



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

Etat de Genève
Office Cantonal de l'Energie OCEN
Rue du Puits-Saint-Pierre 4
Case Postale 3920
1211 Genève 3

Appui scientifique pour l'élaboration d'indicateurs pour le Plan Cantonal de l'Energie (PDE) du canton de Genève, en cohérence avec les objectifs du Plan Climat Cantonal (PCC)

Données de base explicitées sous forme de posters synthétiques

Rapport

3 juin 2020

Rapport et posters réalisés par les experts suivants :

- Gisela BRANCO (OCEN, gisela.branco@etat.ge.ch)
- Fleury DE OLIVEIRA (UniGE, Fleury.DeOliveira@unige.ch)
- Jérôme FAESSLER (Hydro-Géo Environnement, jerome.faessler@hydro-geo.ch)
- Alisa FREYRE (SIG, alisa.freyre@sig-ge.ch)
- Basile GRANDJEAN (Unige – Hepia, basile.grandjean@hesge.ch)
- Pierre HOLLMULLER (UniGe, Pierre.Hollmuller@unige.ch)
- Bernard LACHAL* (lachal.energie@posteo.net)
- Catherine LAVALLEZ (Territoires&Energies, catherine@territoires-energies.ch)
- Loïc QUIQUEREZ (SIG, loic.quiquerez@sig-ge.ch)
- Emile SPIERER (OCEN, emile.spierer@etat.ge.ch)
- Jérôme STROBEL (MPJ-Conseil, jerome.strobel@mpj-conseil.com)

* : coordination générale

Adresse de référence pour toutes questions :

Gisela Branco, gisela.branco@etat.ge.ch, OCEN, Rue du Puits-Saint-Pierre 4, 1211 Genève 3

Contexte d'élaboration de ces posters

1) Cadre de l'étude

Cette collaboration entre une douzaine d'experts répond à une demande d'appui scientifique de l'OCEN dans le cadre de la mise à jour du Plan Directeur de l'Energie (PDE) du canton de Genève dans le courant du printemps 2020.

Le groupe d'experts s'est attelé à 2 tâches :

- La comparaison du concept de Société à 2000W/personne sans nucléaire avec celui de l'Urgence Climatique (abaissement de 60% de la quantité totale de CO₂ émis en 2030 par rapport à 1990).
- L'évolution tendancielle depuis 1990 d'une série d'indicateurs cantonaux clés.

L'intention est de synthétiser et transmettre les connaissances existantes, de se concentrer sur les points importants et utiles aux acteurs en charge de la politique cantonale. Ce travail de synthèse se fait collectivement. Il ne remplace pas les précieuses connaissances déjà développées, par exemple dans des rapports détaillés réalisés par des mandataires indépendants ou des académiques.

Le groupe d'experts a défini une liste d'indicateurs ou de problématiques à traiter et s'est réparti le travail selon les compétences et les disponibilités. Les données synthétisées sont présentées sous forme d'une série de posters organisés et standardisés, pouvant être affichés en grandeur A3. Des réunions régulières ont permis de discuter de chacun d'eux. Le fonctionnement du groupe possède donc un caractère collégial fort. Les posters ont aussi été discutés avec les destinataires et adaptés selon les remarques. Chaque poster est accompagné d'une brève bibliographie et de notes courtes, qui font le lien avec les savoirs existants utilisés pour son élaboration.

2) Indicateurs

Caractérisant une situation complexe, ils sont construits d'après des données dans un objectif précis et pour des personnes ciblées. Dans notre contexte, les deux caractéristiques générales des indicateurs suivantes sont à souligner :

- **Le besoin de robustesse**, compromis qui permet d'intégrer le souci de précision de celui qui le fabrique et le besoin d'appropriation de l'utilisateur, qui doit donc bien le comprendre et en connaître les limites.
- Si l'indicateur sert de base à des objectifs quantitatifs, **il doit être sensible aux actions visant à le faire évoluer**, même si elles ne le font que progressivement.

Nous avons classé les indicateurs en 3 types :

- Ceux définissant des **objectifs quantitatifs** de la politique énergétiques et/ou climatiques (valeurs limites / cibles à atteindre dans un certain délai).
- Ceux caractérisant des **contraintes externes** s'exerçant sur le système énergétique / climatique. Par exemple, la démographie ou l'évolution du climat local qui ne dépend que très marginalement de ce qui est réalisé à Genève.
- Ceux décrivant **l'état du système énergétique cantonal**. Par exemple, l'évolution du chauffage à distance sur le canton.

Leur définition exacte est donnée soit sur le poster, soit sur les notes l'accompagnant, soit dans une référence explicite. Un ensemble d'indicateurs visibles simultanément, régulièrement mis à jour et améliorés si besoin constitue un « **tableau de bord** » (voir Poster 5).

3) Importance du tendanciel

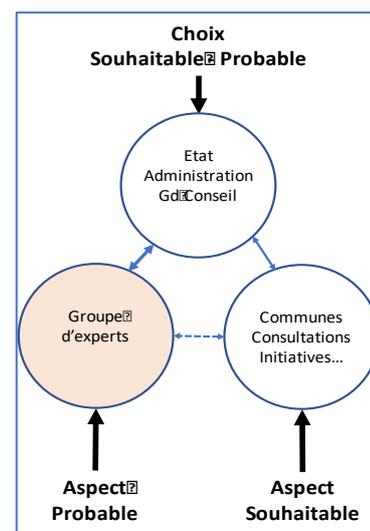
Le « tendanciel » est défini comme la situation du futur proche considérée comme le prolongement de l'évolution actuelle et du passé proche.

Ce n'est pas la situation « si l'on ne fait rien » mais « si on continue à faire ce que l'on fait/faisait déjà » - et donc ce n'est pas a priori une mauvaise chose. Il donne des indications précieuses sur où l'on va, permet une analyse explicative de la trajectoire et donne des pistes sur quoi corriger, améliorer, renoncer, remplacer, ...

Pratiquement, deux approches ont été utilisées :

1. La **prolongation linéaire de l'évolution du passé proche**, ce qui suppose une évolution absolue annuelle constante de la valeur de l'indicateur (baisse/augmentation de x unités/an). Dans ce cas, une trop grande extrapolation peut tendre vers des valeurs non réalistes (par exemple, négatives).
2. La **prolongation exponentielle, qui suppose une évolution relative constante de la valeur de l'indicateur** (baisse/augmentation de x% par année de la valeur courante de l'indicateur). Dans ce cas, la valeur de l'indicateur peut tendre à long terme soit vers zéro soit vers une valeur incompressible ou d'équilibre - qu'il faut alors définir.

Les « tendanciel » donnés dans les posters sont renseignés sur l'approche (linéaire ou exponentielle), sur le passé proche considéré et sur la valeur d'équilibre / incompressible considérée si elle diffère de zéro.



D'après guide ADEME : Planification et programmation énergétique territoriale, 2016
<http://www.cerdd.org/Parcours-thematiques/Changement-climatique/Ressources-climat/Guide-Planification-et-programmation-energetique-territoriale>

Liste des posters présentés au 31 mai 2020

5 Posters « Objectifs »

1. Poster 1 : Concept de la société à 2'000 W pour Genève
2. Poster 2 : Émissions de gaz à effet serre / plan climat
3. Poster 3 : Indicateurs et problématiques du comptage
4. Poster 4 : Objectifs chiffrés Energie- Climat, vers une convergence
5. Poster 5 : Proposition Tableau de bord indicateurs Energie- Climat

2 Posters « Contraintes externes au système énergétique cantonal »

6. Poster 6 : Evolution du climat
7. Poster 7 : Démographie

6 Posters « Etat du système énergétique cantonal »

8. Poster 8 : Ressources renouvelables locales/régionales mobilisables
9. Poster 9 : Réseaux thermiques
10. Poster 10 : Chaudières
11. Poster 11 : Stockage thermique
12. Poster 12 : Stockage de l'électricité
13. Poster 13 : Energie et émissions CO2 du trafic aérien

Liste des posters à développer ultérieurement

1 Poster « Contraintes externes au système énergétique cantonal »

- Surface bâtie

4 Posters « Etat du système énergétique cantonal »

- Indices thermiques des bâtiments
- Indices « froids » des bâtiments
- Indices électriques
- Pompes à chaleur

Organisation du document

Les 13 posters terminés au 31 05 2020 sont reproduits ci-après.

L'ensemble des notes se rapportant aux 13 posters sont disponibles à la suite des posters dans ce document.

Pour les posters à développer ultérieurement, seule la liste ci-dessus est donnée. Ce rapport pourra être complété selon les besoins de l'OCEN.

L'ensemble de ces documents seront annexés au Plan Directeur de l'Energie (PDE) du Canton de Genève

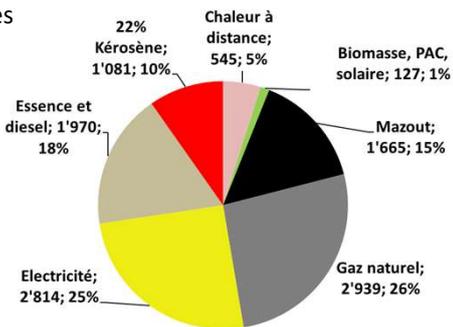
Concept de la société à 2'000 W pour Genève

Contexte et enjeux

- Objectif cantonal : volonté politique de réduire la consommation d'énergie et de CO₂ à l'horizon 2030 et 2050, tout en assurant la sécurité d'approvisionnement, la protection de l'environnement et sans recourir au nucléaire.
- Société à 2'000W : chaque habitant consommerait en moyenne une énergie primaire équivalente à une puissance ruban de 2'000W (soit 17'500 kWh/an), dont moins de 500W seraient fossiles (1 t/CO₂/an/hab.)
- Au niveau mondial, on se situe à environ 2'500W/hab avec un mix énergétique de 80% fossiles, 5% nucléaire et 15% renouvelables
- A Genève, on se situe à environ 3'600W/hab (sans tenir compte des biens et services importés, estimés à 3'400W/hab à l'échelle suisse)
- L'indicateur lié au concept de « société à 2'000W » se heurte à des problèmes de comptage (voir aussi Poster 3) :
 - Le kérosène de l'aéroport est ici pris en compte à 22% (comme dans le PCC, seuls les utilisateurs du canton sont considérés)
 - La valorisation thermique et électrique des déchets ainsi que la valorisation de la chaleur de l'environnement (PAC) sont comptabilisées à ce stade (substitution d'autres agents énergétiques)
 - Au niveau cantonal, on compte l'énergie vendue (dite « finale ») alors que les 2'000W sont « primaires », c'est-à-dire que l'on tient compte de l'énergie qu'il a fallu dépenser hors canton pour que cette énergie soit disponible aux portes de celui-ci (diverses pertes de transformation, transport,...)
 - L'énergie primaire de l'électricité est complexe à quantifier. Un facteur finale → primaire constant de 2.1 a été considéré ici
 - L'énergie grise liée au système énergétique est intégrée dans le facteur d'énergie primaire des énergies vendues sur le territoire mais n'est pas comptabilisée pour l'import – export des biens et services

Statistiques Genève 2018 en GWh « finaux »

En 2018, 1 W/hab = 4.4 GWh pour 501'748 habitants
 En 1990, 1 W/hab = 3.4 GWh pour 382'543 habitants

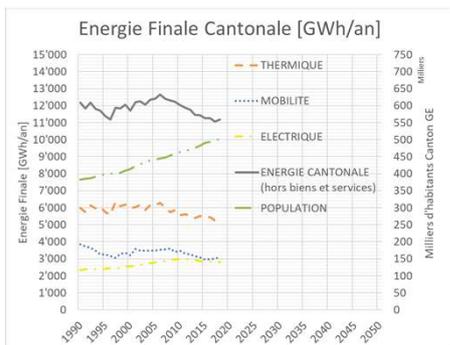


Facteur Energie Finale → Primaire ≈ 1.42

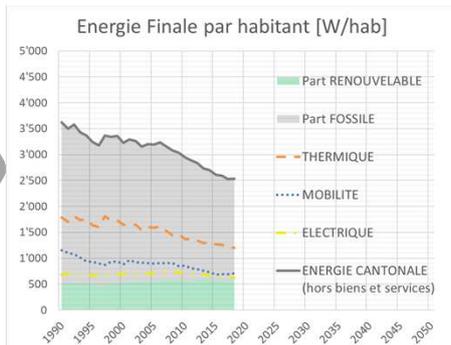
Thermique = 1.15; Mobilité = 1.25 ; Electricité = 2.1

Evolution 1990-2018

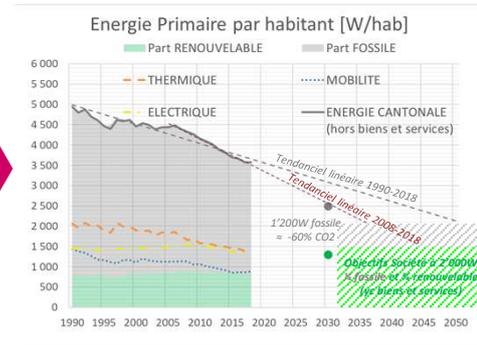
- Baisse de l'énergie finale cantonale depuis 2006, malgré l'augmentation de la population
- Baisse continue de l'énergie finale par habitant, forte pour les carburants (hors augmentation kérosène de l'aéroport), forte pour le logement et amorcée depuis 2010 pour l'électricité
- Part du fossile encore importante (près des ¾ plutôt que l'objectif société 2000W de ¼)



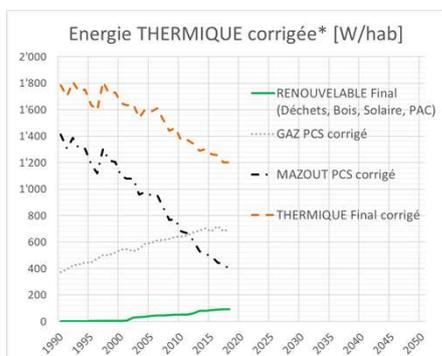
Démographie



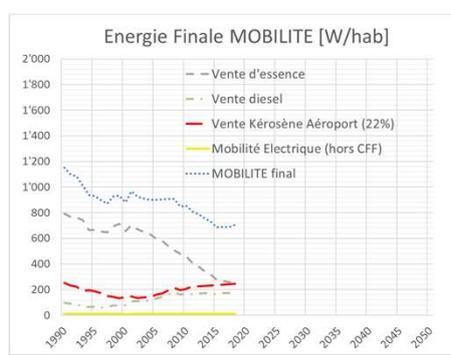
Energie Hors canton



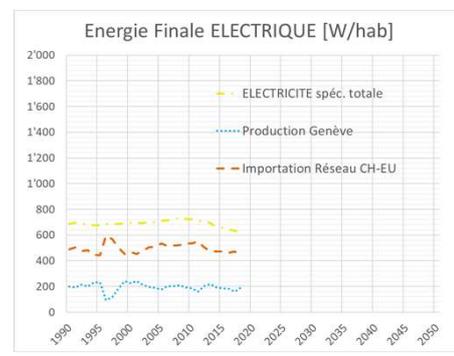
NB: Energie primaire ≈ Scope 1+2 (voir poster CO₂)



* Correction climatique avec DJU 12/20 tendancielle (-13 K.j/an)



Sources données : OCSTAT, SIG, UNIGE, OCEN



Evolutions futures

Même si la simple prolongation du passé semble compatible avec une consommation de 2'000W par habitant en 2050 (avec les limites de comptabilité vues plus haut), il faut souligner deux points cruciaux pour atteindre l'objectif de « société à 2'000W » :

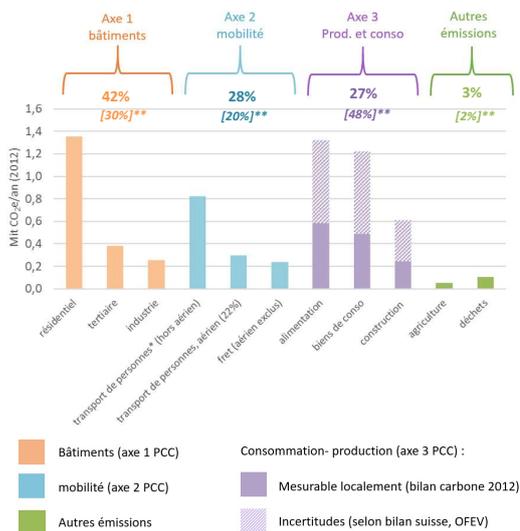
- L'effort sur la baisse de consommation doit être maintenu voir accru si on tient compte du phénomène d'écroulement (ou des rendements décroissants). Par exemple, l'énergie pour la mobilité ne baisse plus depuis 4 ans.
- La substitution du fossile par du renouvelable doit être vigoureusement renforcée si on veut atteindre l'objectif, dans un contexte de diminution de la demande : il s'agit de diviser par quatre la part du fossile à terme, dont 60% sont utilisés pour le chauffage et l'ECS et 40% pour la mobilité (y compris aviation).

Contexte et enjeux

- **Objectif cantonal :**
 - Réduction des émissions de gaz à effet de serre de 60% à l'horizon 2030 par rapport à 1990
 - Neutralité carbone en 2050
- **Périmètres de comptabilisation du plan climat cantonal (PCC) genevois**
 - Prise en compte des scopes 1, 2 et 3 : logique de responsabilité qui fait la spécificité de l'approche genevoise (la politique de réduction des émissions de GES de la Confédération et de la majorité des cantons est centrée sur les émissions locales, soit le scope 1)
 - Scope 1 : émissions directes dues aux combustions d'énergies fossiles sur le territoire genevois et émissions locales non énergétiques
 - Scope 2 : émissions indirectes liées aux énergies nécessaires en amont (hors territoire genevois) pour la satisfaction des besoins énergétiques du territoire
 - Scope 3 : autres émissions indirectes, liées en particulier aux matériaux et process nécessaires à la production des biens et services importés (exportations déduites)
 - Postes d'émissions considérés :
 - Le plan climat prend en compte les émissions dues aux combustibles fossiles et les émissions dites «non énergétiques» (couvrant gaz fluorés, méthane et protoxyde d'azote liés à l'agriculture, ...)
 - Le bilan carbone 2012 prend en compte les émissions liées au trafic aérien. Les 22% de ces émissions considérés comme attribuables aux genevois sont intégrés dans l'ensemble des graphiques ci-dessous.
- **Concept de neutralité carbone :** définition genevoise à consolider
 - Environ 0,7 t CO₂/hab/an au maximum pour scope 1 + 2 + 3
 - Possibilité de compensation pour le scope 3

Focus 2012 (données bilan carbone avec 22% aérien ; complétées par OFEV pour scope 3)

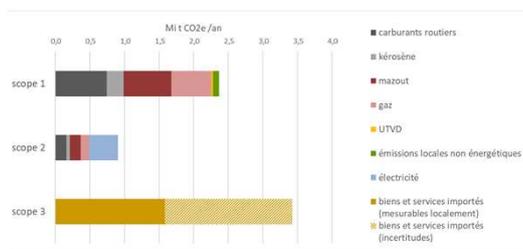
Répartition par secteur (ou poste d'émission)



Bilan 2012 :
4,8 à 6,8* Mi t CO₂e au total pour le canton soit 10,3 à 14,4* t CO₂e/hab

* Avec prise en compte des incertitudes sur le scope 3.

Répartition par scope



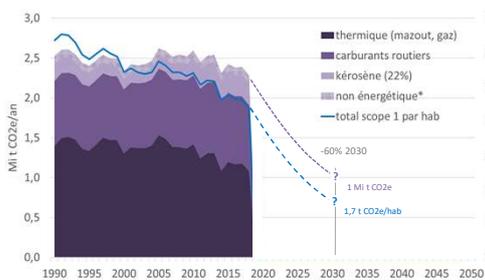
L'estimation des émissions «scope 3» est soumise à de fortes incertitudes du fait du manque de données fiables sur les flux de consommation concernés.

Grâce à de récents travaux méthodologiques menés au niveau fédéral sur les flux d'émissions liés aux importations (OFEV, 2020 ; OFS, 2018), les valeurs estimées pour ce scope dans le Bilan Carbone 2012 ont pu être mises en regard des moyennes suisses. Le différentiel, de l'ordre de 2 Mi t.CO₂e pour 2012 (près de 30% du total des émissions) s'explique par le fait que nombre d'informations n'étaient localement pas disponibles au moment de l'élaboration du Bilan Carbone de 2012. N'ont en particulier pas été pris en compte : certaines denrées alimentaires importées et fortement carbonées, les stocks de biens de consommation ou encore les impacts du numérique.

Les valeurs correspondant aux incertitudes sur le scope 3 ont été calculées sur la base du delta entre les émissions totales pour la suisse selon l'étude OFEV 2020 et les émissions totales pour Genève selon le Bilan Carbone, supposées identiques en première approche. Les émissions liées aux exportations sont, selon cette méthode, déduites du total des émissions.

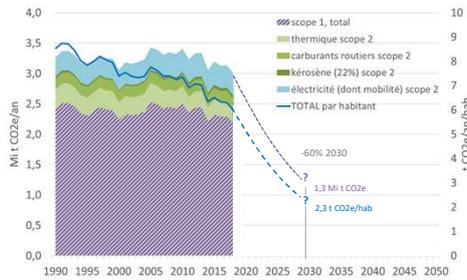
Evolution 1990-2018 et perspectives futures (données Bilan Carbone, OFEV et OCSTAT)

SCOPE 1



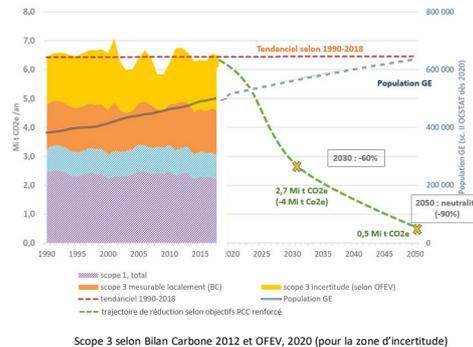
Sources: OCSTAT (mazout, gaz, électricité, avec mobilité élec estimée) et Bilan carbone (UTVD pour 2012, considéré stable 2005-2018)

SCOPE 1 + SCOPE 2



Facteurs CO₂ «scope 2» issus du Bilan Carbone (en g CO₂e/kWh) : gaz 40; mazout 58; kérosène 52; essence 53; diesel 65; mix électrique 122; électricité PV 55.

SCOPE 1 + SCOPE 2 + SCOPE 3



Scope 3 selon Bilan Carbone 2012 et OFEV, 2020 (pour la zone d'incertitude)

- **Scope 1 - Émissions territoriales (y compris non énergétiques) :** diminution de 10% environ entre 1990 et 2018 (-0,4%/an en moyenne). L'atteinte des objectifs 2030 (-60%) implique une multiplication par plus de 10 du rythme de réduction annuel de ces émissions directes pour les années à venir (5% par an en moyenne d'ici à 2030). A noter que les émissions énergétiques directes liées à l'axe 1 du PCC et correspondant au périmètre de la politique énergétique (énergies fossiles liées aux «bâtiments») ont quant à elles baissé de plus de 20% sur la même période.
- **Scope 2 - Émissions indirectes liées à la production d'énergies :** la prise en compte de l'électricité, dont la consommation a augmenté de 18% entre 1990 et 2018 (mais s'est réduite de 6% entre 2012 et 2018), a pour conséquence une moindre diminution des émissions sur la période 1990-2018 que pour le scope 1. Ces valeurs sont toutefois fortement dépendantes du contenu carbone de l'électricité (ici considéré, par défaut, comme stable à 122 gCO₂e/kWh), qui apparaît comme un élément clé pour l'atteinte des objectifs CO₂ à 2030 et 2050.
- **Scope 3 - Autres émissions indirectes (biens et services importés) :** tendanciellement en augmentation, elles constituent une cible prioritaire pour le PCC renforcé, dont les leviers demeurent toutefois restreints sur ce thème. L'évolution de la densité carbone des importations influera sur les marges de manœuvre locales pour atteindre la neutralité.

Poster 3 Indicateurs et problématiques du comptage

Contexte et enjeux

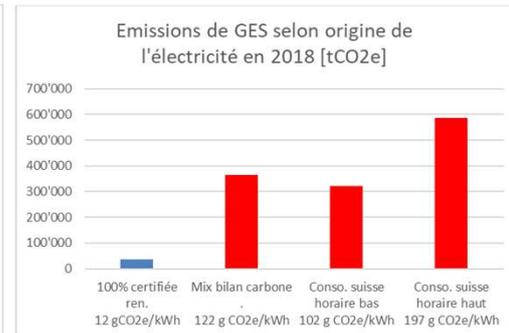
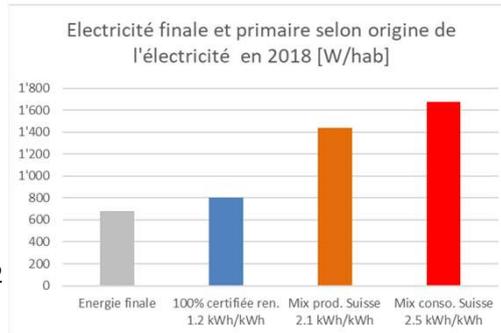
- Le suivi de la politique énergétique et climatique du canton doit permettre de vérifier si l'action publique permet d'atteindre les objectifs. Il doit permettre de caractériser le système énergétique et d'identifier l'efficacité des axes d'action, ceci via un ensemble d'indicateurs suffisamment compréhensible, simple et robuste.
- La production des indicateurs associés à ces politiques se heurte à des problématiques de comptage liées notamment au périmètre pris en compte, à la méthode de comptage, ou à des comptabilisations parfois effectuées en double.

Facteurs de conversion en énergie primaire et en émissions de GES

- Difficulté à suivre l'évolution des facteurs de conversion d'énergie finale en énergie primaire ou en émissions de GES.
- Mise à jour de ces facteurs pas sous la responsabilité du canton (pas de maîtrise).
- Facteurs de conversion pour les énergies renouvelables locales et inépuisables (air, solaire, lac, etc.) en adéquation avec les objectifs cantonaux.

Energie primaire et GES de l'électricité consommée à Genève

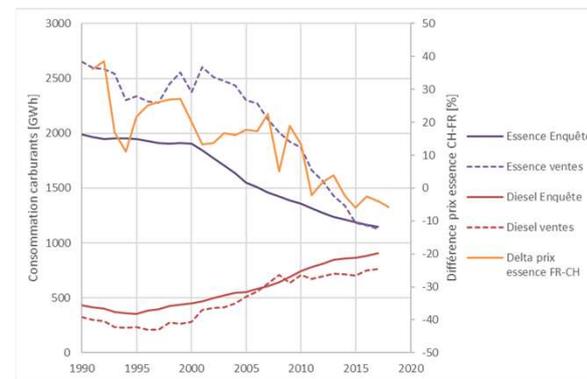
- L'énergie primaire de l'électricité consommée dans le canton, calculée sur la base des statistiques cantonales, est influencée par l'origine de l'électricité. Le facteur de conversion énergie primaire – énergie finale est de 2.1 kWh/kWh en considérant le mix de production d'électricité suisse, de 2.5 en considérant le mix de consommation suisse, ou de 1.2 s'il est considéré que la totalité de l'électricité consommée dans le canton est d'origine certifiée renouvelable (majoritairement hydroélectrique).



- L'écart est plus important en termes de GES. Le contenu carbone de l'électricité (scope 2) se situe entre 109 gCO2e/kWh à 197 gCO2e/kWh sur la base du mix marginal horaire. Il est réduit à 12 gCO2e/kWh en considérant que l'électricité est d'origine certifiée et 100% renouvelable (hydroélectrique). Le bilan carbone du canton réalisé en 2012 se réfère de manière générale au facteur de conversion du mix suisse d'électricité, soit 122 gCO2e/kWh. Seule l'électricité photovoltaïque produite localement est affectée d'un facteur différent de 55 gCO2e/kWh.

Méthode de comptage

- Le comptage de la consommation énergétique ou des GES dus à la mobilité routière peut se faire par deux approches: sur la base des statistiques de ventes des carburants ou sur la base des enquêtes de mobilité.
- La première à l'avantage de la facilité du comptage, mais ne prend pas en compte l'effet du tourisme de carburants, ni la consommation des genevois lors des déplacements à l'extérieur avec nuitée (estimés par l'Office cantonal du transport à un peu moins de 10%).
- Dans la deuxième, la périodicité du calcul est de 5 ans (périodicité des enquêtes). Le modèle pour estimer la consommation énergétique dépend d'un plus grand nombre de variables (i.e. évolution de la consommation du parc automobile), qui rendent le modèle moins robuste que le premier.



Flux aux frontières – mobilité terrestre et aérienne

- La mobilité des frontaliers est prise en compte dans l'indicateur utilisé dans la politique climat. Elle l'est partiellement dans l'indicateur société à 2000 watts lorsque la mobilité terrestre est évaluée sur la base des ventes de carburants.
- La mobilité des voyageurs aériens non genevois est actuellement estimée à 78% et n'est pas comptabilisée dans les deux indicateurs, alors que l'énergie primaire et les GES induits par l'infrastructure aéroportuaire sont inclus dans le bilan énergétique et gaz à effet de serre du canton. Le fret aérien n'est également pas considéré.

Double comptage

- Les facteurs de conversion en énergie primaire (scope 2) de certaines filières énergétiques prennent en compte les infrastructures relevant du scope 3. Ceci s'applique par exemple à l'énergie primaire d'origine photovoltaïque, qui prend en compte l'énergie grise associée à la construction des panneaux solaires.
- La production de chaleur via l'usine d'incinération est prise en compte dans le bilan société à 2000 watts, elle doit toutefois être déduite du domaine biens et services.

Biens et services

- Certaines infrastructures (aéroport, CERN, hôpitaux, universités, industries, serveurs, ...) exportent des biens ou des services qui devraient être déduits du bilan énergétique ou des GES imputés aux genevois.
- La consommation énergétique annuelle associée aux biens et services importés (déduction faite de l'export) était de l'ordre de 3400 W/hab en 2005 au niveau suisse selon une étude datant de 2012, des chiffres plus récents n'ayant pas été recensés. Les émissions de GES liées aux biens et services importés (scope 3) ont été évaluées au niveau Suisse pour la période 2000-2017 dans le cadre de travaux récents. En complétant les informations connues pour le territoire genevois (bilan carbone 2012) par les données suisses, les émissions associées aux biens et services peuvent en première approximation être estimées à environ 7 t CO2e/hab pour le canton en 2012.

Poster 4 Objectifs chiffrés Energie- Climat, vers une convergence

Enjeux majeurs

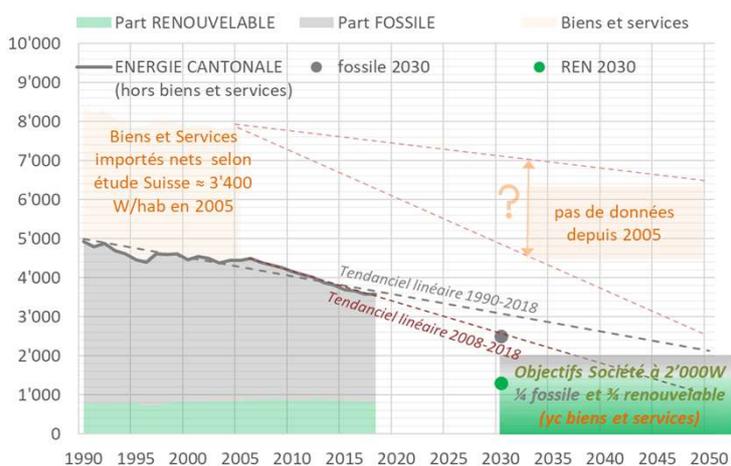
- Les quatre points suivants sont reconnus comme essentiels pour l'énergie et le climat :
 - Être capable de poursuivre la baisse de consommation d'énergie finale par habitant**, malgré le phénomène d'écrémage. **Compléter les mesures sur l'efficacité (mieux) avec celles portant sur la sobriété (moins ou autrement).**
 - Augmenter la quantité d'énergie renouvelable locale, thermique et électrique, malgré une demande en reflux et les difficultés d'assurer la concordance de temps entre production et consommation.** Il y a un très gros développement à effectuer dans le domaine du renouvelable local thermique et électrique ainsi que dans la mobilité (transfert vers l'électricité).
 - Bien appréhender les évolutions futures du contenu carbone et du facteur de conversion « final vers primaire » pour l'électricité, qui est un déterminant majeur.** Ces aspects doivent être traités en relation avec l'évolution de ces paramètres à l'extérieur du canton.
 - Intégrer les biens et services importés nets (bilan import-export) dans les statistiques cantonales de façon pertinente, tant pour l'énergie que pour le climat.** Pour l'instant, ceci reste problématique : leur évaluation reste sujet à des réelles difficultés tant méthodologiques que techniques (récupération des données).

Constats principaux

- Hors biens et services importés, il y a une bonne cohérence dans les évaluations entre énergie et CO2, qui se basent sur les mêmes données. Les énergies finales et primaires du concept société à 2000W recourent assez fidèlement les périmètres scope 1 et scope 2 du plan climat. Au niveau cantonal, la quantité de CO2 et autres gaz à effet de serre issus des activités non énergétiques ne représentent pas une part importante.
- Concernant les biens et services importés :
 - Leur énergie grise est intégrée dans le concept « société à 2'000W » mais pour l'instant pas comptabilisée.
 - Leurs émissions de gaz à effet de serre sont intégrées dans le PCC mais très difficile à quantifier.
 - Les politiques publiques ne peuvent intervenir que de manière indirecte.
- Les politiques énergétique et climatique cantonales se sont focalisées jusqu'à maintenant sur les scopes 1 et 2, il s'agit de déployer en complément aux mesures actuelles, d'autres instruments pour agir sur les impacts des biens et services importés (énergie grise importée et émission GES liées).

Objectifs «souhaitables» et «probables-possibles»

Energie Primaire par habitant [W/hab]

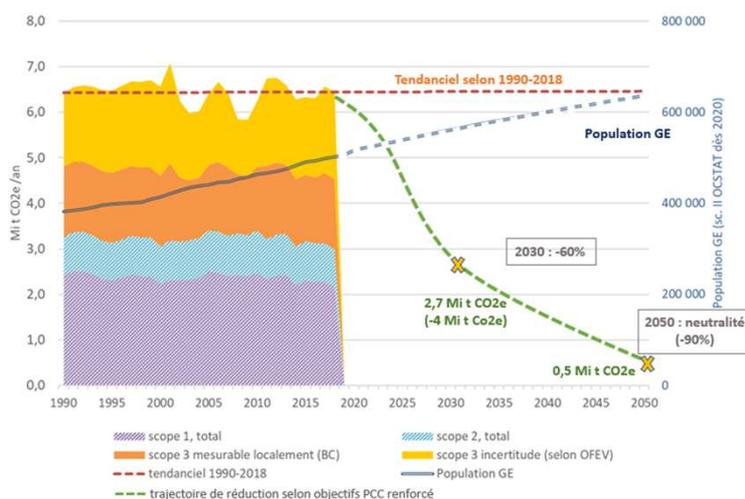


Energie primaire (compatible avec PCC+ de -60% GES)

- 2018 : 3'600+ W/hab
- 2030 : 2'500+ W/hab. dont env. 50% de EnR&R
- 2050 : selon la décision politique attendue sur la répartition entre l'énergie primaire/scope 2 et les biens et services
- Long terme : ¼ renouvelable et ¼ fossile (yc biens et services importés nets)

2018 : * sans tenir compte des biens & services importés et exportés, estimés à 3'400W/hab à l'échelle suisse en 2005.

SCOPE 1 + SCOPE 2 + SCOPE 3



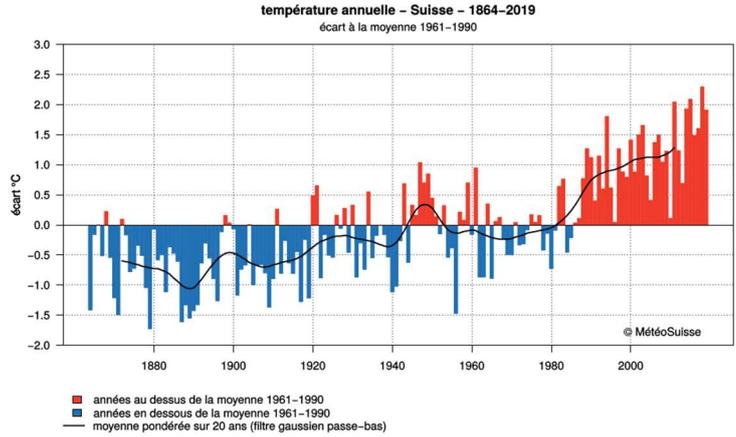
Emissions GES scope 1+2+3 :

- 2018 : 10,3 à 14,4* t CO2e/an/hab
- 2030 : 4,6 tCO2e/an/hab
- 2050 : 0,7 tCO2e/an/hab

2018 : * avec prise en compte des incertitudes sur le scope 3.

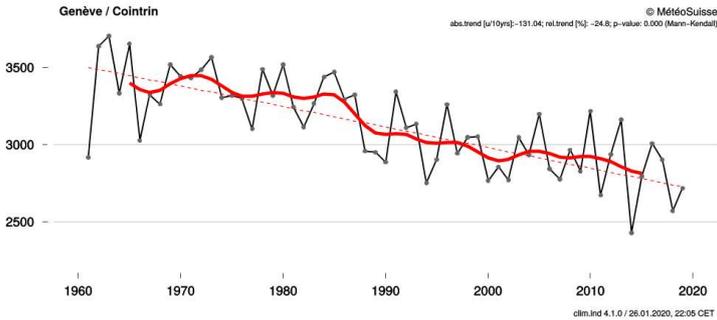
Evolution passées

Hausse significative des températures depuis le début du XXème siècle



Impacts sur les besoins en chauffage et en climatisation

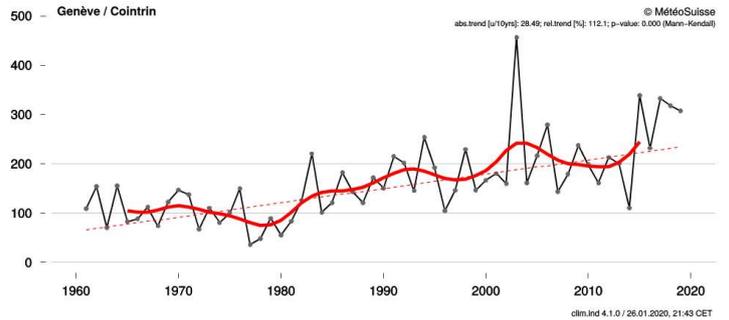
Degrés-jours de chauffage 20/12 [°C] année calendaire (jan.-déc.) 1961-2019



Tendance: -130 DJ par tranche de 10 ans

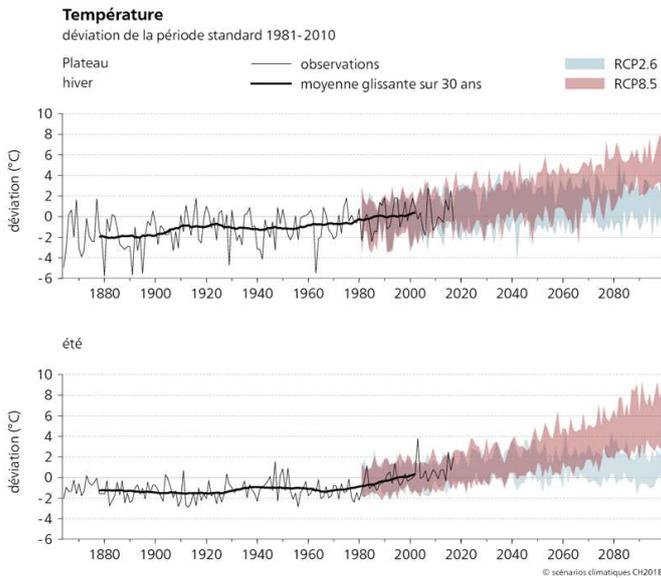
En 2050: ≈ 2'350 DJ20/12 ? (proche des conditions observées en 2014)

Degrés-jours de refroidissement 18.3/18.3 [°C] année calendaire (jan.-déc.) 1961-2019



Evolution futures

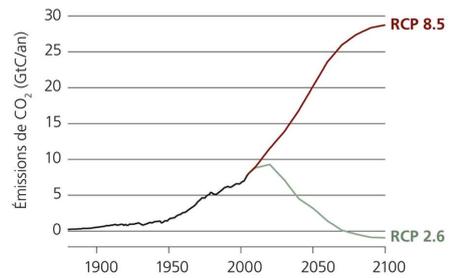
Deux scénarios climatiques en fonction de l'évolution mondiale des émissions de gaz à effet de serre



Scénarios d'émissions

Émissions mondiales nettes de CO₂ d'origines fossile et industrielle
Source: adapté de la figure IPCC 2013/WG1/Box 1.1/Figure 3b

- Sans mesures de protection du climat
- Avec des mesures significatives de protection du climat

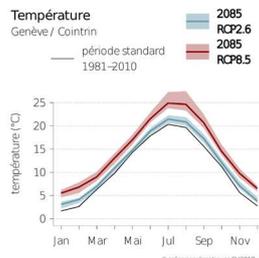
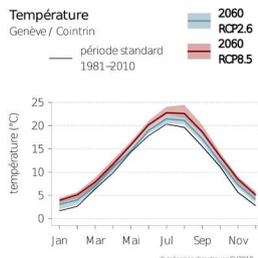
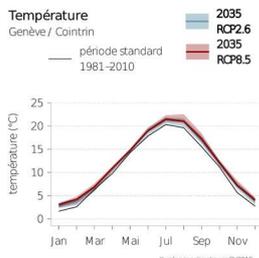


Tendance pour la fin du XXIème siècle :

- RCP 2.6 → +0.6°C à +1.7°C
- RCP 8.5 → +3.1°C à +5.0°C

Période de référence : 1981-2010

Source MétéoSuisse



Tendance pour la fin du XXIème siècle :

- RCP 2.6 → +1.4°C en hiver et +1.1°C en été
- RCP 8.5 → +4.0°C en hiver et +4.2°C en été

Période de référence : 1981-2010

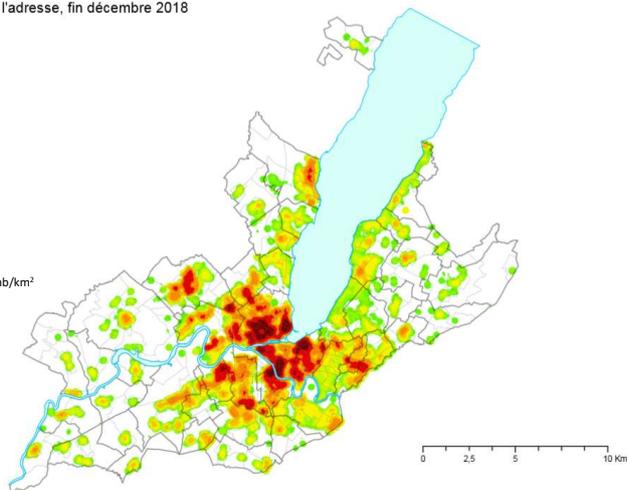
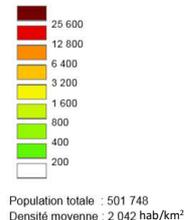
Source MétéoSuisse

Etat de la population dans le canton

- 501'748 habitants en 2018

Population résidente
Canton de Genève, à l'adresse, fin décembre 2018

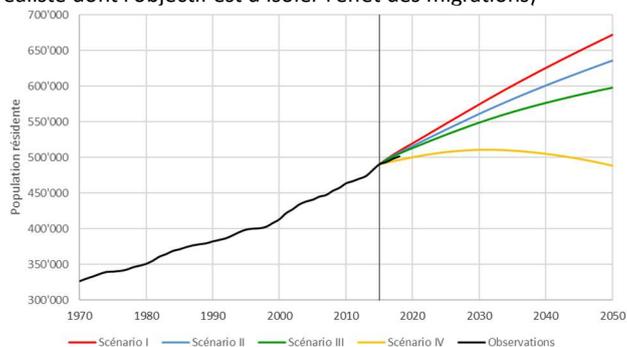
Densité habitants / km²



Projection évolution démographique

Quatre scénarios réalisés en 2016, distingués uniquement par le niveau du solde migratoire:

- Scénario I: Croissance dynamique de l'Espace transfrontalier et concentration du surplus migratoire dans le canton
- Scénario II: Croissance dynamique de l'Espace transfrontalier et diffusion relative de l'apport migratoire dans les 3 zones de l'Espace
- Scénario III: Faible croissance économique, surplus migratoire plus faible
- Scénario IV :«Portes fermées», apport migratoire nul (scénario jugé irréaliste dont l'objectif est d'isoler l'effet des migrations)



Projection population 2050 entre 598'000 et 672'000 habitants (sc. III et I), soit entre +19% et +34% par rapport à 2018

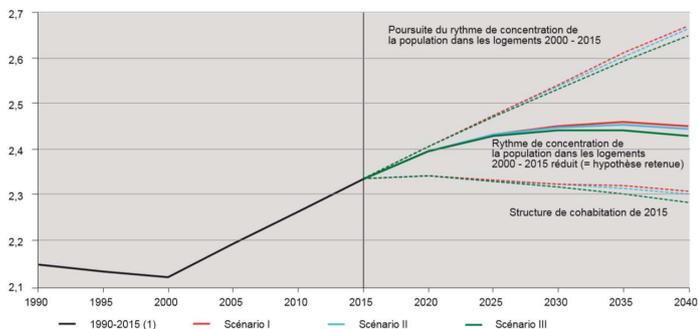


Quel que soit le scénario envisagé, la proportion des personnes âgées de 65 ans ou plus progresserait fortement.

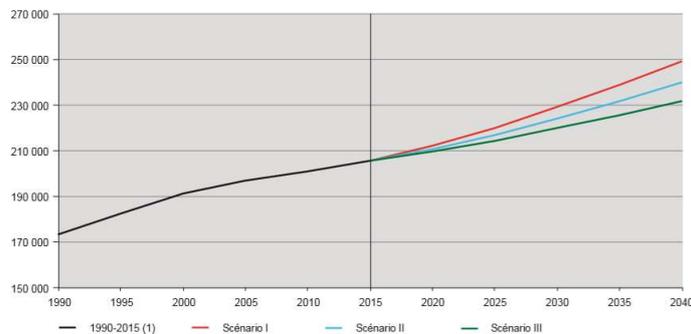
Projection 2018 (réalisée en 2016) vs observation 2018:
surestimation entre +3'939 hab (sc.III) et +7'562 (sc. I)

Projection évolution du nombre de ménages et logements

Evolution de la taille des ménages selon trois hypothèses de cohabitation (nombre moyen de personnes par ménage)



Evolution du nombre de ménages



Environ 230'000-250'000 ménages d'ici 2040

Augmentation du nombre de logements occupés entre 2015-2040: de +26'200 et +43'600 selon le scénario démographique

Enjeux en matière d'aménagement du territoire

Besoin d'augmenter l'offre en logements alors qu'il reste peu de surfaces disponibles à bâtir (<5% des surfaces existantes)

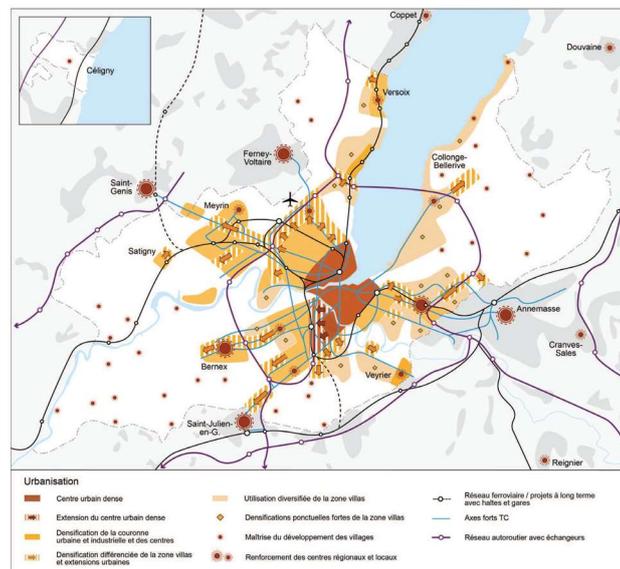
Objectifs du plan directeur cantonal: une agglomération compacte, verte et multipolaire. Les grandes orientations urbanistiques :

- La **densification** urbaine
- L'**extension** urbaine compacte

Potentiel de réalisation de logements sur la période 2016-2030 estimé à 39'000

Sources:

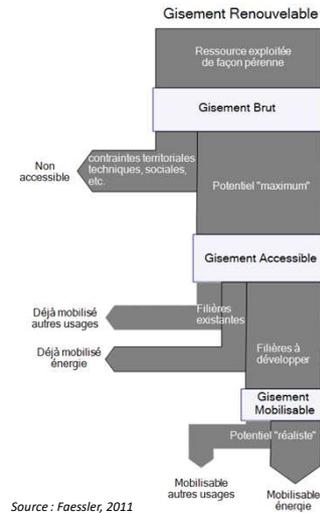
- OCSTAT, Projections démographiques pour le canton de Genève. Population résidente de 2016 à 2040, 2016.
- OCSTAT, Projections du nombre de ménages et de logements dans le canton de Genève jusqu'en 2040, 2019.
- Plan directeur cantonal 2030



Ressources renouvelables locales/régionales mobilisables

Définitions des gisements ou potentiels renouvelables

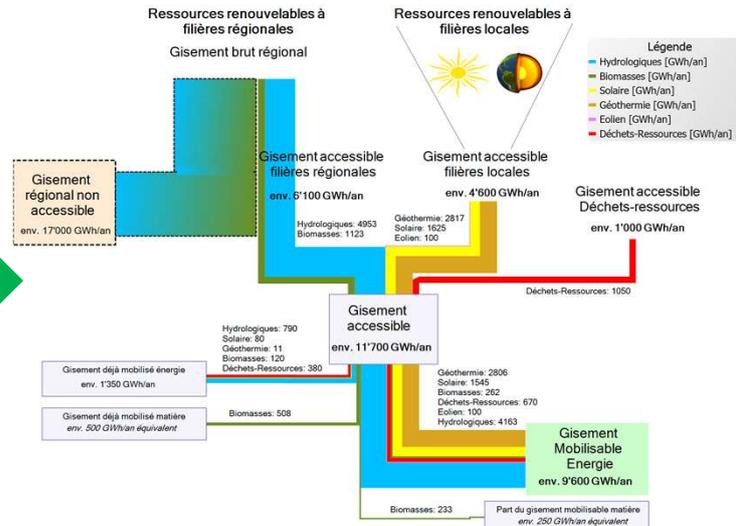
Trois types de gisements des ressources renouvelables locales peuvent être définis



- Le **gisement brut** représente le flux annuel mesuré ou estimé d'une ressource exploitée de façon pérenne dans un territoire donné.
- Le **gisement accessible** est la part du gisement brut valorisable après prise en compte de facteurs limitants environnementaux, sociaux, techniques, ne tenant pas compte de l'évolution technico-économique du marché associé. Il s'agit d'une estimation d'un potentiel maximum actuel.
- Le **gisement mobilisable** est la part estimée du gisement accessible après déduction des ressources déjà utilisées par les filières en place. Selon le type de ressource (i.e. biomasses), ce gisement mobilisable peut encore être divisé entre des filières « énergie » ou des filières « autres usages ».

Source : Faessler, 2011

Etat des lieux 2018 des gisements renouvelables genevois (GWh/an)



Remis à jour à partir de Faessler, 2011

Energies encore potentiellement mobilisables à partir des ressources renouvelables locales¹

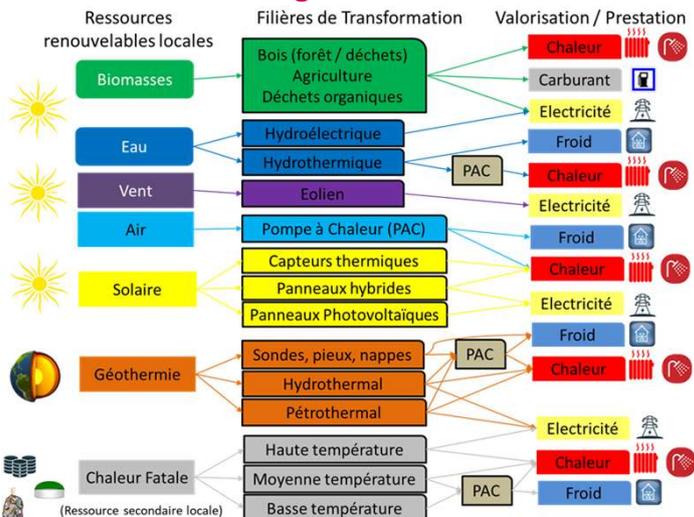
Ressources	Accessible	Déjà Mobilisé	Mobilisable Energie	
	GWh/an	GWh/an	GWh/an	W/hab
Hydrothermie	4'060	40	4'020	920
Solaire thermique	225	20	205	50
Géothermie	2'820	10	2'810	640
Biomasses ²	380 (1'120)	120 (630)	260	60
Air ³	?	20	?	?
Déchets STEP	540	0	540	120
Déchets UVTD	510	380	130	30
Hydroélectricité	890	750	140	30
Solaire PV	1'400	60	1'340	310
Eolien	100	0	100	25
Somme	≈ 11'000	≈ 1'400	≈ 9'600	≈ 2'200

Contraintes et limites de l'Etat des lieux

- Il s'agit d'une photographie du système énergétique genevois en 2018
- Les gisements sont estimés avec des techniques actuelles (pas de rupture ni d'évolution technologique → i.e. rendement PV par m² va encore s'améliorer)
- Les gisements sont annualisés et ne tiennent pas systématiquement compte de l'intermittence de certaines ressources, ni des besoins saisonniers ou journaliers liés
- Les synergies entre ressources lors de leur valorisation n'ont pas été traitées, alors qu'elles pourraient permettre des gains d'efficacité (i.e. réseau anergie)
- L'air ambiant n'est pas compris car difficilement quantifiable, mais son potentiel est très grand
- La géothermie et l'hydrothermie sont plus limitée que cet état des lieux en raison du besoin d'avoir des réseaux pour valoriser ces ressources (voir ci-dessous)

- ordre de grandeur tenant compte de plusieurs études récentes (arrondi pour 500'000 habitants) : valorisation chaleur STEP, Gisement renouvelables romands, programme géothermie2020, cadastre solaire du Canton GE, étude comparative cadastre solaire, Conception Eolienne en Suisse, etc...
- Biomasses intégrent : bois naturel Grand Genève, Bois usagés produits à GE, coproduits agricoles GE, Biogaz issus des déchets organiques et des STEP Genevoises.
NB : la part accessible de 1'120 GWh/an comprend Bois naturel, Bois usagés et coproduits agricoles déjà valorisés dans les filières matières (env. 510 GWh/an d'équivalent énergie) et le Bois naturel du Grand Genève potentiellement valorisé en matière (env. 230 GWh/an d'équivalent énergie) – voir schéma ci-dessus
- Air considérée comme une ressource « infinie », limitée par l'intégration des PAC dans le système énergétique (voir ci-dessous)

Les ressources encore potentiellement mobilisables doivent être intégrées dans leurs filières renouvelables locales envisageables → La valorisation de ces ressources sont soumises à de fortes contraintes



Source : HGE, 2019

- Contraintes Techniques (offre-demande)**
 - Concordance de temps } Stockage (voir Poster 12)
 - Concordance de lieu } Réseaux (voir Poster 9)
 - Concordance de qualité } Consommation électrique additionnelle (PAC)
- Contraintes Economiques et Sociales**
- Au final, les 9'600 GWh/an encore mobilisable (env. 5'000 chaleur, env. 3'000 froid, env. 1'600 électricité) ne pourront jamais entièrement être mobilisés, notamment en raison des contraintes de la demande et de la concurrence entre ressource pour l'accès aux réseaux thermiques**

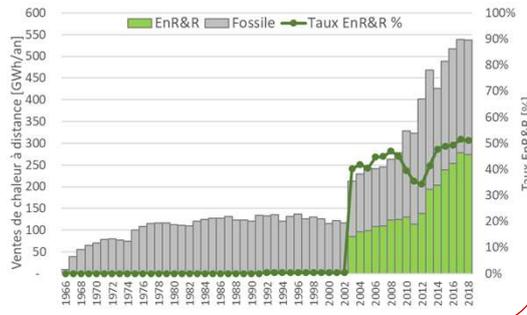
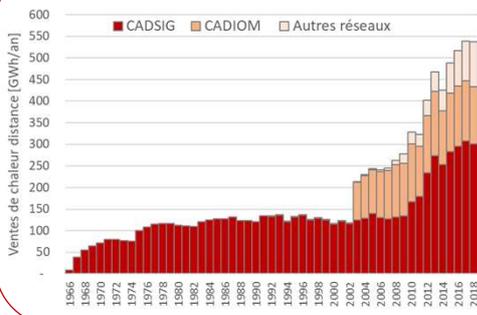
Réseaux thermiques

Evolution du déploiement des réseaux thermiques

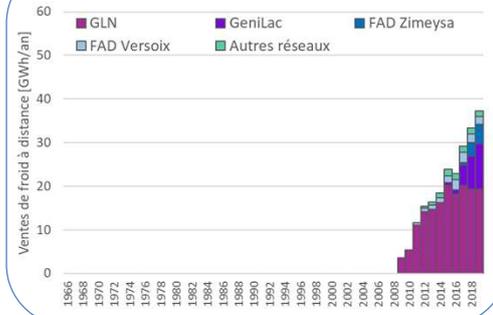
Les périodes-clés de développement:

- 1960-1975: 1^{ère} phase de déploiement du CADSIG liés à des opportunités d'alimenter de nouveaux grands ensembles urbains
- Années 2000: déploiement du réseau CADIOM pour valoriser les rejets thermiques de l'UVTD des Cheneviers et construction du réseau GLN pour rafraîchir les bâtiments des organisations internationales avec le Lac Léman
- Dès les années 2010: interconnexion, densification, extension, diversification des réseaux (chaud&froid) pour maximiser la valorisation des EnR&R locales

Evolution des ventes de chaleur à distance



Evolution des ventes de froid à distance



Situation 2018: les CAD couvrent 13% de la demande de chaleur cantonale, avec un mix EnR&R de 50% (dont 90% vient de la récupération de chaleur à l'UVTD)

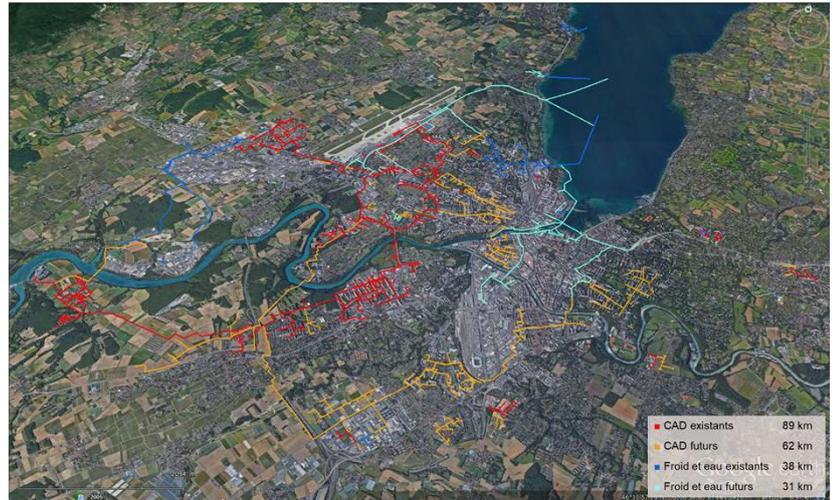
Planification du déploiement des réseaux d'envergure cantonale sur le territoire

Vision actuelle pour 2030

Couvrir 30% de la demande de chaleur du canton par des réseaux thermiques alimentés à 80% par des EnR&R

Les projets d'envergure cantonale horizon 2035:

- **CADSIG/CADIOM** : env. 1'000 GWh/an de chaud
- **GeniLac (y.c. GLN)** : env. 150 GWh/an de froid & 150 GWh/an de chaud (via PAC)



*Tracés futurs en études en 2018, vision à 10 ans, carte évolutive

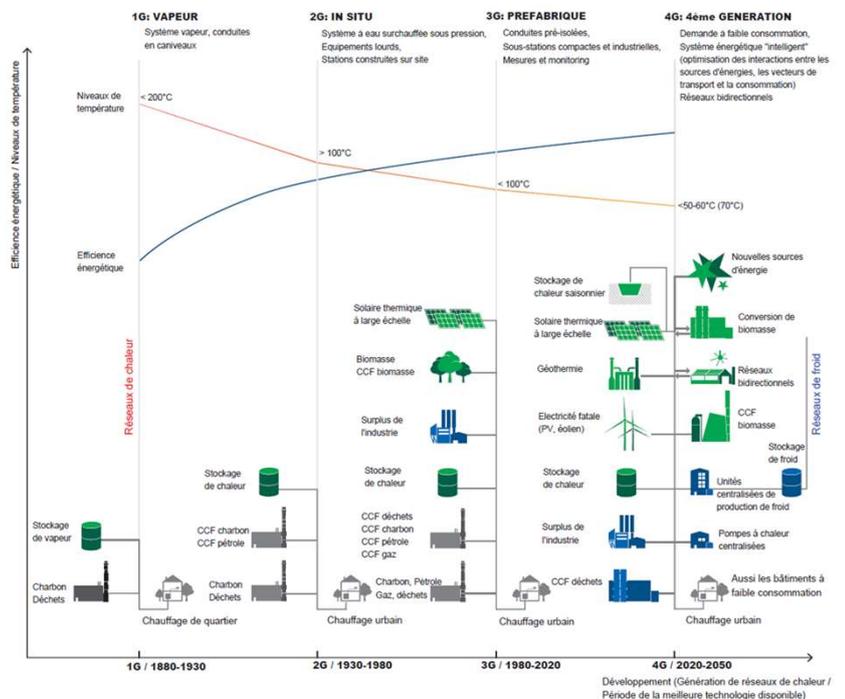
Enjeux: convertir les réseaux de 2^{ème} génération vers des réseaux de 3&4^{ème} génération

Mettre à disposition de nouveaux moyens de production thermique non fossile :

- Rejets thermiques
- Géothermie
- Hydrothermie
- Biomasse

Réduire les niveaux de températures de réseaux

- Optimisation/adaptation des réseaux
- Optimisation/adaptation des sous-stations (fort enjeu au niveau du bâtiment)



Développement (Génération de réseaux de chaleur / Période de la meilleure technologie disponible)

Contexte et enjeux

Chiffres clés:

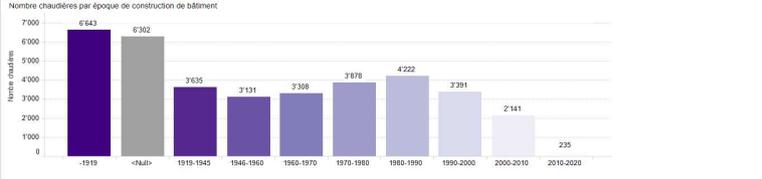
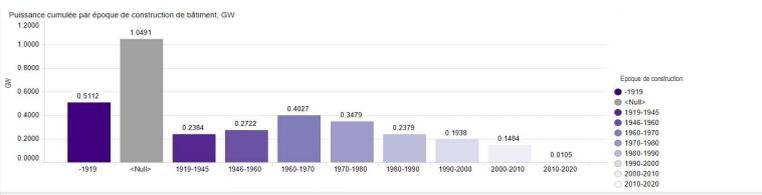
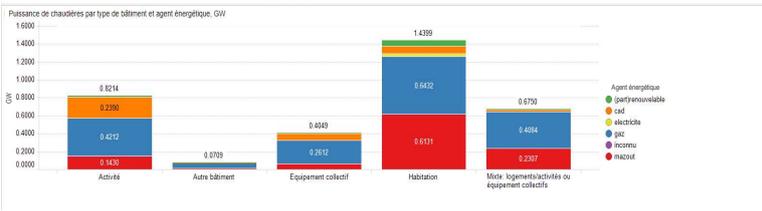
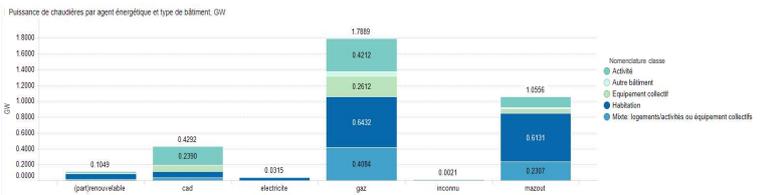
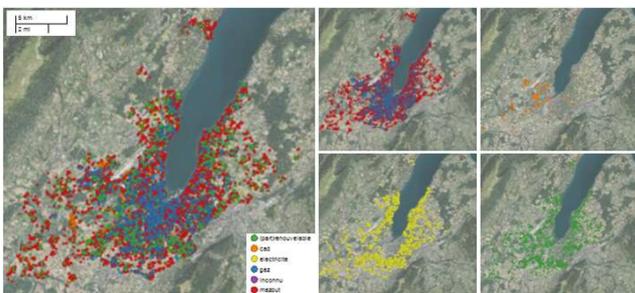
- **36'886** chaudières
- **3.41 GW** puissance installée

Objectifs de la politique énergétique et climatique cantonale dans le secteur de bâtiments:

- **Société à 2000 watts sans nucléaire**
- **-60%** émissions de gaz à effet de serre en **2030** vs. 1990
- **Neutralité carbone** en **2050**

Défis principaux:

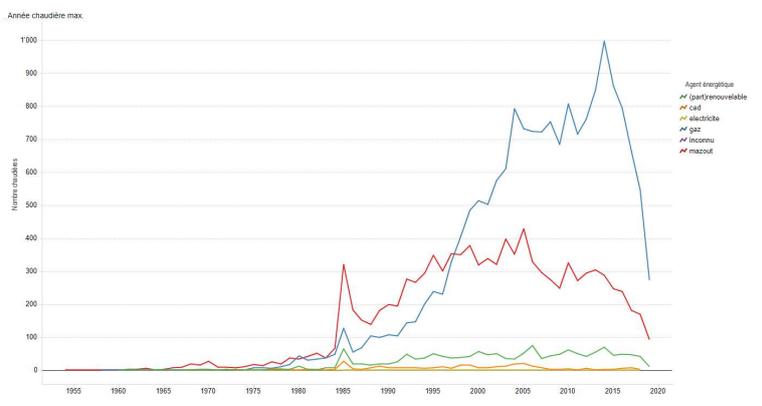
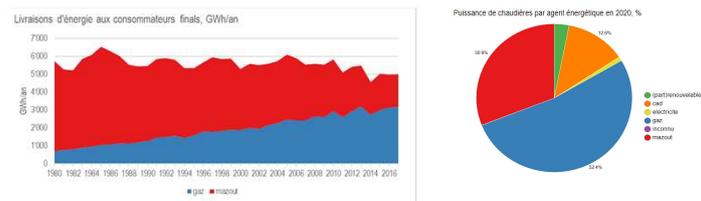
- Pour réduire la consommation d'énergie et les émissions des gaz à effet de serre, ainsi que d'autres polluants, les solutions techniques adéquates doivent être proposées (y compris optimisation des chaudières, passage au chauffage à distance, installation de pompes à chaleur, rénovation de l'enveloppe des bâtiments).
- Les solutions techniques implémentées doivent répondre aux valeurs du développement durable : apporter des effets positifs du point de vue environnemental, sociale et économique.
- Le choix des solutions techniques va dépendre de la typologie de bâtiments et de différents critères en lien avec la ville, les acteurs et la législation (i.e. protection du patrimoine, gestion du sous-sol, etc...).



Evolution 1980-2020

Défis principaux:

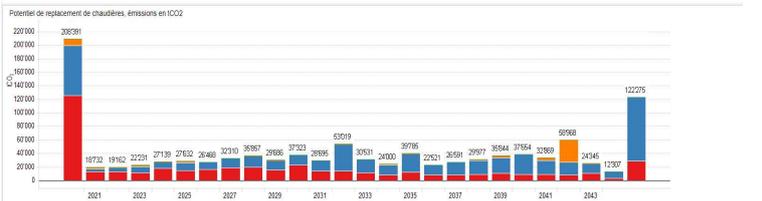
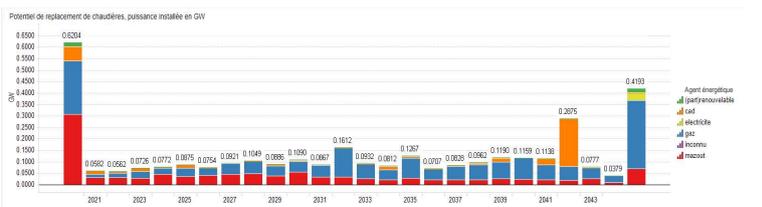
- Le marché du chauffage est dominé par les énergies fossiles. Actuellement, le changement de l'agent énergétique est dans la plupart des cas le passage du mazout au gaz naturel.
- La durée de vie technique d'une chaudière est environ 25 ans. La majorité des chaudières remplacées en début des années 2020s seront encore fonctionnelles dans les années 2040s.



Evolutions futures

Défis principaux:

- Pour réaliser la transition énergétique des bâtiments dans le domaine de chauffage, les barrières culturelles, économiques, techniques, légales et organisationnelles doivent être levées.
- Dans la mesure du possible, des instruments politiques divers et efficaces doivent être appliqués (i.e. normes et obligations, taxes, incitations financières et fiscales, mesures d'accompagnement des professionnels et des propriétaires), tout en gardant la cohérence avec les autres politiques publiques.



Le stockage thermique saisonnier

La fonction du stockage

Assurer la concordance temporelle entre une **source de chaleur** et la **demande**

Profils temporels des sources de chaleur

- Déphasé:**
- Solaire
 - Geocooling
 - ...

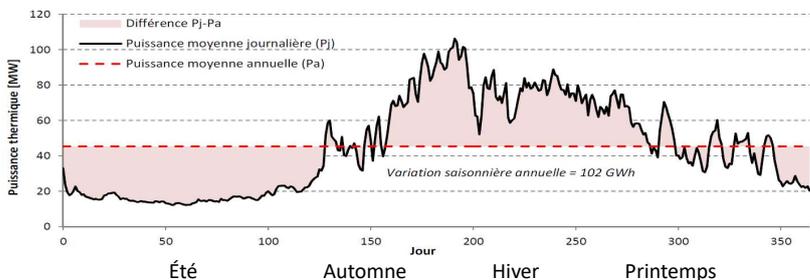
En ruban:

- Chaleur fatale
- Géothermie
- ...

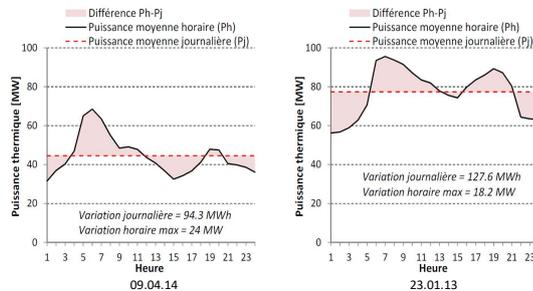
Profil temporel de la demande (ex. CADIOM+CADSIG)

Variations saisonnières

Source: Quiquerez L. et al. (2015)



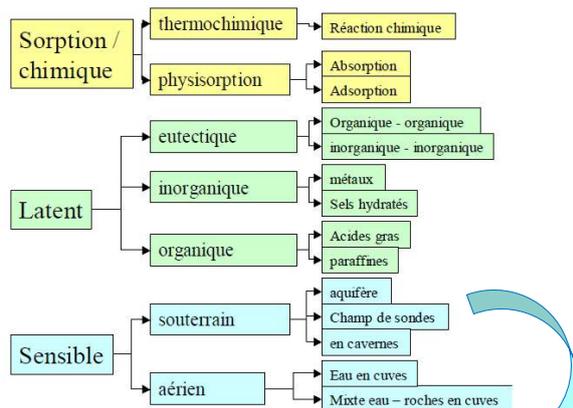
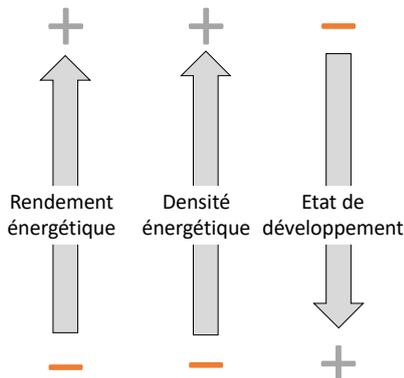
Variations intra-journalières



La fonction de stockage de chaleur suppose un cycle en deux temps : un temps de stockage de chaleur excédentaire ou d'une ressource déphasée par rapport au besoin et un temps de déstockage d'une partie de cette chaleur pour un usage décalé dans le temps. Elle diffère de la notion de ressource, qui suppose une quantité de chaleur "spontanément" présente et que l'on puise de façon plus ou moins pérenne. Ainsi, un champ de sondes géothermiques sans recharge estivale sera considérée comme une infrastructure exploitant une ressource limitée alors que le même champ avec recharge estivale (solaire, géocooling,...) deviendra une infrastructure de stockage. La fonction de stockage induit des contraintes sur le rapport entre la quantité de chaleur stockée et celle déstockée qui peuvent être fortes, ainsi que sur les niveaux de température.

Les techniques de stockage de Chaleur

- Réactions thermochimiques
- Matériaux à changement de phase
- Chaleur sensible



- 1 m³ water storage 1,000 EUR/m³
- 10,000 m³ earth pit 40 EUR/m³
- 100,000 m³ rock cavern 10 EUR/m³

Quelques chiffres-clés :

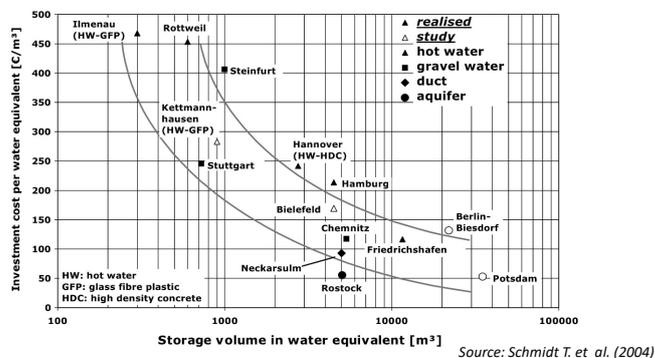


Fig. 6. Investment cost of seasonal heat stores. Source: Schmidt T. et al. (2004)

Sources :	Aquifère	Champ de sondes
Concept		
Milieux de stockage	sables / eau-graviers	terrain / roche
Capacité thermique [kWh/m³]	30 - 40	15 - 30
Volumes spécifique [m³ stock / m³ an]	2 - 3	3 - 5
Conditions géologiques	Existence d'aquifère naturel Haute conductivité hydraulique Existence d'aquitards en haut et en bas pour confiner le stock	Terrain permettant le forage Faible conductivité hydraulique Haute conductivité thermique
Construction	Faibles coûts de construction Impossible d'isoler thermiquement le système	Coûts de construction modérés Impossible d'isoler thermiquement le système (bas et latéral) Maintenance très difficile

Sur Genève, il existe quelques champs de sondes sur des bâtiments industriels ou administratifs avec un cycle de stockage – déstockage saisonnier. Pour le moment et malgré plusieurs tentatives, il n'y a que très peu d'infrastructures de stockage de chaleur saisonnier sur aquifères sur le canton. Jargonnant (Hydro-Géo, 2018) en est un rare exemple.

Intégration Système – Valorisation : Attention aux coûts !

$$\text{Coût unitaire du kWh valorisé} = \frac{\text{Coût unitaire de production} + \text{Coût unitaire de stockage}}{\text{Rendement stockage}}$$

Dépend de:

- Coût annuel (investissement, exploitation)
- Nombre de cycles de stockage annuel:
Stockage court terme: 100-300 cycles/an
Stockage long terme: 1.5-5 cycles/an

Le stockage de l'électricité

Les fonctions du stockage de l'électricité

- Assurer la concordance temporelle entre une **production électrique et son usage**
- Contribuer à la **capacité de pointe** et au **renforcement du réseau**
- Participer aux **services de secours** : fréquence, stabilité à court terme
- Pouvoir valoriser de l'électricité excédentaire plus tard mais **sous une autre forme (Power to gaz : P2G)**

Profils temporels des productions d'électricité :

Spontanément variable:

- Solaire PV (déphasé saisonnièrement et quotidiennement)
- Éolienne (plus de vent en hiver)

En ruban:

- Hydro fil de l'eau
- Nucléaire
- ...

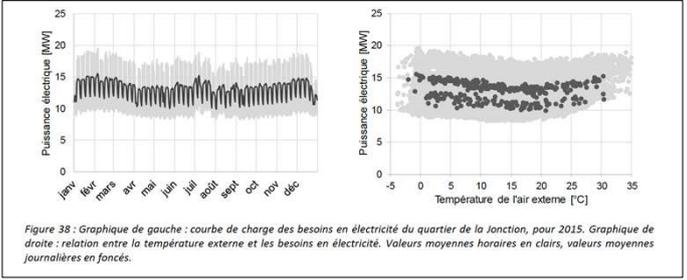
Réglable:

- Centrales thermiques
- Hydro avec retenue
- ...

Profil temporel de la demande

Variations saisonnières

Exemple du quartier de la Jonction (GE)



Source: De Oliveira Filho, Fleury et al, 2018

Variations infra-journalières et hebdomadaires

Exemple du quartier de la Jonction (GE)

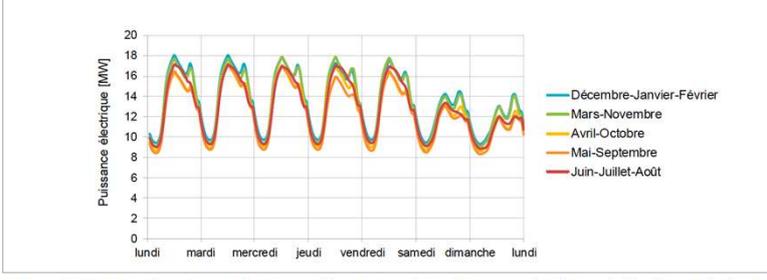
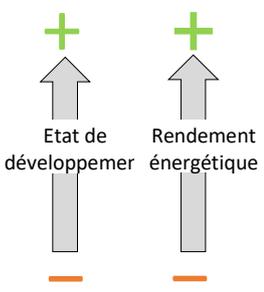


Figure 39: Moyennes des puissances horaires appelées par jour de semaine et par période-type de l'année pour les besoins d'électricité du quartier de la Jonction sur l'année 2015.

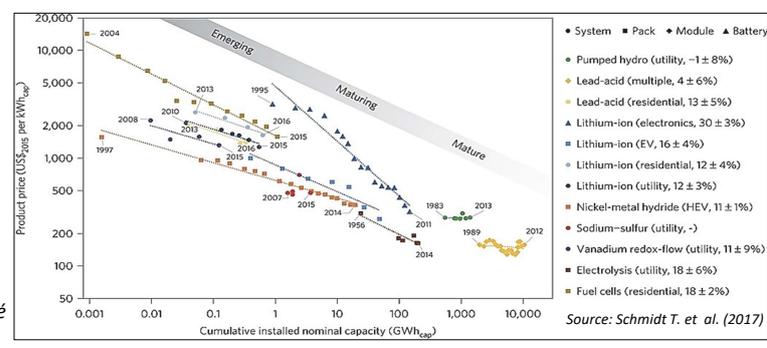
Les techniques de stockage de l'électricité : nombreuses et en pleine évolution

A plus ou moins longue échéance, les coûts des techniques de stockage pourraient descendre vers 50 à 100 €/MWh déchargé, ce qui les placerait à bon niveau. Cette évolution tient au passage actuel de ces technologies d'un marché de niche à un développement à grande échelle en accompagnement de l'essor des renouvelables à différents niveaux. Source: Villavicencio M. et Finon D, 2018

- Via énergie mécanique
 - Pompage turbinage
 - Air comprimé...
- Electro-chimie : Batteries
- Réactions chimiques : P2G (H2, CH4) usage non électrique également possible



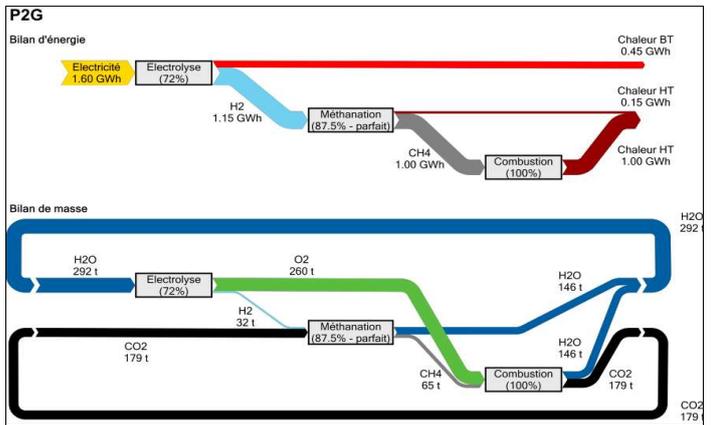
Courbes d'apprentissage des technologies de stockage de l'électricité



Source: Schmidt T. et al. (2017)

Pour le moment, il n'existe aucune infrastructure importante de stockage d'électricité excédentaire sur le canton.

Zoom sur le Power to Gaz



Les diagrammes de Sankey ci-contre indiquent les flux d'énergie et de masse nécessaires pour produire 1.15 GWh d'hydrogène ou 1 GWh de méthane à partir de 1.6 GWh d'électricité excédentaire. L'hydrogène généré peut être stocké pour un usage différé; il peut alors être utilisé en tant que tel ou transformé en méthane et celui-ci injecté dans le réseau de « gaz » existant.

Pour donner un ordre de grandeur, les 80'000 tonnes de CO2 émis aux Cheneviers chaque année permettraient de produire environ 200 GWh de méthane à partir de 320 GWh d'électricité estivale excédentaire (6 mois par an). Ceci nécessiterait le stockage de 6'400 tonnes d'hydrogène pendant quelques mois.

Intégration Système – Valorisation : Attention aux coûts !

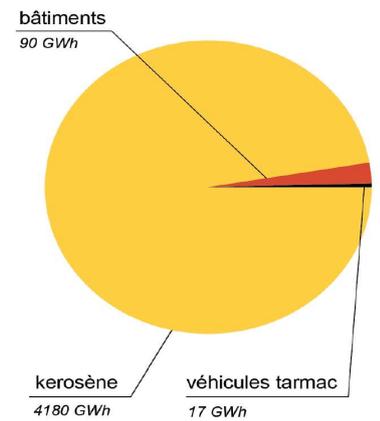
$$\text{Coût unitaire du kWh valorisé} = \frac{\text{Coût unitaire de production} + \text{Coût unitaire de stockage}}{\text{Rendement stockage}}$$

- Dépend de:
- Coût annuel (investissement, exploitation)
 - Nombre de cycles de stockage annuel:
 - Stockage court terme: 100-365 cycles/an
 - Stockage long terme: 1-5 cycles/an

Contexte et enjeux

- Depuis 2000, la consommation de kérosène est en forte augmentation du fait de la hausse du nombre de passagers à l'aéroport (17,7 millions de passagers en 2018 contre 7,8 en 2000).
- La consommation de kérosène des avions est à distinguer de celle des infrastructures de l'aéroport qui est comptabilisée dans l'énergie thermique, l'électricité ou l'énergie pour la mobilité terrestre.
- La gestion politique du trafic aérien et de l'aéroport dépend de différents niveaux de compétences: fédérales, cantonales, internationales.
- L'évolution du trafic aérien dépend également de l'évolution de la promotion économique du Canton et de ses institutions internationales.

Répartition de la consommation de l'aéroport de Genève en 2010



Source : master Demont, UNIGE

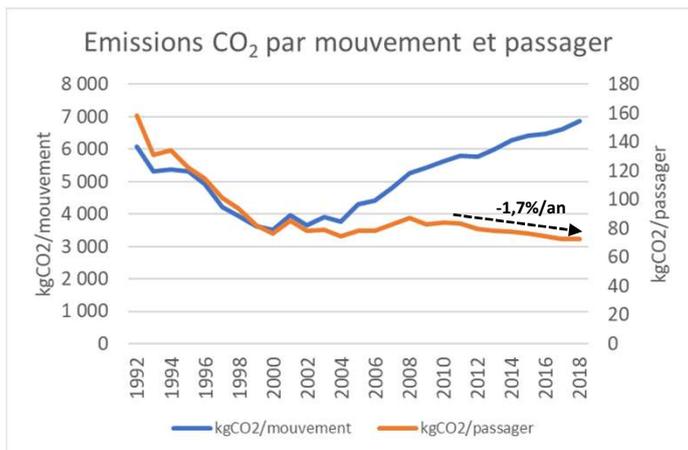
La part de trafic aérien attribuable à Genève

- La dimension régionale de l'aéroport de Genève amène à questionner le mode d'imputation de l'énergie consommée et/ou le CO2 émis.
- Méthode d'imputation prise en compte actuellement :
 - Part des résidents genevois des vols au départ de Genève : 22% des passagers selon le plan climat cantonal (PCC), source et année indéterminées.
 - D'un autre côté, la part de marché globale de Genève est évaluée à 30% en 2013 (Intraplan, Air Traffic Forecast Aéroport International de Genève, 2014).

Les objectifs énergie-climat du trafic aérien

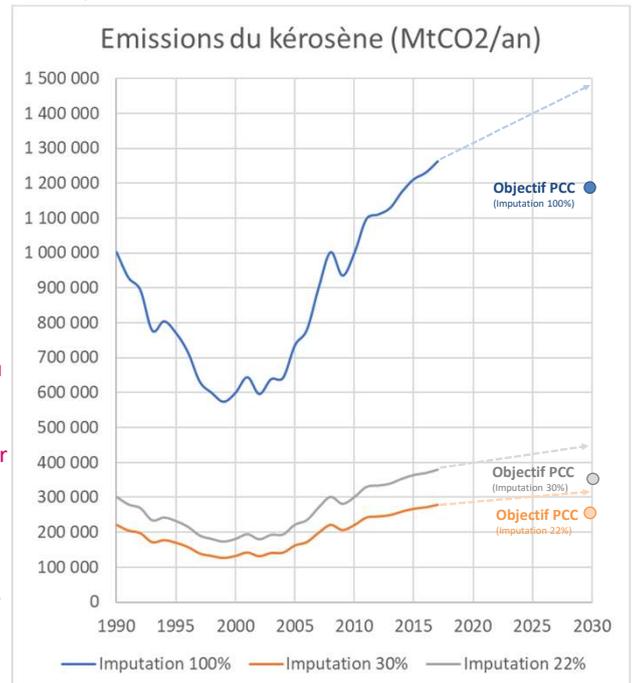
- Pas d'objectif énergétique dans la CGE concernant le kérosène.
- Objectif de stabilisation des émissions de CO2 en 2030 au niveau de 2014 dans le plan climat cantonal
 - 1,18 MtCO2 au total ou 0,56 tCO2/hab.an (imputation à 22% selon PCC).

Evolution 1990-2018



Source : OCSTAT, traitement J.Strobel

Utilisation du tendancier -1,7%/an en kWh/passager + Différents niveaux d'imputation au canton de Genève



Evolutions futures

- Les prévisions de l'aéroport concernant l'augmentation du trafic aérien prévoient 25 millions de passagers en 2030, ce qui paraît difficilement compatible avec l'objectif 2030 selon l'évolution tendancielle (poursuite du tendancier = consommation en 2030 de +25% par rapport à 2014).
- Si elle se poursuit, l'augmentation de la consommation du trafic aérien devra être compensée par des réductions supplémentaires dans d'autres secteurs. Même une stabilisation de la consommation au niveau de 2014 signifie des efforts supplémentaires par rapport à l'évolution actuelle.
- Un consensus devra être développé sur la méthode d'imputation de la consommation énergétique et des émissions de CO2 pour Genève. Le suivi statistique associé devra être mis en place (ex: suivi annuel de la provenance des passagers).

NOTES POSTER 1 : Concept de la société à 2'000 W pour Genève

Remarque générale

La Société à 2000 watts est une vision suisse qui a été traduite à différents niveaux : fédéraux, cantonaux, communaux et quartier 2000W (plus de détail téléchargeable sous <https://www.local-energy.swiss/fr/programme/2000-watt-gesellschaft/was-ist-eine-2000-watt-gesellschaft.html#/>).

Il s'agit d'un concept simple et consistant basé sur une valeur indicative moyenne par personne, facilement communicable. Cependant, la comptabilisation concrète de l'énergie primaire selon différents périmètres est sujet à débat (voir enjeux poster 1 et aussi poster 3).

Remarque ponctuelle

Le facteur énergie finale vers énergie primaire a été pris globalement à 1.42 pour 2018, selon :

- Thermique = 1.15 (moyenne gaz/mazout selon KBOB, disponible sous www.eco-bau.ch/)
- Mobilité = 1.25 (moyenne essence/diesel selon KBOB)
- Electricité = 2.1 (25% hydroélectricité GE à 1.2 + 75% mix CH à 2.4)

La correction climatique intégrée dans les données d'énergie thermique est une correction climatique tendancielle intégrant l'évolution du passé proche (20 ans) et reconduite pour les futurs degrés-jours (pas de prise en compte d'un éventuel emballement climatique accentuant cette baisse tendancielle).

Les données d'énergie thermique renouvelable sont basées sur des estimations et extrapolations à partir de Bertholet *et al*, 2018. Les données d'énergie thermique fossile sont basées sur des valeurs de pouvoir calorifique supérieur (PCS).

La mobilité électrique du graphique mobilité ne tient pas compte des CFF (estimé à env. 25 W/hab au niveau suisse) qui possèdent un réseau électrique indépendant mais tient compte des trolleybus TPG.

L'électricité hydraulique produite à Genève est considérée comme entièrement consommée sur Genève.

Bibliographie générale et recommandée

Bertholet J.-L., Cabrera D., Romano E., 2018, *rapport exécutif sur la statistique cantonale en matière d'énergie renouvelable*, ISE, Université de Genève.

Lachal B., 2007, *Perspectives énergétiques mondiales à long terme et « Société à 2'000W : consensus ou rupture ?*, séminaire public Université de Genève, téléchargeable sous <https://www.unige.ch/sysener/fr/colconf/archives/2007-2008/>

OCEN, 2020 (version provisoire), *Rapport sur l'établissement du bilan de la société à 2000 watts pour le canton de Genève*, Etat de Genève.

Spreng D., 2005, *Distribution of energy consumption and the 2000W/capita target*, Energy policy 33, 1905 – 1911.

SuisseEnergie, 2014, *Concept pour l'établissement du bilan de la société à 2000 watts pour les communes*, Ville de Zurich et Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA, téléchargeable sous <https://www.2000watt.swiss/fr/bibliothek.html>

SuisseEnergie, 2020, *Qu'est-ce que la Société à 2000 watts ?*, différents documents téléchargeable sous <https://www.local-energy.swiss/fr/programme/2000-watt-gesellschaft/was-ist-eine-2000-watt-gesellschaft.html#/>

Bibliographie référencée dans le poster

Données statistiques utilisées pour les différents graphiques :

OCSTAT, 2020, *données statistiques du domaine de l'énergie*, téléchargeable sous https://www.ge.ch/statistique/domaines/aperçu.asp?dom=08_02

OCEN, 2019, *statistiques des réseaux thermiques genevois*, tableau excel

UNIGE, 2020, *données statistiques thermiques corrigées par la météo tendancielle*, tableau excel

NOTES POSTER 2 : Emissions de gaz à effet de serre / plan climat

Remarques relatives à la partie « focus 2012 »

Les données proposées dans cette partie du poster sont principalement issues du Bilan Carbone effectué en 2015 (données 2012) par le SCDD, bilan qui a servi de base à l'élaboration du PCC volet 1 et 2. Les valeurs du scope 3 ont été complétées en prenant appui sur les travaux méthodologiques et nouveaux indicateurs produits par la Confédération en 2020 (OFEV 2020, OFS 2018)

Le tableau ci-dessous récapitule, en t CO₂e /an, les valeurs de référence utilisées pour l'ensemble des graphiques de la section « focus 2012 ».

A noter que plusieurs incertitudes demeurent quant à la comptabilisation des émissions de GES du canton (cf. poster n°3). L'évaluation des émissions liées à l'import-export des biens et services ainsi que celles liées à la mobilité (notamment frontaliers et trafic aérien) devra être précisée afin de définir des indicateurs de suivi robustes.

	scope 1							scope 2							scope 3			total par secteur (axe PCC)		
	carburants	kérosène	mazout	gaz	UTVD	émissions locales non énergétiques	élec mix CH	élec PV	élec UTVD	mazout, amont	gaz, amont	carburants, amont	kérosène, amont	"Emissions grises" matériaux et process	autre (km ferroviaire, recyclage déchets...)					
bâtiments	résidentiel		516 066	504 044	20 656	9	98 386	403	0	112 950	99 811	0	0	0	0					
	tertiaire		62 978	54 665	1 021	20 352	218 210	403	0	13 784	10 825	0	0	0	0					
	industrie		27 510	38 557	3 803	46 908	103 087	403	478	27 510	7 635	0	0	0	0	1 990 454				
mobilité	transport de personnes (hors aérien)		0	0	0	0	2 606	0	0	0	0	142 769	0	144 812	2 983					
	transport de personnes (aérien)		246 924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49 196	0	0					
conso et prod.	fret (aérien exclus)		198 427	0	0	0	0	0	0	0	0	20 935	0	20 259	166	1 359 286				
	alimentation		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	585 821	0					
	biens de conso		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	488 572	0					
autres	construction		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242 908	0	1 317 300				
	agriculture		14 039	18 480	0	18 088	1 099	0	0	0	0	0	0	401	0					
	déchets		0	0	0	5 098	0	0	0	0	0	0	0	96 552	4 794	158 551				
Total par source			742 675	246 924	625 034	597 266	25 480	90 455	478	154 244	118 270	163 704	49 196	1 579 324	7 943					
Total par scope			scope 1 : 2 327 835							scope 2 : 910 489							scope 3 : 1 587 267			4 825 591
Total tous scopes																	4 825 591			

Les données suisses et bases méthodologiques utilisées pour comparaison avec les valeurs genevoises (globales, puis scope 3) sont issues des publications suivantes :

- OFEV, 2020, *Indicateurs de l'évolution des émissions de GES en suisse 1990-2018 (actualisé en avril 2020)*, Berne.
- OFS, 2018, *Luftemissionskonten. Mehr als 60% des Treibhausgas-Fussabdrucks entstehen im Ausland*, BFS Aktuell.

Remarques relatives à la partie « Evolution 1990-2018 et perspectives futures »

Les données présentées dans cette partie du poster ont été construites de manière à favoriser les comparaisons avec la trajectoire énergétique (poster 1). Elles sont, pour les consommations fossiles des bâtiments, basées sur les publications de l'OCSTAT (sauf scope 3, voir ci-dessous).

Les émissions relatives aux consommations fossiles des bâtiments ont été calculées à partir des données fournies par l'OCSTAT. Les facteurs de conversion énergie / CO₂e utilisés pour chaque vecteur (scope 1 et 2) sont ceux du Bilan Carbone.

Les émissions liées aux carburants pour la mobilité ont été calculées à partir des km parcourus (voir poster 3). L'évolution des km attribués aux frontaliers a été ajustée, entre 2010 et 2018, en tenant compte des chiffres publiés par l'OCT (OCT, 2019).

Les émissions « scope 3 », dont seule une partie a été comptabilisée dans le Bilan Carbone genevois de 2012, ont été évaluées à partir des données suisses :

- Les données relatives à l'évolution 1990-2018 des émissions globales suisses (OFEV, 2020, p.61) ont été rapportées par habitant.
- Ces valeurs par habitant ont été utilisées pour estimer une quantité « plafond » correspondant au total des émissions annuelles genevoises, partant de l'hypothèse que celles-ci sont, par habitant, comparables aux valeurs suisses.
- Les émissions scope 1 et 2 ont été déduites de ce total, de manière à faire apparaître l'ensemble du scope 3, ce dernier composant donc, d'une part, des données issues du bilan carbone et, d'autre part, du différentiel entre ces dernières et le total estimé à partir des données suisses (« incertitudes scope 3 » sur la figure en bas à droite du poster 2).
- En l'absence de données pour la période antérieure à 2000, les valeurs « scope 3 » ainsi estimées ont été considérées comme stables entre 1990 et 2000.

Les valeurs cibles à 2030 et 2050 ont quant à elles été estimées de la manière suivante :

- Valeurs 2030 :
 - o Application du facteur -60% sur les émissions totales, calculées à partir des données OCSTAT pour les scopes 1 et 2, et des valeurs suisses pour le scope 3 (voir ci-dessus)
 - o La valeur par habitant a ensuite été déduite en considérant une hypothèse de 561'000 habitants en 2030 (scénario II OCSTAT, le plus proche des 640'000 habitants considérés en 2050, voir tableau OCSTAT « T 01.04.2016.01 »).
- Valeurs 2050 pour scopes 1, 2 et 3 :
 - o La valeur de 0,7t CO₂e/hab a été considérée comme la référence
 - o Les émissions totales ont été déduites en considérant une population de 640'000 habitants en 2050.

Bibliographie générale et recommandée

Les publications portant sur l'évaluation des émissions de GES « grises » (liées aux biens et services importés, déduction faite des exportations) sont nombreuses et peu convergentes au niveau de leurs résultats. Au niveau suisse, ont en particulier été recensés les documents suivants :

OFEV, 2007, *Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990-2004*. Umwelt Wissen, N°11-07, téléchargeable sous <https://naturwissenschaften.ch/service/publications/76573-graue-treibhausgas-emissionen-der-schweiz-1990-2004>

OFEV, 2014, *Evolution de l'impact environnemental de la Suisse dans le monde*. Connaissance de l'environnement, Berne, téléchargeable sous <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/economie-consommation/publications-etudes/publications/evolution-impact-environnemental.html>

OFEV, 2020, *Indicateurs de l'évolution des émissions de GES en suisse 1990-2018 (actualisé en avril 2020)*

OFS, 2018, *Luftemissionskonten. Mehr als 60% des Treibhausgas-Fussabdrucks entstehen im Ausland*, BFS Aktuell, téléchargeable sous <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltindikatoren.assetdetail.4322942.html>

Office cantonal des transports (OCT), 2019, *Annuaire statistique des transports, synthèse des données 2019*, Etat de Genève, téléchargeable sous <https://www.ge.ch/document/annuaire-statistique-transports-synthese-donnees-edition-2019>

Différents projets de recherche permettent de replacer les chiffres nationaux dans le contexte mondial. Voir en particulier : <https://www.globalcarbonproject.org/about/index.htm>

NOTES POSTER 3 : Indicateurs et problématiques du comptage

Remarque générale

Ce poster relève quelques exemples qui illustrent les principales problématiques liées au comptage et ne vise pas à être exhaustif.

Remarque ponctuelle

Les facteurs de conversion relatifs aux énergies renouvelables locales proposés dans la littérature devront être adaptés pour une meilleure prise en compte des objectifs du canton. Par exemple, le facteur de conversion proposé par le KBOB, 2016 pour une pompe à chaleur air-eau ($1.73 \text{ kWh}_{\text{primaire}}/\text{kWh}_{\text{utile}}$) ne reflète pas le fait que la source froide est disponible et inépuisable.

Les facteurs de conversion pour l'électricité consommée à Genève sont calculés en prenant en compte la totalité de l'électricité produite dans le canton (provenant majoritairement de l'hydraulique et de l'usine d'incinération) selon les statistiques cantonales, le solde de l'électricité consommée étant considérée comme du mix suisse. Les facteurs de conversion en énergie primaire et en émissions de GES sont ceux proposés par le KBOB, 2016 pour l'hydraulique, l'usine d'incinération et pour le photovoltaïque.

Quatre facteurs de conversion sont comparés pour l'électricité hors canton :

- mix de production d'électricité suisse ($2.5 \text{ kWh}_{\text{primaire}}/\text{kWh}_{\text{utile}}$ et $27 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ – KBOB, 2016) ;
- mix de consommation d'électricité suisse ($3.0 \text{ kWh}_{\text{primaire}}/\text{kWh}_{\text{utile}}$ et $102 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ – KBOB, 2016) ;
- énergie hydraulique ($1.2 \text{ kWh}_{\text{primaire}}/\text{kWh}_{\text{utile}}$ et $12 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ – KBOB, 2016) ;
- mix suisse marginal horaire ($109 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ ou $197 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ – Hollmuller *et al*, 2019) ;

Le calcul de la consommation énergétique ou des GES dus à la mobilité routière est effectué par deux méthodes :

- sur la base des enquêtes sur la mobilité effectuées toutes les 5 ans, ainsi que sur les statistiques de la composition du parc automobile genevois et de la consommation moyenne d'un véhicule selon l'année de mise en circulation et le type de carburant (moyenne suisse). Le détail du calcul et la bibliographie de référence est disponible dans OCEN, 2020.
- sur la base des statistiques cantonales des ventes de carburants (OCSTAT, 2020).

L'estimation de l'énergie primaire ou des émissions de GES dues aux biens et services (bilan import – export) reste la plus problématique par absence de méthodologie spécifique au territoire genevois.

L'énergie primaire liée aux biens et services est estimée à $3'400 \text{ W}/\text{hab}$ sur la base de données de consommation de la Suisse en 2005 (Jungbluth *et al*, 2012). Des chiffres plus récents n'ont pas été recensés.

Les émissions de GES sont évaluées pour la Suisse depuis l'année 2000 selon une étude récente (OFEV, 2020). Elles permettent d'estimer en première approximation les émissions pour le canton en complétant les informations connues pour le territoire genevois par les chiffres valables au niveau de la Confédération. Cette méthodologie devra être approfondie et améliorée.

Les incertitudes liées à la comptabilisation du scope 3 sont également discutées dans le poster 2.

Bibliographie générale et recommandée

Faessler J., 2011, *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2'000W*, thèse Université de Genève, téléchargeable sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:17272>

SuisseEnergie, 2014, *Concept pour l'établissement du bilan de la société à 2000 watts pour les communes*, Ville de Zurich et Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA, téléchargeable sous

<https://www.2000watt.swiss/fr/bibliothek.html>

Bibliographie référencée dans le poster

KBOB, eco-bau, IPB, 2016, *Données des écobilans dans la construction 2009/1:2016*, KBOB, Berne, téléchargeable sous https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html

Hollmuller P., Patel M., Romano E., 2019, *Emissions de CO2 en Suisse : impact réel des échanges d'électricité*, téléchargeable sous <http://www.expert-ise.ch/emissions-de-co2-en-suisse-impact-reel-des-echanges-delectricite>, Université de Genève.

Jungbluth N., Itten R., Stucki M., 2012, *Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale*, ESU-services, Uster, téléchargeable sous <http://esu-services.ch/fileadmin/download/jungbluth-2012-Reduktionspotenziale-BAFU.pdf>

Maneco, 2015, *Bilan carbone territorial du canton de Genève*, Genève.

OCEN, 2020 (version provisoire), *Rapport sur l'établissement du bilan de la société à 2000 watts pour le canton de Genève*, Etat de Genève.

OCSTAT, 2020, *données statistiques du domaine de l'énergie*, téléchargeable sous https://www.ge.ch/statistique/domaines/apercu.asp?dom=08_02

OFEV, 2020. *Indicateurs de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse 1990-2018*, Berne.

NOTES POSTER 4 : Objectifs chiffrés Energie- Climat, vers une convergence

Remarque générale

Ce poster synthétise les 3 posters précédents.

Remarque ponctuelle

Les courbes sont des évolutions exponentielles décroissantes vers zéro (émissions totales et par habitant) qui permettent d'atteindre les objectifs. Elles se situent bien en dessous des évolutions tendancielle, très incertaines du fait des difficultés méthodologiques ainsi que du manque de données (voir posters 2 et 3).

NOTES POSTER 5 : Proposition Tableau de bord indicateurs Energie- Climat

Remarque générale

Ce poster est une proposition de tableau de bord qui serait à développer sous forme informatique.

Il s'agirait de pouvoir décliner tous les chiffres, en termes d'objectifs ou de valeurs annuelles, selon l'énergie ou le CO2, au total ou par habitant. Le renouvelable et son pourcentage serait repris systématiquement.

NOTES POSTER 6 : Evolution du climat

Remarque générale : définition de l'indicateur Degrés-Jours

Les Degrés-Jours de chauffage sont définis de la façon suivante : on prend la température journalière moyenne d'un lieu, si elle est supérieure à 12°C, le nombre de Degrés-Jours pour la journée sera 0 K.jour, si elle est inférieure ou égale à 12°C, les Degrés-Jours correspondront à la différence entre 20°C et la température moyenne journalière, 20°C étant la référence de température dans un lieu chauffé. Par exemple, si il fait 9°C à l'extérieur, les Degrés-Jours de chauffage seront de 11 K.jour. La somme de ces valeurs sur une période (mois, hiver, année) définit les Degrés-Jours de chauffage.

Les Degrés-Jours de climatisation sont calculés de manière analogue : si la température moyenne journalière est inférieure à 18.3°C, le nombre de Degrés-Jours de refroidissement est 0 K.jour, dans le cas contraire, on calcule la différence entre la température journalière moyenne et 18.3°C.

Depuis 1961, on observe à Genève une baisse tendancielle du nombre de Degrés-Jours de chauffage d'environ -130 DJ par tranche de 10 ans. Si cette tendance se maintient, on s'attend en 2050 à des hivers doux comme celui de 2014 et donc une baisse des consommations des énergies pour le chauffage et des émissions de CO2 relatives à ce poste.

Remarque ponctuelle

Pour l'étude de l'évolution du climat futur en Suisse, l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) a étudié à plus petite échelle l'impact des émissions mondiales nettes de CO2 (basé sur les scénarios du GIEC) sur le territoire helvétique. Sur le poster, seuls les 2 scénarios extrêmes sont présentés. Selon les scénarios étudiés, et pour la période 2071-2100, les températures moyennes sur le Plateau Suisse seront au moins 0.5°C supérieures à celles de la période 1981-2010, pouvant atteindre jusqu'à 5°C pour le scénario le moins optimiste.

Spécifiquement pour Genève, les prévisions sont d'une augmentation des températures hivernales entre 1.5°C et 4.0°C pour la fin du XXIe, ce qui représente une diminution du nombre de jours de chauffage. Par ailleurs, les températures estivales augmentent elles aussi dans les mêmes ordres de grandeur, incitant au développement d'installations de climatisation de confort et pouvant potentiellement entraîner une hausse de la consommation d'électricité et des émissions de CO2 liées.

Bibliographie générale et recommandée

GIEC, 2015, *5^e rapport d'évaluation du GIEC*, téléchargeable sous <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse.

Site officiel <https://www.meteosuisse.admin.ch/home.html?tab=overview>

Bibliographie référencée dans le poster

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2018, *Rapport technique CH2018 – Climate Scenarios for Switerland*, téléchargeable sous

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suisse/rapport-technique.html>

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse.

Site officiel <https://www.meteosuisse.admin.ch/home.html?tab=overview>

NOTES POSTER 7 : Démographie

Bibliographie référencée dans le poster

OCSTAT, 2016, *Projections démographiques pour le canton de Genève. Population résidante de 2016 à 2040*, Genève, téléchargeable sous

<https://www.ge.ch/statistique/tel/publications/2016/analyses/communications/an-cs-2016-53.pdf>

OCSTAT, 2019, *Projections du nombre de ménages et de logements dans le canton de Genève jusqu'en 2040*, Genève, téléchargeable sous

<https://www.ge.ch/statistique/tel/publications/2019/analyses/communications/an-cs-2019-57.pdf>

Plan directeur cantonal 2030, 2019, Etat de Genève, téléchargeable sous

<https://www.ge.ch/consulter-plans-amenagement-adoptes/plan-directeur-cantonal>

NOTES POSTER 8 : Ressources renouvelables locales/régionales mobilisables

Remarque générale

Les ressources renouvelables locales et régionales sont analysées selon une approche de gisements (brut, accessible, mobilisable) qui dépendent avant tout des contraintes environnementales. Le gisement accessible est considéré comme un potentiel maximum durable. Le gisement mobilisable est déduit par soustraction du gisement déjà mobilisé par rapport au gisement accessible. Les biomasses sont une exception, car elles peuvent être mobilisées également en matière (conflit d'usage). Des hypothèses sur la répartition entre filières matière et énergie doivent alors être définies.

Les gisements accessibles sont relativement conséquents (env. 10 TWh/an pour le Canton de Genève) mais leur mobilisation effective dépendra de la demande future du Canton et de multiples contraintes techniques (concordances de temps, lieu et qualité), économiques et sociales. Cette intégration dans le système énergétique local diminuera la mobilisation réelle des gisements accessibles.

Remarque ponctuelle

Les données utilisées pour réaliser l'état des lieux 2018 ont été mis à jour par rapport au graphique initial de 2008 de la thèse Faessler, 2011 (VIRAGE) et transformée en GWh/an (à la place de W/hab) en modifiant un certain nombre de chiffres sur la base des nouveaux éléments suivants :

- Hydrothermie : estimation basée sur thèses Faessler, 2011 et Viquerat, 2012 ;
- Solaire : adaptation du cadastre genevois HEPIA, 2014 (qui donnait ECS = 214 GWh/an et PV = 800 GWh sans façade) :
 - Solaire thermique = 225 GWh/an ;
 - Solaire PV adapté selon analyse Planair, 2020 qui aboutit à une somme de potentiel accessible d'environ 1'400 GWh/an réparti comme suit :
 - Toitures : améliorations de l'efficacité des panneaux et du performance ratio : 1'050 GWh/an (1'000 MW_c) ;
 - Façades : 300 GWh/an (500 MW_c) ;
 - Routes : 50 GWh/an (100 MW_c) ;
- Géothermie : basé principalement sur PGG, 2011 :
 - 1'140 GWh chaud et 977 GWh froid (sondes SGV + nappes superficielles)
 - 700 GWh chaud (aquifère profond, env. 20 à 25 doublets)
- Biomasses :
 - Potentiel Bois du Grand Genève mis à jour : mobilisation de 50% du potentiel accessible en énergie à la place de 10% dans la thèse VIRAGE ;
 - Biogaz issu des déchets organiques : gisement VIRAGE multiplié par 3 en raison de la future augmentation de méthanisation via le Pôle Bio ;
 - Bois usagés (≈ 180 GWh/an) considéré dans le schéma comme déjà mobilisé en matière à l'extérieur du Canton (recyclage en panneaux de particules) mais pourrait être valorisé en énergie sur le Canton de Genève ;
- Air : ressource considérée comme infinie ;
- Déchets STEP : valorisation chaleur fatale STEP selon HGE, 2018b (*NB : biogaz STEP intégré dans valeurs biomasses déjà mobilisées en énergie*) ;
- Déchets UVTD : valorisation maximale avec prise en compte baisse déchets à moyen terme ;
- Hydroélectricité : prise en compte d'un potentiel restant de 140 GWh/an (barrage Conflan) ;
- Vent : Intégration de l'énergie éolienne (valeurs étude ARE, 2017 minimum et maximum de 40 à 180 GWh/an) → estimé à 100 GWh/an, soit une douzaine de machines de 5 MW ;

Bibliographie générale et recommandée

ARE, 2017, *Conception énergie éolienne. Base pour la prise en compte des intérêts de la Confédération lors de la planification d'installations éoliennes*, Office fédéral du développement territorial ARE, Berne.

Faessler J., Aeberhard A., Lachal B., 2010, *Valorisation énergétique des biomasses : gisements brut, accessible et mobilisable*, Service de l'énergie du DSPE, Etat de Genève, téléchargeable sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23298>

HEPIA, 2014, *Cadastre solaire du Canton de Genève – Phase 2, Analyse du potentiel de production énergétique par les panneaux solaires thermique et PV*, Rapport final, Etude pour le compte de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) et des Services industriels genevois (SIG), Genève.

HGE, 2018a, *Retour d'expériences (REX) sur des Pompes à chaleur (PAC) sur nappe d'eau souterraine à Genève et en Suisse-romande et recommandations pour le monitoring des futures réalisations genevoises*, mandat réalisé par Hydro-Geo Environnement pour l'Etat de Genève, Genève.

HGE, 2018b, *Valorisation chaleur fatale STEP d'Aire*, mandat réalisé par Hydro-Geo Environnement pour SIG, Genève.

PGG, 2011, *Evaluation du potentiel géothermique du Canton de Genève*, rapport de synthèse, mandat pour le Scane et SIG, Genève.

Viquerat P.-A., 2012, *Utilisation des réseaux d'eau lacustre profonde pour la climatisation et le chauffage des bâtiments : bilan énergétique et impacts environnementaux : Etude de cas le projet GLN (Genève-Lac-Nations) à Genève*, thèse Université de Genève, téléchargeable sous

<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23016>

Bibliographie référencée dans le poster

Faessler J., 2011, *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2'000W*, thèse Université de Genève, téléchargeable sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:17272>

HGE, 2019, *Gisements renouvelables suisse-romands : synthèse sur l'évaluation des gisements renouvelables locaux en Suisse romande*, mandat réalisé pour SIG par Hydro-Géo Environnement, Genève.

NOTES POSTER 9 : Réseaux thermiques

Remarque générale

Les réseaux thermiques permettent de déplacer de la chaleur d'un ou plusieurs lieux où elle est produite/disponible vers des lieux de consommation. Le déploiement de ces infrastructures offre deux atouts essentiels dans la perspective de décarboner le système énergétique :

- améliorer l'efficacité énergétique en offrant la possibilité de recycler des rejets de chaleur qui, sinon, seraient dégradés dans l'environnement ;
- permettre la valorisation de ressources énergétiques renouvelables locales que l'on ne pourrait pas valoriser autrement en raison de contraintes techniques ou économiques (notamment exemple l'hydrothermie ou la géothermie de moyenne/grande profondeur).

Les spécificités principales des réseaux thermiques sont les suivantes : ils sont intrinsèquement locaux et font appel à des sources de chaleur locales/régionales ; ils sont en concurrence avec d'autres technologies d'approvisionnement en chaleur/froid ; ils nécessitent une densité de raccordement minimale ; ils requièrent l'engagement d'une pluralité d'acteurs ; ils demandent des investissements initiaux relativement importants et de longues durées d'amortissement. Une planification énergétique territoriale est ainsi requise pour favoriser le déploiement de ces infrastructures.

Remarque ponctuelle

Les données utilisées pour réaliser le graphique d'évolution des ventes de chaleur à distance proviennent de SIG (pour les réseaux SIG) et de l'OCEN (pour les autres réseaux). Les ventes de chaleur sur les réseaux de froid (via PAC) sont comptabilisées dans les ventes de chaleur à distance. A noter que les réseaux des HUG ne sont pas pris en compte (95 GWh/an, alimenté au gaz et au mazout).

EnR&R signifie « Energies renouvelables et de récupération ». Le 100% de la chaleur récupérée à l'UVTD Cheneviers est donc comptabilisée comme *EnR&R*.

Bibliographie générale et recommandée

Quiquerez L., 2017, *Décarboner le système énergétique à l'aide des réseaux de chaleur : état des lieux et scénarios prospectifs pour Genève*, thèse Université de Genève, téléchargeable sous

<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:93380>

Viquerat P.-A., 2012, *Utilisation des réseaux d'eau lacustre profonde pour la climatisation et le chauffage des bâtiments : bilan énergétique et impacts environnementaux : Etude de cas: le projet GLN (Genève-Lac-Nations) à Genève*, thèse Université de Genève, téléchargeable sous

<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23016>

Lund H., Möller B., Mathiesen B.V. et Dyrelund A., 2010, *The role of district heating in future renewable energy systems*. Energy (35), pp 1381-1390.

Eicher&Pauli, 2014, *Livre blanc du chauffage à distance en Suisse – Stratégie ASCAD*. Perspective à long terme de l'efficacité énergétique renouvelable dans le chauffage de proximité et à distance en Suisse, téléchargeable sous https://www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch-wAssets/docs/Dienstleistungen/Weissbuch/Fernwaerme_Weissbuch-franz.pdf

Bibliographie référencée dans le poster

Le graphique du bas est adapté de :

Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J. E., Hvelplund F., Mathiesen B. V., 2014, *4th Generation District Heating (4GDH) : Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. Energy (68), pp 1-11.

NOTES POSTER 10 : Chaudières

Remarque Générale

Hypothèses :

- Durée de vie de chaudière 25 ans
- Puissance de chaudières de villas 15 kW

Qualité de données :

- La catégorie « Chaudières (part)Renouvelable» inclue toutes les chaudières avec un % des énergies renouvelables (y.c. chaudières fossiles combinées avec poêles à bois)
- Données disponibles sur l'année de chaudière : 27'167 chaudières, 3.01 GW puissance installée

Bibliographie référencée dans le poster

Source des données : Atlas-éco21, OCSTAT

Données brutes : SIG, SITG, OCSTAT

NOTES POSTER 11 : Stockage thermique saisonnier

Remarque générale

En Europe et aux États-Unis, ce type de solution est apparu juste après les chocs pétroliers des années 1970, la Suisse étant pionnière avec le projet SPEOS à Lausanne.

À l'heure actuelle, les technologies les plus mûres sont celles qui se basent sur le stockage en forme de chaleur sensible, le problème étant que ce sont aussi les systèmes les plus volumineux. Par exemple, au Danemark au moins 6 systèmes entre 60'000 et 200'000 m³ d'eau en cuves semi-enterrés sont actuellement en exploitation, cela représente l'équivalent d'une emprise au sol de 0.5 à 1.5 ha. Des solutions sur champs de sondes ou sur aquifères ont l'avantage de minimiser l'emprise au sol, mais la complexité pour l'implémentation du système augmente vu la non-connaissance extensive des caractéristiques géophysiques du sous-sol.

Remarque ponctuelle

À noter que le système thermique actuel contient déjà une multitude de stocks utilisés pour soit écrêter les pics de demande (ballon ECS), soit permettre aux transformateurs de fonctionner de manière optimale (buffer pour les PAC et les chaudières bois). Pour les stocks thermiques saisonniers, le défi est de trouver le bon équilibre économique entre investissements, achat/production de l'énergie à injecter et les ventes de chaleur, tout en sachant qu'une partie de l'énergie injecté dans le stock sera perdue vers le milieu environnant.

Bibliographie générale et recommandée

Hadorn J.-C., et al., 1988, *Guide du stockage saisonnier de chaleur*. Documentation SIA : Série «Planification, énergie et bâtiment». Mandat réalisé pour l'Office fédéral de l'énergie, Suisse.

Très bonne référence pour la compréhension de la thématique, considérée toujours comme une des références de base sur le sujet. Les aspects concernant les contraintes techniques et les règles de dimensionnement sont abordés de manière claire sans pour autant perdre en rigueur

Xu J. et al., 2013, *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*, téléchargeable sous www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13002272

Revue de littérature sur les technologies existantes, les différents matériaux et ses avantages et inconvénients.

Hasnain, S., 1998. *Review on sustainable thermal energy storage technologies*, part I: heat storage materials and techniques, téléchargeable sous

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890498000259

Ouvrage qui met en évidence les caractéristiques et limites des matériaux et techniques.

HeatStore, 2019, *Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned*, téléchargeable sous

https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_UTES%20State%20of%20the%20Art_WP1_D1.1_Final_2019.04.26.pdf

Retour d'expérience sur les projets existants de stockage de chaleur en sous-sol.

Bibliographie référencée dans le poster

Dahash A. et al., 2019, *Advances in seasonal thermal energy storage for solar district heating applications : A critical review on large-scale hot-water tank and pit thermal energy storage systems*, téléchargeable sous <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919301837?via%3Dihub>

Pavlov G. et Olesen B., 2011, *Seasonal Ground Solar Thermal Energy Storage - Review of Systems and Applications*, téléchargeable sous <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/6383017/SEASONAL+GROUND+SOLAR.pdf>

Schmidt T. et al., 2004, *Central solar heating plants with seasonal storage in Germany*, téléchargeable sous <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X03002937>

Exemple de Jargonant : Hydro-Geo Environnement, 2018, *Retour d'expériences (REX) sur des Pompes à chaleur (PAC) sur nappe d'eau souterraine à Genève et en Suisse-romande et recommandations pour le monitoring des futures réalisations genevoises*, mandat réalisé pour l'Etat de Genève, Genève.

Schéma comparé des stocks en aquifères et en champs de sonde, d'après Solites <http://www.solites.de/english/Profile/AboutSolites.aspx>

NOTES POSTER 12 : Stockage de l'électricité

Remarque générale

Le stockage de l'électricité n'est pas la seule façon de résoudre le décalage temporel entre offre et demande. La concordance de temps peut être aussi résolue en partie par transport pour une mutualisation spatiale et temporelle, ainsi que par une adaptation de la demande.

De même, le stockage est également utilisé pour solutionner la concordance de lieu : batteries pour véhicules électriques, accumulateurs pour appareils électroniques, ...

On peut faire une distinction entre stockages stationnaires (concordance de temps) et stockages mobiles (concordance de lieu et éventuellement de temps).

Remarque ponctuelle

P2G et utilisation du méthane dans les Sankey via le processus de combustion : cet usage a été choisi pour souligner le fait que le méthane peut être utilisé en lui-même, sans forcément produire de l'électricité. Par exemple, pour la cuisson ou couvrir la pointe de chauffage en situation décentralisée. Même si le CCF avec pompe à chaleur devrait être favorisé pour l'usage thermique.

Bibliographie générale et recommandée

Villavicencio M. et Finon D., 2018, *La percée du stockage électrique. Quelles techniques ? Quelles fonctions économiques ? Quel futur ?*, Encyclopédie de l'énergie, téléchargeable sous <https://www.encyclopedie-energie.org/la-percee-du-stockage-electrique-queelles-techniques-queelles-fonctions-economiques-quel-futur/>

Excellent article de revue, récent, traitant aussi bien des aspects techniques et leurs évolutions que des aspects économiques. A noter que les auteurs écartent le P2G comme technique future car illusoire, sans trop d'arguments scientifiques : « ... bien loin de la viabilité économique, notamment le « power to gas » qui fascine nombre d'ingénieurs par son utopie d'un système électrique entièrement décarboné dont le nucléaire aurait été banni et qui reposerait donc entièrement sur des ENR. Ce n'est que dans un tel système que le stockage inter-saisonnier pourrait avoir une utilité, mais ce serait ignorer un rendement d'ensemble très faible de 20-25%, et un bilan économique qui restera très longtemps négatif avec un coût très élevé par kWh restitué ».

OFEN, 2019, *Perspective of Power-to-X technologies in Switzerland*, Supplementary Report to the White Paper, Berne.

Etude exhaustive de la problématique P2G. Beaucoup de bibliographie, des analyses et des données sur le potentiel suisse. Travail imposant, peut-être manque-t-il toutefois une vision, une synthèse forte pour relier toutes les composantes du problème.

Bibliographie référencée dans le poster

Schmidt O. et al., 2017, *The future cost of electrical energy storage based on experience rates*, Nature Energy, vol.2.

De Oliveira Filho F. et al., 2018, *Caractérisation spatio-temporelle des besoins et des ressources énergétiques d'un quartier urbain : le cas du quartier de la Jonction à Genève*, Université de Genève, téléchargeable sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:112225>

NOTES POSTER 13 : Energie et émissions CO2 du trafic aérien

Remarque générale

L'évolution des émissions de CO2 d'ici 2030 est présentée selon les émissions tendanciennes des 10 dernières années en kgCO2/passagers qui présentent une certaine régularité. Le type de trafic aérien à Genève est globalement similaire sur ces 10 dernières années avec une part prépondérante de vols moyen-courriers en Europe dans des avions de type similaire avec des taux de remplissage de plus en plus élevés.

L'évolution à 2030 est décrite en tenant compte des prévisions de trafic aérien à 25 millions de passagers à cet horizon. Elle est présentée avec trois niveaux d'imputation des émissions à Genève :

- imputation à 100% ;
- imputation à 30% (selon la part de marché du canton dans le trafic de l'aéroport tel qu'analysé dans *Intraplan, Air Traffic Forecast Aéroport International de Genève, 2014*) ;
- imputation à 22% (selon la part de trafic des genevois indiquée dans la PCC).

Bibliographie référencée dans le poster

Demont Y., 2013, *Le rôle des grands consommateurs dans la planification énergétique territoriale. Etude de cas : L'aéroport International de Genève*, Mémoire no 122, ISE, Université de Genève.

Le système énergétique de l'aéroport est analysé dans le contexte des processus de planification énergétique territoriale. Des comparaisons sont établies avec d'autres aéroports européens. L'analyse ne porte que sur les consommations énergétiques de la plateforme aéroportuaire et non des vols en eux-mêmes.

Martinez Hernandez M. I., 2012, *Mobilité aérienne et énergie. Bilan et perspective. Cas d'étude de l'Aéroport international de Genève*, Mémoire no 63, ISE, Université de Genève.

L'étude utilise trois méthodes de calcul des émissions de CO2 des vols de l'aéroport de Genève à partir d'une base de données détaillée des vols de l'année 2010. Les différences entre ces trois méthodes sont détaillées.