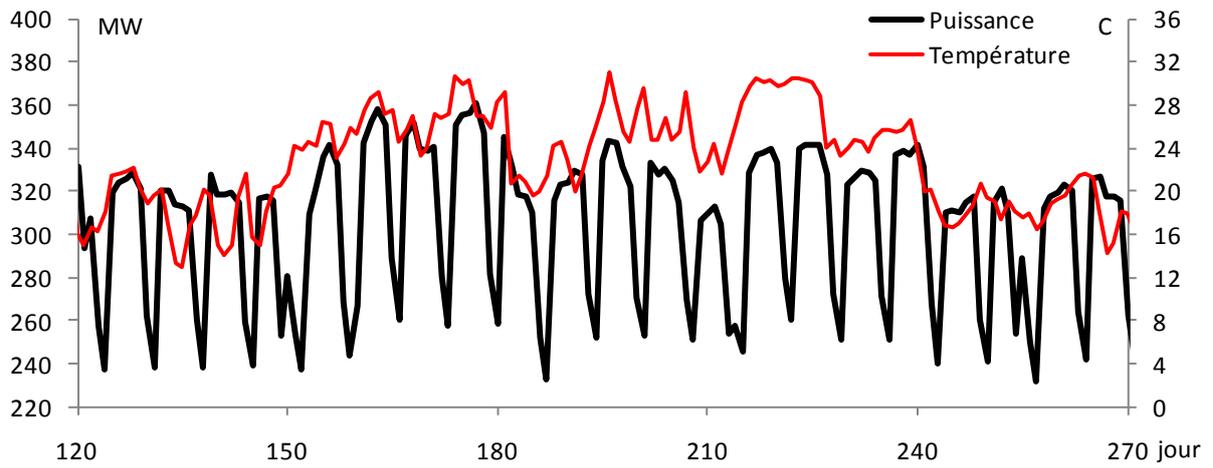


Figure 3: Evolution de la courbe de charge électrique et de la température, valeurs moyennes journalières (mai – septembre 2003).

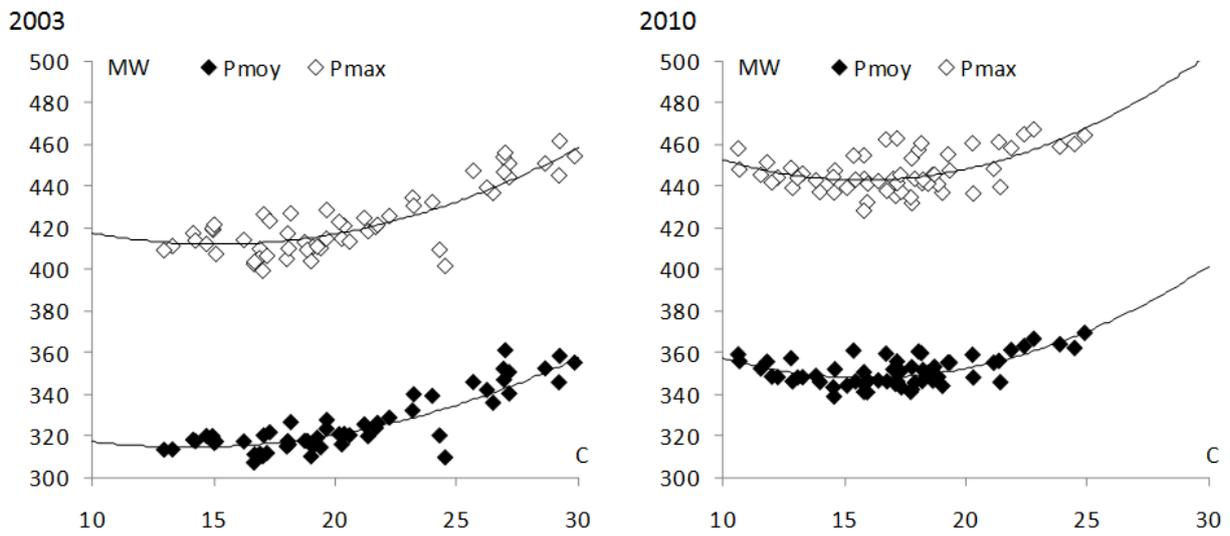


Figure 4: Signature énergétique : consommation électrique (moyenne et maximum journalier) en fonction de la température (moyenne journalière).

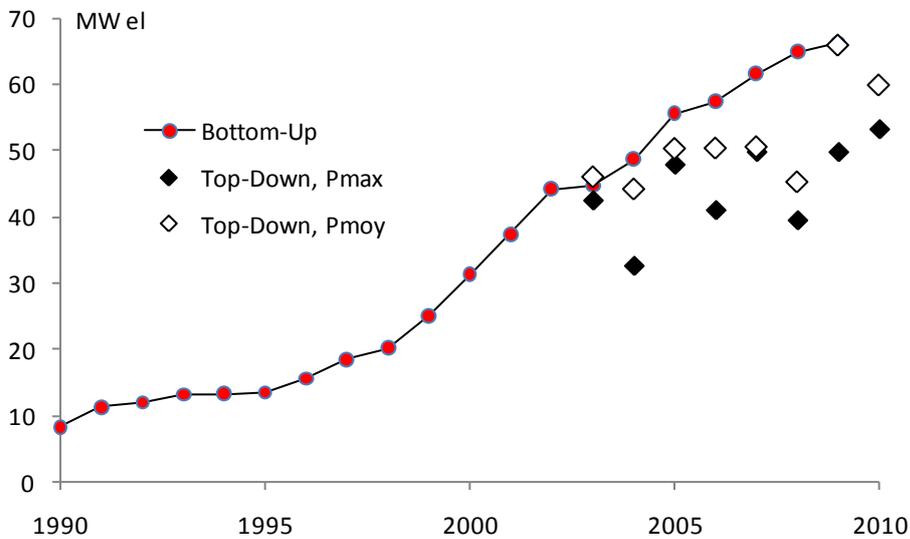


Figure 5: Evolution de la puissance électrique liée à la climatisation de confort (hors datacenters) : comparaison des valeurs obtenues par approche bottom-up (requêtes d'autorisation) et top-down (analyse de la courbe de charge).

## Comparaison avec l'approche bottom-up

Finalement, nous observons une puissance électrique liée à la climatisation de l'ordre actuellement de 50 à 60 MW<sub>el</sub> (selon que l'analyse se fasse sur les moyennes ou les maxima journaliers), avec une tendance d'accroissement de l'ordre de 2 MW<sub>el</sub> par an (Fig. 5).

Ces valeurs, obtenues par approche globale ou top-down, peuvent être mise en relation avec les valeurs résultant de l'analyse des requêtes d'autorisation, obtenues par approche bottom-up, soustraction faite de la contribution des datacenters. On observe une très bonne cohérence entre les deux approches. Reste cependant à signaler les points suivants :

- L'approche top-down n'intègre pas la production photovoltaïque, qui dépend de l'ensoleillement et possède donc elle-même une forte corrélation avec la température. La prise en compte de cette production (actuellement de l'ordre de 9MW<sub>el</sub> nominal, dont une bonne partie active déjà à une température moyenne de 15°C) aurait donc tendance à réduire encore l'écart entre les deux approches.
- L'approche bottom-up comprend quant à elle une série de zone d'ombres, dont il est actuellement difficile de quantifier l'effet sur la puissance électrique liée à la climatisation de confort. Parmi les facteurs qui auraient tendance à l'augmenter, on notera la climatisation clandestine et la climatisation mobile ; Parmi les facteurs qui auraient tendance à la diminuer, on notera les datacenters compris dans la typologie « Banques », ainsi que les installations mises hors service.

## 4. Conclusions

Nous avons quantifié les enjeux énergétiques et l'évolution de la demande de climatisation du Canton de Genève via une double approche, bottom-up et top-down. Basée sur l'analyse des requêtes de climatisation déposées au Service cantonal de l'énergie sur la période 1980 – 2009, l'approche bottom-up a permis non seulement de quantifier cette demande, mais encore d'en déterminer la structure (par type de secteur/utilisateur). Basée sur la corrélation estivale entre la courbe de charge électrique cantonale et la température météo, l'approche top-down a permis de valider les valeurs issues de l'approche bottom-up (et réciproquement). Cela suggère la possibilité d'utiliser cette dernière approche à d'autres territoires (ou portions de territoires).

## Remerciements

Nous remercions le Service Industriels Genève (SIG) pour le financement de cette étude et pour les données relatives à la courbe de charge électrique.

## References

- [1] Faessler J., Haroutunian A., Hollmuller P., Lachal B. (2011). Etude d'opportunité pour le projet GLU/GLA. Pertes thermiques du réseau Lac, connexion aux bâtiments et potentiel de froid : évaluations et recommandations. Groupe Energie, Institut Forel / Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève.
- [2] Hollmuller P., Hunziker S., Lachal B. (2011). Enjeux de la climatisation au niveau genevois et tour d'horizon de possibles alternatives. Groupe Energie, Institut Forel / Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève.
- [3] Tschopp J. (2011). Géoréférencement des autorisations d'installations de climatisation de confort du canton de Genève et analyse géographique: éléments pour le développement d'un réseau de froid à partir d'eau du lac Léman. Mémoire de certificat de spécialisation en géomatique, Université de Genève.
- [4] Ineichen, P. (2013). Solar radiation resource in Geneva, measurements, modeling, data quality control, format and accessibility. University of Geneva.