



Vers une transition solaire

Modalités de mise en œuvre pour le développement solaire genevois

William Measday

Août 2023

Domaine Ingénierie et Architecture

Master conjoint UNIGE-HES-SO en développement territorial

Orientation Urbanisme opérationnel

Directeur : Prof. Pierre-Henri Bombenger

Expert : Pr. Capezzali

Mémoire n°1023

Table des matières

1 Introduction	5
1.1 Le mémoire de master en développement territorial	5
1.2 Modalités du stage	5
1.3 Structure du mémoire	5
1.4 L'Office cantonal de l'énergie	5
1.4.1 Rôle, organisation et missions de l'office	5
1.5 Charges effectuées lors du stage	7
1.5.1 Cahier des charges initial	7
1.5.2 Charges additionnelles	7
2 Contexte de la politique énergétique solaire genevoise et problématisation	9
2.1 Le contexte énergétique genevois	9
2.2 La politique énergétique genevoise	10
2.3 Problématique et question de recherche	12
2.4 Etat de l'art sur les théories de développement des politiques publiques autour des énergies renouvelables	12
2.4.1 Le concept de « politique publique »	12
2.4.2 La transition énergétique dans les politiques publiques en Europe	13
2.4.3 La transition énergétique dans la littérature scientifique	14
3 Les facteurs influençant le développement de l'énergie solaire photovoltaïque à Genève	17
3.1 Les facteurs politico-administratifs	18
3.1.1 Les leviers politico-administratifs	19
3.1.2 Les freins politico-administratifs	20
3.2 Les facteurs techniques	22
3.2.1 Leviers techniques	23
3.2.2 Les freins techniques	24
3.3 Facteurs économiques	26
3.3.1 Leviers économiques	26
3.3.2 Freins économiques	34
3.4 Facteurs sociocognitifs	35
3.4.1 Leviers sociocognitifs	35
3.4.2 Freins sociocognitifs	35
4 Etude de cas d'installations photovoltaïques sur le canton de Genève	37
4.1 Méthodologie du canevas de projets photovoltaïques type	37
4.2 Étude de cas 1 : Les centrales de production participatives	40

4.2.1 Les moyens d'action des non-propriétaires.....	40
4.2.2 Mon m ² solaire	41
4.2.3 Le développement des centrales solaires participatives liées à l'offre	42
4.2.4 Crowdfunding, modèle encore atypique de financement	43
4.2.5 Les solutions pour les locataires	44
4.2.6 Le potentiel de surface exploitable pour développer les centrales citoyennes	44
4.2.7 Divergences entre le potentiel et la réalité du terrain.....	45
4.2.8 Résumé de l'étude de cas d'une centrale solaire participative	46
4.3 Étude de cas 2 : La rénovation d'une coopérative d'habitation	47
4.3.1 Coopérative d'habitation ou énergétique ?	47
4.3.2 Regroupement dans le cadre d'une consommation propre et rénovation énergétique	49
4.3.3 Résumé de l'étude de cas d'une rénovation au sein d'une coopérative d'habitation	51
4.4 Étude de cas 3 : Processus de déploiement massif d'installation photovoltaïque	52
4.4.1 Les appels d'offres groupés, co-construction exemplaire de la transition énergétique	52
4.4.3 Un déploiement massif rapide d'installations photovoltaïque	53
4.4.4 L'accompagnement, méthode nécessaire pour rassurer les propriétaires ?	53
4.4.5 L'étude de cas sur les appels d'offre groupés en résumé	54
4.5 Installation photovoltaïque sur un lotissements BEP	55
4.5.1 La place des bâtiments à énergie positive dans la politique énergétique genevoise	55
4.5.2 Qu'est-ce qu'un BEP ?	56
4.5.3 La vision particulière de Homsphere pour un bâtiment autonome en énergie solaire	56
4.5.4 Les défis de la mise en place d'un micro-grid	56
4.5.5 Les défis liés au réseau électrique à Genève	57
4.5.6 Défis techniques et de logistique.....	57
4.5.7 Le Regroupement de consommation propre particulier de Homsphere	57
4.5.8 La complexité administrative.....	57
4.5.9 L'étude de cas d'un BEP en résumé	57
4.6 Les toitures biosolaires : combinaison de la végétalisation et de l'énergie solaire.....	58
4.6.1 Les politiques publiques et les toitures biosolaires	59
4.6.3 L'étude de cas du dispositif des toitures biosolaires en résumé.....	60
5 Recommandations	62
5.1 Le développement de centrales solaires participatives	62
5.2 Les coopératives d'habitation à Genève.....	63
5.3 Les appels d'offres groupés, un élément à soutenir	65
5.4 Les bâtiments à énergie positive et la question de l'infrastructure du réseau électrique du canton de Genève	67

5.5 Les toitures bio-solaires et la planification territoriale	70
5.6 Synthèse des projets	71
6. Conclusion	72
6.1 Résumé des objectifs de recherche	72
6.2 Principaux résultats et constatations	72
6.3 Analyse et limites du travail	76
6.4 Utilité du stage	77
7 Bibliographie	79
7.1 Littérature scientifique	79
7.2 Site web	80

Table des illustrations

Figure 1 : Charges effectuées lors du stage.....	9
Figure 2 : Graphiques des objectifs de développement et du développement réel...	12
Figure 3 : Les quatre approches centrales de la transition énergétiques.....	16
Figure 4 : Schéma montrant le processus de récolte de données.....	18
Figure 5 : Installation solaire intégrée.....	23
Figure 6 : Installation solaire ajouté.....	23
Figure 7 : Centrale photovoltaïque de l'école du Petit Lancy.....	43
Figure 8 : Centrale photovoltaïque du Stade de Genève.....	44
Figure 9 : Projection de la rénovation du Stade de Genève scénario BEP 224%.....	46
Figure 10 : Le bâtiment collectif de la coopérative après rénovation.....	51
Figure 11 : Synthèse des freins et leviers au solaire PV à Genève.....	74

1 Introduction

1.1 Le mémoire de master en développement territorial

Le travail de mémoire prenant place à la fin du cursus du master en développement territorial peut être développé selon trois catégories :

- Une première catégorie de mémoire, de « type recherche », consiste à explorer une problématique et à produire un travail de recherche académique typique.
- Le deuxième type de mémoire est nommé « mémoire de type projet ». Ce dernier permet d'explorer un site ou périmètre et d'y formaliser un projet urbain ou paysager.
- Le troisième type de mémoire est le « mémoire de type stage ». Ce dernier consiste à effectuer un stage en immersion durant un semestre afin d'y interroger l'expérience de stage.

Le travail développé ici fera partie de la troisième catégorie, du type mémoire de stage. Cependant, il prendra une forme hybride, car il abordera non seulement l'expérience de stage, l'administration dans laquelle ce dernier a été effectué, les réflexions sur les compétences acquises durant la période de stage mais aussi les modalités de développement de la politique énergétique cantonale genevoise sur l'énergie photovoltaïque.

1.2 Modalités du stage

Le stage lié à ce travail de master s'est déroulé au sein de l'Office cantonal de l'énergie du canton de Genève du 7 mars 2022 au 6 septembre 2022, avec un taux d'occupation à 100%.

1.3 Structure du mémoire

Ce travail de master est structuré en quatre différentes parties. La première partie abordera le stage effectué au sein de l'Office cantonal de l'énergie et les charges effectuées lors de ce dernier. La deuxième partie présentera l'axe majeur de ce mémoire, à savoir un support réflexif sur les conditions de réussite de la politique de développement de l'énergie solaire photovoltaïque au sein du Canton de Genève et des recommandations pour la croître davantage. La troisième partie apportera des réflexions sur les compétences développées lors du stage, l'utilité de ce dernier et les perspectives professionnelles qu'il a permis de révéler.

1.4 L'Office cantonal de l'énergie

1.4.1 Rôle, organisation et missions de l'office

L'Office cantonal de l'énergie du canton de Genève se trouve, lors de la législature 2018-2023, dans le Département du territoire (DT), au sein de l'Etat de Genève. La mission de l'office est de mettre en œuvre le plan directeur de l'énergie.

En 2020, l'Office cantonal de l'énergie a vécu une restructuration au niveau de son organisation.

Une organisation pyramidale classique d'une administration était présente jusqu'à la réorganisation de l'office en 2020. Depuis, l'horizontalité et l'autonomie ont été mises en avant par le directeur général actuel, M. Cédric Petitjean. Les deux positions de secteur de directeur à (1) la direction de la planification énergétique (DPE) et direction des opérations d'efficience énergétique (DOEE) ont été supprimées afin de diminuer l'effet d'une hiérarchie pyramidale et donner une structure avec comme unique supérieur direct le directeur général de l'Office.

Cette réorganisation s'est déclenchée dû à des limites au fonctionnement actuel, divers enjeux externes (crise COVID et crise de l'énergie notamment) et une volonté de la direction à changer l'organisation de l'office. Les buts visés par la direction pour cette réorganisation étaient :

- De développer une organisation beaucoup plus claire et lisible non seulement du service mais aussi pour les acteurs externes interagissant avec l'office.
- D'avoir une organisation calée sur la mise en œuvre du plan directeur de l'énergie, paru lui en 2020.
- De développer un fonctionnement beaucoup moins rigide et d'augmenter l'autonomie des collaborateurs et de les responsabiliser.

Pour réussir cette mission, des projets et des prestations sont développés. Les projets permettent de déployer les différents plans d'actions définis dans le plan directeur de l'énergie. Ces derniers ont des dimensions très distinctes par rapport aux prestations. Les projets sont uniques, temporaires et limités dans le temps. Ils sont complexes, transversaux et leur réalisation incertaine. Les prestations, quant à elles, assurent la fonction régalienne de l'office cantonal de l'énergie. Elles sont permanentes, ont une certaine urgence quant à leur compléction et nécessitent des experts afin de les réaliser. Les projets sont généralement portés par un ou plusieurs adjoints scientifiques autonomes, qui se partagent différents rôles : le représentant du projet (vis-à-vis de l'extérieur), le facilitateur (qui prépare les séances liées au projet et les anime), le support (qui apporte un support organisationnel au projet) et le contributeur (qui apporte une contribution pour l'équipe portant le projet). Ces rôles ne sont pas fixes et peuvent changer au cours du projet. Les adjoints scientifiques définissent des moyens pour atteindre des objectifs fixés au préalable. En 2022, le portefeuille de projets de l'OCEN comptait 21 projets, répartis en quatre programmes (accompagnement de la transition énergétique, formation, financement et approvisionnement en énergie).

Les prestations permettent d'accompagner les administrés et de contrôler les objets spécifiques définis dans la stratégie énergétique territoriale. L'équipe d'inspecteurs s'organise et fonctionne en autonomie pour délivrer les prestations dans les délais les plus courts possibles. En 2022, neuf types de prestations étaient délivrés par l'office cantonal de l'énergie : les chantiers, les dossiers d'exécution 30 jours avant le début des travaux (V30T), les certifications pour les standards HPE et THPE, les

nombreuses subventions pour soutenir la transition énergétique, les contrôles d'installations techniques, les éléments d'administration et de validation de dossiers, des préavis et le guichet pour répondre aux questions des administrés.

Ces deux pôles sont soutenus par sept fonctions supports : financier, juridique, politique publique, service informatique, logistique, le service communication et information ainsi que les ressources humaines.

1.5 Charges effectuées lors du stage

1.5.1 Cahier des charges initial

Le cahier des charges initial a été établi quelques mois avant le début du stage, après des discussions avec l'encadrant de ce dernier. Dans le cadre de la mise en œuvre du PDE, l'OCEN avait émis un souhait d'établir un support réflexif pour diagnostiquer les conditions de réussite de la politique du développement des énergies renouvelables à Genève concernant l'énergie solaire photovoltaïque. De plus, selon l'OCEN, différentes mesures favorables aux énergies renouvelables inscrites dans le plan directeur de l'énergie ou précisées dans le cadre de commandes politiques devaient être mises en œuvre et suivies sous l'angle de l'analyse des politiques publiques.

La partie centrale de ce travail de master répond donc au cahier des charges initiales. Un travail d'analyse sur les modalités d'implémentation des objectifs de la politique énergétique genevoise, de la littérature scientifique et grise ont donc dû être effectué les premiers mois de stage afin d'acquérir davantage de connaissances sur les enjeux suisses au niveau fédéral et au niveau cantonal. Ces travaux ont donc porté des questions, qui, lors de discussions avec divers collègues au sein de l'office, ont pu amener à participer à des séances sur différents projets concrets : le projet du cadastre solaire sur le système d'information du territoire genevois (SITG), Genèvoltaïque (un projet de développement solaire avec des régies genevoises), les démarches d'appels d'offre groupés mené par les services industriels genevois (et soutenu par l'Etat de Genève) et le développement de centrales solaires participatives. Cela a permis de prendre connaissances avec différents acteurs du secteur photovoltaïque genevois, pour mener ensuite plus tard, des entretiens semi-directifs afin de connaître leur perception du marché solaire, des potentiels freins et leviers à son développement ainsi que des pistes de réflexion.

1.5.2 Charges additionnelles

En parallèle à cette charge initiale, d'autres charges sont venues s'ajouter au fur et à mesure du stage. Ces dernières sont résumées sur la figure 3 ci-dessous.

Premièrement, diverses analyses et synthèses ont été développées lors du stage. Une première synthèse portant sur les nombreux instruments financiers existants et futurs pour le développement photovoltaïque au sein du canton de Genève a été considérée. Une autre synthèse a été déployée ensuite sur le positionnement d'un acteur majeur

de l'énergie - la fondation Energie Suisse, ou *Schweizerische Energiestiftung*, sur différentes thématiques : les énergies renouvelables, la politique d'approvisionnement sûr en électricité en Suisse et la crise énergétique. C'est par la suite de la synthèse sur la motion 21.5236 adoptée par le Conseil d'Etat du Canton de Bâle-Ville en 2021 qu'une comparaison des subventionnements du canton de Bâle-Ville et celui de Genève a été détaillée. Finalement, une analyse des répercussions de la révision de l'ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables sur le canton de Genève a été conduite afin d'envisager les potentiels impacts sur les modes de productions renouvelables présents à Genève.

Ces différentes synthèses et analyses ont ainsi ouvert la porte à d'autres charges additionnelles et participations sur de nouveaux projets. Le premier projet a concerné une réflexion sur le financement de la transition énergétique à travers des contrats de performance énergétiques (CPE) et des « energy services companies » (ESCOs). Plus tard, la participation au projet de guide pour les installations solaires à Genève s'est mise en place. Finalement, une dernière charge s'est ajoutée vers la fin du stage, celle de coordonner le volet énergie pour le site web www.ge.ch du canton de Genève.

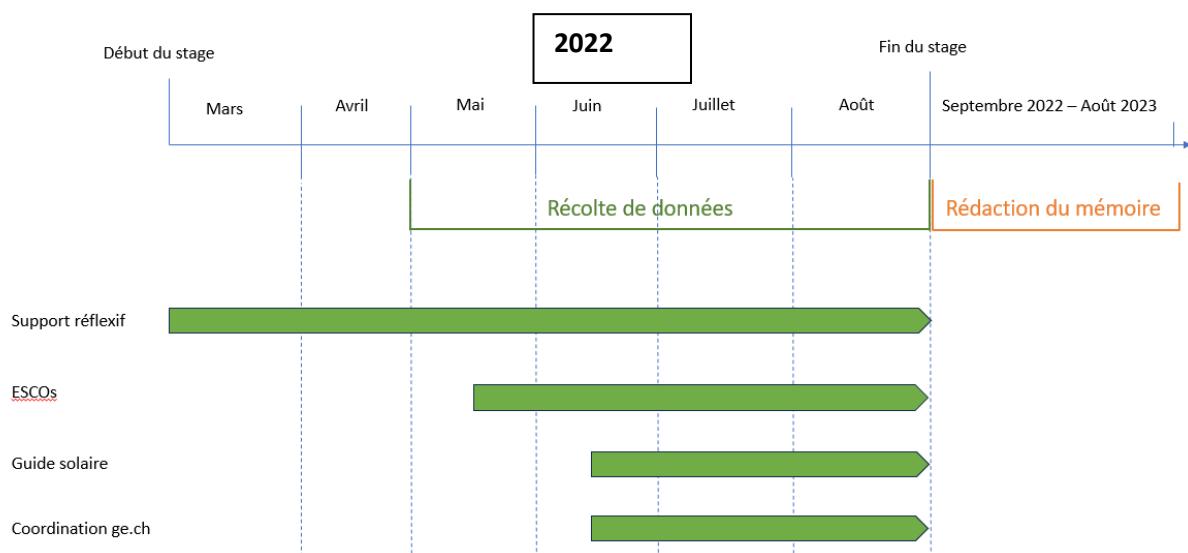


Figure 1 : Charges effectuées lors du stage. Source : Auteur, 2023.

2 Contexte de la politique énergétique solaire genevoise et problématisation

2.1 Le contexte énergétique genevois

Dans un contexte de transition énergétique et de crise climatique où les enjeux de ces deux crises s'entremêlent, un instrument politique a été rédigé pour mettre le canton de Genève sur la voie du changement : le plan directeur de l'énergie (PDE). Ce dernier constitue un levier essentiel pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du canton (émissions directes liées aux consommations d'énergies fossiles des bâtiments, qui représentent aujourd'hui environ 50 % des émissions cantonales directes ainsi que les émissions indirectes liées aux consommations d'électricité, qui représentent actuellement environ 10 % du bilan carbone cantonal).

Pour réussir la transition énergétique et atteindre les objectifs du PDE pour 2030 – un développement de 100 GW/an et 350 MWc de capacité de production photovoltaïque, il semble nécessaire de développer massivement le photovoltaïque dans le canton dû à son haut potentiel de 1400 GWh/an, sa disponibilité et son faible impact environnemental vis-à-vis des énergies fossiles (Plan directeur de l'énergie 2020-2030, p.91).

Cependant, ce haut potentiel d'énergie renouvelable n'est pas du tout valorisé et utilisé comme il devrait l'être. Seuls 20 GWh/an en 2019 et 60 GWh/an aux dernières mesures sont mobilisés à travers le canton de Genève, mais ce n'est pas un cas isolé (Plan directeur de l'énergie 2020-2030, p.92). La Suisse fait figure de mauvais élève en ce qui concerne le développement photovoltaïque. (Hälg, 2023)

Au niveau fédéral, des dispositions institutionnelles pour faciliter le développement photovoltaïque se mettent en place ou sont révisées :

- Concernant la révision de la LEne, de la LApEl et de leurs ordonnances respectives, il doit en émerger une nouvelle loi fédérale pour un approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables. Elle aborde la question suivante : faut-il continuer les contributions à l'investissement ou introduire des nouveautés comme des rétributions de l'injection dans le cadre d'enchères ? Cette dernière a été refusée par le Conseil fédéral, car cela engendrerait une augmentation des coûts.
- Des discussions sont en cours autour des valeurs cibles des énergies renouvelables et de la nécessité de les fixer à 30TWh en 2035 et 50 TWh en 2050.
- Des fonds de 450 millions de francs pour les installations photovoltaïques ont été débloqués pour développer l'énergie solaire en 2022 (Conseil fédéral, 2021).

2.2 La politique énergétique genevoise

Au niveau cantonal, le Plan directeur de l'énergie (PDE), piloté par l'Office cantonal de l'énergie, a été adopté par le Conseil d'Etat en 2020 et va permettre à l'Etat de jouer son rôle d'inciteur et d'accompagnateur de la population dans les multiples démarches de la transition énergétique. Tout cela à travers des dispositifs réglementaires et incitatifs : autorisation de construire, subventions et déductions fiscales. À cela également s'ajoute tout un travail de communication de l'office afin d'expliquer les processus de la transition énergétique à la population. La création, en 2020, du PDE a permis d'élaborer de réelles stratégies sur le court et long terme au sein du canton et de commencer le processus de co-construction des 28 plans d'action de ce dernier avec les acteurs du territoire.

Ces 28 plans d'actions viennent répondre aux huit défis énergétiques du canton mis en lumière dans le PDE :

- Réduire les besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation des bâtiments du parc immobilier.
- Éliminer progressivement l'utilisation de combustibles fossiles pour le chauffage des bâtiments.
- Mettre en place les infrastructures nécessaires pour distribuer de manière durable de la chaleur et du froid dans les zones urbaines du canton.
- Promouvoir une utilisation efficace et rationnelle de l'électricité tout en maîtrisant la consommation liée aux nouveaux usages.
- Prévoir les impacts du changement climatique sur la demande et la production d'énergie.
- Accompagner la transition vers des modes de transport à faible émission de carbone et gérés de manière efficace à l'échelle du Grand Genève.
- Encourager et faciliter l'adoption, par l'ensemble de la population, des comportements de consommation plus durables et axés sur les ressources locales, tant directes qu'indirectes.
- Aspirer à l'atteinte de la souveraineté énergétique en favorisant le développement et l'utilisation de sources d'énergie locales et renouvelables.

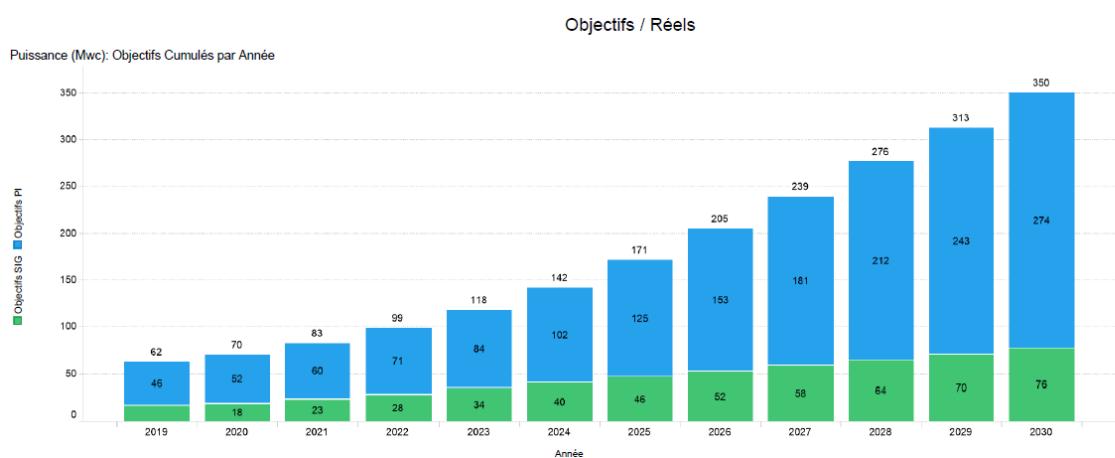
Concernant le plan d'action du photovoltaïque, le PDE positionne l'OCEN comme pilote principal, avec de nombreux acteurs gravitant dans le secteur photovoltaïque : Swissolar, les communes genevoises, les propriétaires de villas et d'immeubles, les installateurs solaires, chauffagistes, électriciens, les hautes écoles, les différents offices cantonaux concernés, la Fondation des terrains industriels (FTI). Tous ces acteurs doivent se coordonner pour coconstruire les conditions idéales au développement solaire. Cependant, la mise en pratique de cette co-construction peut toujours être améliorée.

L'enjeu principal reste l'extension massive et rapide du photovoltaïque. Le Plan directeur de l'énergie admet devoir redéfinir la stratégie solaire genevoise, notamment en intégrant des dispositions qui sont aussi en réexamen au niveau fédéral comme les

conditions de rachats de l'électricité, les règles d'autoconsommation et de subventionnement du photovoltaïque ou encore les modalités de mise en œuvre des coopératives solaires.

Les autres acteurs du secteur photovoltaïque exercent également un rôle crucial dans le déploiement photovoltaïque genevois. Leur participation est nécessaire afin de réussir à atteindre les objectifs définis dans le PDE. Ils doivent entreprendre ou participer à des rénovations énergétiques et une meilleure efficience énergétique. Cela comprend notamment le développement de production et d'autoconsommation électrique, grâce à des énergies renouvelables locales (le solaire, la géothermie, la biomasse, l'éolien et l'hydroélectricité). Malgré le cadre politique en place, la croissance des installations solaires est limitée. Les SIG ont pourtant développé un grand nombre de centrales solaires ces dernières années et instauré une subvention supplémentaire nommée « prime solaire » (qui équivaut à 33% de la rétribution fédérale) pour toute nouvelle installation solaire allant jusqu'à 30 kWc. Mais tout cela reste insuffisant pour atteindre les objectifs visés par la stratégie énergétique 2050+ et ceux fixés par le PDE. Les objectifs 2030 genevois visent 350 MWc. Bien que les données montrent un développement correct (cf. les graphiques ci-dessous), il est nécessaire de questionner les politiques de développement actuelles pour éviter que ces objectifs ne soient pas atteints.

Graphique 1



Graphique 2

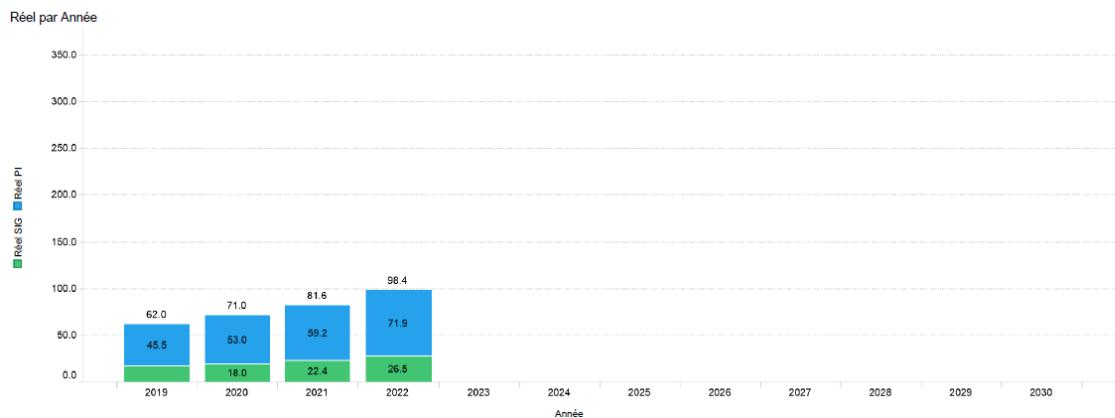


Figure 2 : Graphiques des objectifs de développement et du développement réel. Source : SIG

2.3 Problématique et question de recherche

Il semble donc fort intéressant d'étudier des modalités d'implémentations des législations et politiques publiques sur la mise en place d'installations solaires à travers l'analyse de projets sur le territoire du canton de Genève. A travers un stage en immersion à l'Office cantonal de l'énergie, des entretiens avec de multiples acteurs et la littérature académique, un travail réflexif peut être effectué sur les modalités d'implémentations des objectifs de la politique énergétique genevoise, pour finalement apporter des recommandations sur les actions que l'OCEN pourrait entreprendre afin d'influencer un meilleur développement solaire à travers le canton. Cela amène donc à formuler la question de recherche suivante :

"Quelles modalités de mise en œuvre l'Office cantonal de l'énergie du canton de Genève peut-il développer dans le secteur photovoltaïque pour atteindre les objectifs fixés dans le Plan directeur de l'énergie ? "

Afin de répondre à cette question de recherche, différentes sections vont être développées.

- En premier lieu, un état de la littérature viendra poser les courants de pensées européennes sur les différents modes d'action des collectivités publiques existants concernant le développement des énergies renouvelables et photovoltaïques.
- Deuxièmement, un état des freins et leviers existants du développement photovoltaïque mettra en exergue la raison ou les raisons pour lesquelles le développement photovoltaïque genevois est dans son état actuel.
- Troisièmement, cinq études de cas poursuivront ce développement afin de permettre la formulation de recommandations sur des possibles modalités d'implémentations utiles à l'Office cantonal de l'énergie.

2.4 Etat de l'art sur les théories de développement des politiques publiques autour des énergies renouvelables

2.4.1 Le concept de « politique publique »

Dans la littérature scientifique, les questionnements sur les modalités de développement de l'énergie solaire sont très présents, et ne cessent de se multiplier avec la crise énergétique et l'émergence des volontés de souveraineté énergétique. Avant d'aborder ces théories, il est nécessaire de revenir succinctement sur le concept de politiques publiques.

Une politique publique peut être définie comme une action ou une série d'actions entreprises par le gouvernement pour atteindre des objectifs spécifiques dans un

domaine donné. Les politiques publiques peuvent couvrir une vaste gamme de domaines, tels que l'éducation, la santé, l'environnement, l'économie, la sécurité sociale ou encore les droits civils. Plusieurs auteurs ont proposé des définitions du concept de politique publique. Selon Lasswell (1951), les politiques publiques sont "des résolutions prises par les autorités gouvernementales pour répondre à des problèmes spécifiques, qui sont ensuite mises en œuvre par les agences gouvernementales". Anderson (1975) les définit comme "l'utilisation délibérée de moyens gouvernementaux pour atteindre des objectifs spécifiques dans la société".

Les politiques publiques peuvent être formulées à différents niveaux de gouvernement, allant du niveau local au niveau national et international. Les décisions de politique publique peuvent être prises par des élus, des fonctionnaires, des groupes de pression et des citoyens. La mise en œuvre des politiques publiques peut être complexe et difficile. Les obstacles peuvent inclure le manque de ressources financières, la résistance des groupes d'intérêts, la bureaucratie ou encore la difficulté à évaluer l'efficacité des politiques mises en œuvre. Les politiques publiques ont fait l'objet de nombreuses études en sciences politiques et en administration publique. Les chercheurs se sont intéressés à divers aspects des politiques publiques, tels que la formulation, la mise en œuvre, l'évaluation et l'impact.

2.4.2 La transition énergétique dans les politiques publiques en Europe

La transition énergétique est un phénomène planétaire, qui prend des dimensions différentes selon les ressources énergétiques de chaque pays et représente un domaine qui a connu une évolution importante de politiques publiques ces dernières années. Cette évolution est due à la prise de conscience croissante de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de s'orienter vers des sources d'énergie plus propres et durables. À travers ce chapitre, une courte revue sera présentée sur les différents modes d'implémentation de stratégies visant à sortir du fossile et du nucléaire par différents groupes internationaux et pays.

Au niveau international, l'Accord de Paris en 2015 a marqué une étape importante dans la transition énergétique en fixant des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cet accord a influencé les politiques publiques à travers le monde et a conduit de nombreux pays à adopter des plans d'action nationaux pour atteindre ces objectifs.

En Europe, la politique énergétique commune de l'Union européenne a également connu une évolution significative. La stratégie Europe 2020 fixe des objectifs pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'augmentation de l'efficacité énergétique de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie. La Commission européenne a également lancé l'Union de l'énergie en 2015 pour coordonner les efforts en matière d'énergie et de climat à travers l'Europe.

Au niveau national, de nombreux pays ont mis en place des politiques publiques pour encourager la transition énergétique. En Allemagne, la transition énergétique est une priorité nationale depuis 2010 avec l'adoption de la loi sur les énergies renouvelables. Cette loi prévoit un plan ambitieux pour augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité, et pour fermer progressivement les centrales nucléaires.

En France, la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte adoptée en 2015 prévoit une série de mesures pour encourager l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, la mobilité durable et la lutte contre la précarité énergétique. Cette loi a également fixé des objectifs ambitieux pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et pour la part des énergies renouvelables dans la consommation finale.

La transition énergétique est un domaine en constante évolution des politiques publiques, avec des objectifs considérables fixés au niveau international, européen et national. Les politiques publiques adoptées visent à encourager l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, la mobilité durable et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Au niveau fédéral, la Suisse a adopté une stratégie énergétique en 2011, qui a été révisée en 2017. Cette stratégie fixe des objectifs conséquents pour la réduction de la consommation d'énergie, l'augmentation de l'efficacité énergétique et la promotion des énergies renouvelables. Elle prévoit également la sortie progressive du nucléaire et l'encouragement de la mobilité électrique (Office fédéral de l'énergie, 2021). La Suisse a aussi introduit en parallèle une taxe sur le CO₂ en 2008 qui est appliquée sur les carburants, les combustibles et les combustibles fossiles utilisés pour le chauffage. Cette taxe est destinée à encourager la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à financer des projets visant à réduire ces émissions (Office fédéral de l'environnement, 2020).

2.4.3 La transition énergétique dans la littérature scientifique

La transition énergétique amène un renversement profond de la société et de sa structure de production, de consommation de l'énergie ainsi que du concept de sobriété. L'avènement des énergies renouvelables restructure complètement la vision et la relation qu'entretient notre société avec l'énergie (PDE, p.74).

Cette nouvelle transition amène avec elle de nouveaux objectifs et contextes (sociaux, technologiques et politiques) qui requièrent de nouvelles politiques publiques de la part des institutions et collectivités publiques. Différents cadres conceptuels ont été développés dans la recherche en sciences sociales pour guider, promouvoir et gouverner la société vers un développement durable de la Terre et de ses ressources. John Markard, Rob Raven et Bernhard Truffer ont, à travers une analyse de multiples cadres conceptuels, mis en évidence quatre cadres proéminents (visible sur la figure 5) : le modèle de « transition management » développé par Florian Kern et Adrian

Smith en 2008; le « modèle de la gestion stratégique des niches », développé par différents auteurs, d'abord en 1998 par Kemp, Schot et Hoogma, puis par Smith en 2007, et finalement Raven et Geels en 2010; le troisième modèle proéminent est la « perspective à multiples niveaux » (MLP), développé par Geels en 2002. Le quatrième cadre est le « mode de système d'innovation technologiques » (ITS), développé par Edquist en 1997 et repris une dizaine d'année plus tard par Hekkert et al. en 2007, puis Bergek et al. en 2008.

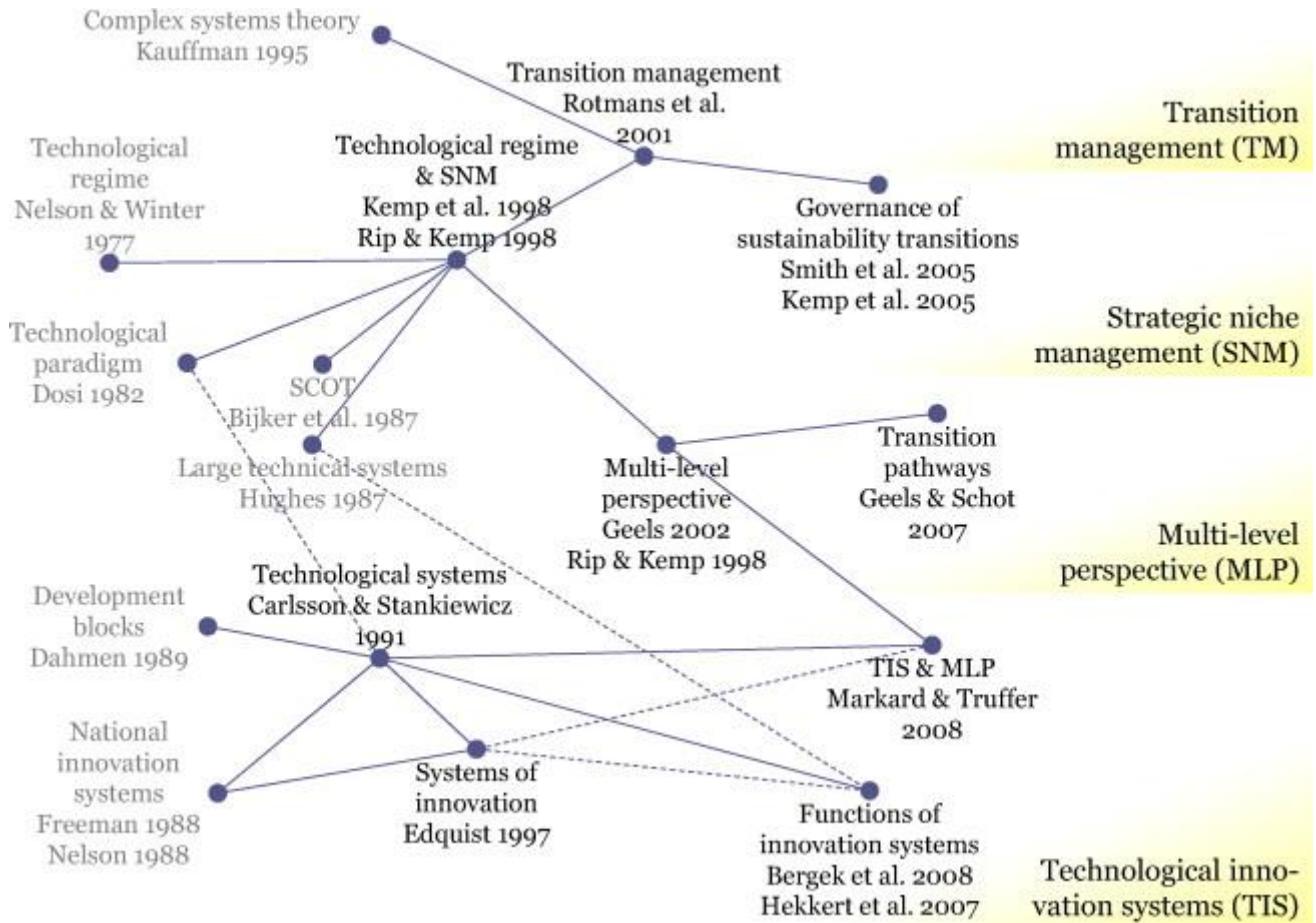


Figure 3 : Les quatre approches centrales de la transition énergétiques. Source : Markard et al., 2012.

Ces modèles ne sont cependant unanimes et donnent seulement des angles d'analyse de la transition énergétique.

Thomas Bauwens, Boris Gotchev et Lars Holsentkamp (2016) questionnent le modèle nommé *multi-level perspective*, qui aborde le développement des infrastructures énergétiques à travers une étude comparative entre différentes coopératives éoliennes au Danemark, en Allemagne, Belgique et au Royaume-Uni. L'émergence des énergies renouvelables amène un nouveau modèle d'infrastructure énergétique et permet de débuter la transition du modèle dominant, très centralisé (avec presque aucune inclusion de la population et citoyens pour la production) à une configuration beaucoup plus décentralisée. Cette dernière, au contraire, donne un rôle bien plus important à la population. Bauwens, Gotchev et Holsentkamp tentent de faire émerger des modalités de développement afin d'encourager leur participation. Ils démontrent que le

développement de coopératives énergétiques est plutôt un système polycentrique, qui implique donc une interaction d'acteurs à différents niveaux de prise de décision. Selon eux, les institutions doivent soutenir les initiatives soutenues par des communautés. Sans cela, ces dernières seront limitées dans le développement de coopératives éoliennes (Bauwens, T. et al., 2016.).

Une étude comparative menée par Colasante, D'Adamo et Morone (2022), étudie les effets de politiques publiques et de diverses incitations sur le développement de l'énergie solaire en Espagne et Italie. Il en ressort que les politiques publiques jouent bien un rôle décisif dans le développement de ce type d'énergie. Elles permettent, en impactant la sphère économique, de rendre l'énergie solaire beaucoup plus compétitive face aux autres types d'énergies, renouvelables et fossiles.

Par ailleurs, Sylvia Breukers et Maarten Wolsink (2007) ont investigué le développement éolien et les différences de développement entre différents régions/pays et ont démontré à travers leur travail que les politiques publiques de subventionnement financier des projets énergétiques renouvelables ne discriminent ni les petites initiatives indépendantes, ni les développeurs sans grandes ressources financières.

En somme, la transition énergétique dans la littérature académique ne se limite pas à un simple changement de sources d'énergie, mais engendre des transformations profondes dans la manière dont nous organisons notre société. Pour réussir cette transition vers un avenir énergétique durable, il semble essentiel de soutenir les initiatives locales, d'impliquer la population dans le processus décisionnel et de mettre en place des politiques publiques cohérentes et incitatives. Cela permettrait de favoriser le développement des énergies renouvelables et de créer un système énergétique plus résilient, responsable et adapté aux enjeux environnementaux du XXI^e siècle.

3 Les facteurs influençant le développement de l'énergie solaire photovoltaïque à Genève

Le développement de l'énergie solaire photovoltaïque à Genève est bien entendu influencé par de nombreux facteurs divers et variés. Pour mieux comprendre comment atteindre les objectifs fixés par le plan directeur de l'énergie en 2020, il est nécessaire d'en établir une liste et d'analyser leurs impacts sur ce dernier. Pour cela, la méthodologie suivante a été établie. Comme le montre la figure 6, une recherche littéraire a été effectuée pour comprendre les outils et leviers utilisés pour influencer le développement solaire. En parallèle, trois entretiens semi-directifs ont été menés avec des acteurs du secteur solaire genevois afin d'avoir directement des retours d'expériences sur le marché solaire genevois, les leviers et freins existants et les lacunes présentes dans ce dernier. À travers ces trois entretiens, quatre acteurs ont été interviewés et ont permis d'établir une liste de facteurs influençant le développement solaire. S'ajoute à ces deux méthodes le stage en immersion au sein de l'Office cantonal de l'énergie, qui a permis de collecter des informations à travers des discussions pertinentes avec des collègues sur le développement solaire à Genève.

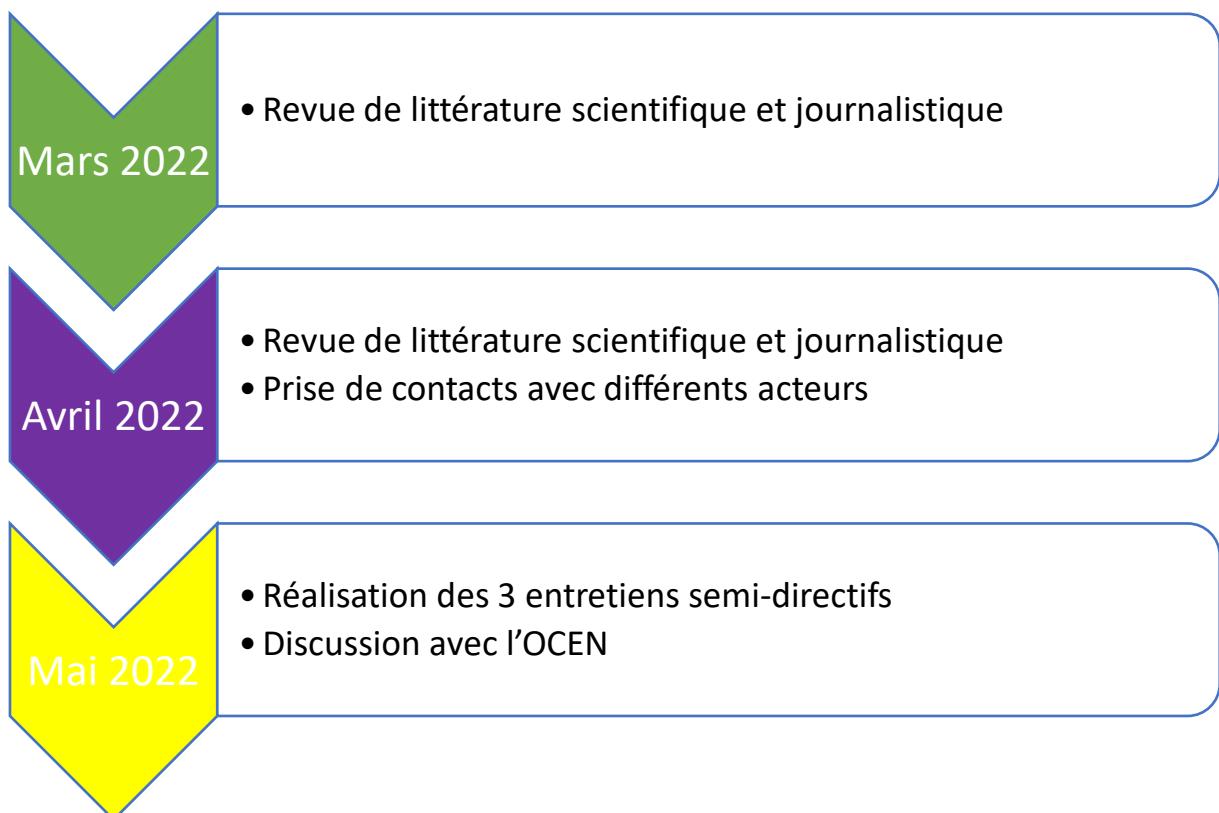


Figure 4 : Schéma du processus de récolte de données. Source : Auteur, 2023.

Les facteurs sont divisés en quatre types distincts :

- Le premier type de facteurs issu de cette recherche sont les facteurs politico-administratifs.
- Le deuxième type sont les facteurs sociocognitifs.
- En troisième, les facteurs techniques.
- Finalement, le dernier type sont les facteurs économiques.

Les facteurs abordés seront, pour les quatre catégories, séparés en leviers et freins au développement.

3.1 Les facteurs politico-administratifs

Les deux tableaux ci-dessous résument les facteurs politico-administratifs trouvés lors de la récolte de données.

Leviers politico-administratifs	
Levier	Résumé
Développement du photovoltaïque en Suisse	Développement stable, évitant les faillites
Contexte favorable à Genève pour les énergies renouvelables	Volonté politique, projets SIG-éco21
Les effets du monopole territorial des SIG	Facilité à regrouper les ressources mais absence de concurrence et d'innovation ; D'autres GRD ont trouvé un équilibre, les SIG ont encore du chemin à parcourir
Soutien des SIG au développement solaire	Bourse solaire, tarif attractif, prime solaire, campagnes de communication
Simplification des processus administratifs	Numérisation et surpassement des complications

Tableau 1 : Leviers politico-administratifs. Source : Auteur, 2023.

Freins politico-administratifs	
Levier	Résumé
Contraintes dans les zones protégées	Équilibre entre protection du patrimoine et énergies renouvelables
L'obligation légale d'installer du solaire thermique	Laisser les propriétaires choisir la technologie, simplifier les processus administratifs
Paradoxe de la révision de l'OEner	Mesures contradictoires envers l'autoconsommation et incertitude des enchères
Absence de smart meter et complexité administrative	Nécessité d'automatiser les processus, faciliter l'expérience client
Freins administratifs et énergétiques	Règles pour bâtiments protégés augmentent les coûts, problèmes avec

	l'obligation de solaire thermique, procédures complexes pour d'autres installations/rénovations énergétiques
--	--

Tableau 2 : Freins politico-administratifs. Source : Auteur, 2023.

Les différents éléments mis en exergue dans ces deux tableaux sont développés dans la section suivante.

3.1.1 Les leviers politico-administratifs

Le développement du photovoltaïque en Suisse

Le système de rémunération et de subventionnement a été bien établi et limité en termes de budget. Il n'y a pas eu d'explosion du marché et donc pas un taux de faillite conséquent comme en France dans les années 2009 et 2010 lorsque les autorités ont accéléré les subventions, ce qui a rendu le marché du photovoltaïque très concurrentiel et entraîné ce taux de faillite considérable. Avoir un marché stable est un avantage pour les installateurs, car cela permet de pouvoir prévoir des investissements, des embauches et ainsi de suite pour chaque année. Depuis 2019, le marché suisse est en forte croissance dû à plusieurs phénomènes : l'amélioration des conditions cadres avec la rétribution unique, la subvention fédérale, l'augmentation globale des coûts de l'énergie, la hausse de la mobilité électrique et les pompes à chaleurs. S'ajoutent des phénomènes conjoncturels, avec une menace de pénurie en hiver. La guerre en Ukraine a aussi eu un effet sur le développement énergétique en Suisse. Les hausses du prix de l'énergie, du gaz et du fioul mènent la population à se tourner vers les pompes à chaleur, et donc au photovoltaïque afin de chauffer elle-même son eau chaude sanitaire (Entretien n°1, Auteur, 2022).

Contexte favorable à Genève pour les énergies renouvelables

Le contexte genevois est propice au développement des énergies renouvelables. Une véritable volonté politique est présente à Genève. Les Services Industriels Genevois ont décidé en 2015 de passer toute leur offre d'électricité en électricité issue d'énergies renouvelables. Cela a accompagné le début de projets renouvelables comme SIG-éco21. C'est un programme d'accompagnement, qui a comme but de réduire les consommations d'énergie à travers des solutions simples, rapides et concrètes qui peuvent différer selon le type de client (régie immobilière, entreprise, propriétaire privé etc..).

Les effets du monopole territorial des SIG

Le monopole territorial des SIG amène des points positifs et négatifs au développement énergétique genevois. Le premier avantage d'un monopole territorial, c'est la facilité à regrouper les ressources du territoire et éviter un saupoudrage. Cela permet d'apporter une démarche cohérente, car cela donne l'opportunité à tous les propriétaires, les citoyens et porteurs de projet d'être traités sur un pied d'égalité. Il faut prendre comme exemple les réseaux thermiques structurants développés à Genève. Cela permet un développement rapide de l'infrastructure, car les ressources sont concentrées aux mains d'un seul acteur. Le côté négatif est l'absence de

concurrence, car cette dernière permet de créer l'émulation et l'innovation. Cela peut amener à un développement technologique plus lent. Comme le confirme une des personnes interviewées : « *Et c'est vrai qu'aujourd'hui, les Services Industriels de Genève sont dans une situation un peu ronronnant où finalement, eh bien, si on n'est pas, de temps en temps, piqué par des concurrents qui viennent nous chatouiller sur notre territoire, on pourrait gentiment laisser les choses se faire, sans chercher forcément à innover ou disrupter les choses* » (Entretien n°1, Auteur, 2022).

Soutien des SIG au développement solaire

En revanche, il semble aussi que de n'avoir qu'un seul gestionnaire du réseau de distribution très volontaire qui soutient le développement solaire est très positif pour les installateurs. Les SIG ont développé la bourse solaire, un tarif de refoulement très attractif (jusqu'à 14 centimes selon la puissance), la prime solaire et les campagnes de communications. Ces opérations permettent de développer un marché attractif pour les propriétaires. Les installateurs de panneaux solaires ont énormément de demandes de rénovations de toitures en ce moment (Entretien n°2, Auteur, 2022).

Simplification des processus administratifs

Les processus administratifs sont en train d'être simplifiés. La situation de la certification s'améliore aussi depuis que Pronovo est séparé de SwissGrid. Tout commence à se numériser, comme chez SIG. Cela reste tout de même long chez ce dernier, surtout sur les spécificités liées à l'autoconsommation. Selon un des acteurs interviewés, on ne peut pas se cacher derrière les excuses de complications administratives (Entretien n°1, Auteur, 2022). C'est une forme de complication, mais si l'envie est présente, cela se surpassé facilement. Bien que l'on incorpore les dépenses relatives aux études et aux démarches administratives dans le calcul du coût du système photovoltaïque, ce ne sont pas ces facteurs qui entraînent l'échec économique du projet. Pour des personnes n'étant pas familière dans le domaine du photovoltaïque, cela peut être un élément décourageant (Entretien n°3, Auteur 2022).

3.1.2 Les freins politico-administratifs

La section suivante va aborder les freins politico-administratifs rassemblés lors de la récolte de données.

Contraintes dans les zones protégées

Il semble qu'une vraie fermeture d'esprit envers le développement dans des zones protégées ou à proximité des zones protégées soit présente selon un des acteurs interviewés (Entretien n°1, Auteur, 2022). Une pesée des intérêts entre la protection du patrimoine et la production des énergies renouvelables doit toujours être conduite pour les projets se situant dans des zones protégées. Les questions liées à la protection du patrimoine sont donc toujours un frein au développement du photovoltaïque dans les zones concernées. Un tiers des bâtiments du canton sont sous le regard du service des monuments et sites (SMS). Dans d'autres cantons, des installations sur des bâtiments historiques à Fribourg et à Neuchâtel ont été effectuées. Cela montre qu'il est possible de développer le photovoltaïque en zone protégée (Entretien n°1, Auteur, 2022).

L'obligation légale d'installer du solaire thermique

L'obligation d'installer le solaire thermique sur le toit des immeubles lorsqu'il y a une rénovation est une des critiques les plus recensées envers l'OCEN. C'est une aberration selon un des acteurs interviewés, pour qui il ne faut jamais parler d'une technologie spécifique dans une loi. Elle évolue toujours plus vite que la loi. De plus, le plus important, c'est la transition énergétique. Que l'on produise des kWh thermiques ou photovoltaïques, en réalité cela importe peu. Ce qui est important, c'est que l'on produise des kilowattheures. Cet acteur recommande plutôt de laisser la possibilité aux propriétaires fonciers de choisir la technologie qu'ils veulent mettre en œuvre pour respecter cette contrainte d'énergies renouvelables. Cela est important, car mettre du solaire thermique sur un immeuble existant est très compliqué et cette obligation peut freiner, voire entraîner l'abandon de projets. Si les conditions du projet ne respectent pas cette obligation, le permis de travaux de rénovation n'est pas attribué, ce qui force le propriétaire à demander une dérogation. Cela crée donc beaucoup de processus administratifs lourds .

Paradoxe de la révision de l'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEnER)

La révision de l'OEnER établit un paradoxe et soulève deux questions selon une des personnes interviewées. La première question concerne l'OFEN qui, depuis 2015, met en œuvre des mesures pour inciter à l'autoconsommation. Et avec cette révision, l'Office fédéral met en œuvre une mesure qui va justement contre l'autoconsommation. La seconde question porte sur les inconvénients inhérents aux processus d'enchères. Ces derniers engendrent un degré d'incertitude ainsi qu'une absence de clarté quant à la profitabilité potentielle du projet. Un investisseur souhaitant entreprendre un projet photovoltaïque et optant pour une approche basée sur les enchères se trouve confronté à l'incertitude quant aux montants qui lui seront attribués et à la garantie de rétribution. Ces circonstances suscitent un profond mécontentement chez les investisseurs. Le phénomène est intéressant mais il aurait peut-être mérité d'être plus transparent, selon une des personnes interviewées (Entretien n°1, Auteur, 2022.).

Absence de smart meter

L'absence de *smart meter* et l'ambiguité autour de son obligation « légale » sont des freins au développement solaire genevois. Un compteur intelligent se réfère à un dispositif de mesure d'électricité dont la technologie permet de constamment évaluer et enregistrer votre utilisation et/ou la production d'énergie (Romande Energie, 2023). Ils permettent d'automatiser l'expérience client d'un installateur, d'un producteur photovoltaïque, pour son raccordement, sa facturation, ses garanties d'origines. Cela permettrait d'avoir un processus administratif plus simple, ce qui est aujourd'hui un véritable problème pour les producteurs indépendants. Le deuxième aspect, c'est que sans *smart meter*, il est compliqué de faire de l'autoconsommation collective et de partager une énergie au sein d'un immeuble entre des locataires. Et dans un contexte urbain, où 70% de la population est locataire, cela est véritablement limitant.

Freins administratifs et énergétiques

Deux freins politico-administratifs ont été mis en exergue lors des entretiens. Le premier est du ressort réglementaire lié aux bâtiments protégés. Les règles propres à l'installation solaire dans des zones protégées amènent à des hausses de coûts qui tuent les projets. Le deuxième est du ressort énergétique avec l'obligation d'installer du solaire thermique. Cette technologie a perdu beaucoup de vitesse dû à des problèmes de surchauffe et d'entretien. Les chauffagistes se montrent donc de plus en plus réticents à en poser. Et pour installer à la place du photovoltaïque, il est nécessaire de faire des demandes de dérogations et donc de passer par un circuit administratif, des délais d'attentes et des négociations. Selon l'expérience d'un acteur interviewé, ce processus d'obtention de dérogation pouvait durer entre 1 et 3 mois en 2022.

Les procédures beaucoup plus compliquées et longues pour des installations et rénovations énergétiques liées au photovoltaïque (installation d'une pompe à chaleur par exemple) n'aident pas leur attractivité. Un des acteurs consultés donne l'exemple d'un remplacement d'un chauffage fossile à mazout. Installer une pompe à chaleur implique de respecter davantage de normes et de règles vis-à-vis du bruit, des vibrations, des distances entre autres et des échanges avec différents bureaux de l'Etat.

3.2 Les facteurs techniques

Les facteurs sont multiples, comme les tableaux 3 et 4 le montrent. Les différents types d'installations solaires sont la source d'influences sur d'autres facteurs, surtout économiques et esthétiques (patrimoniaux dans une moindre mesure).

Leviers techniques	
Levier	Résumé
Adaptation du photovoltaïque au contexte bâti	Pas de technologies bonnes ou mauvaises, combinaisons adaptées aux besoins
L'autoconsommation collective	Les regroupements de consommateurs propres sont encore peu développés à Genève

Tableau 3 : Leviers techniques. Source : Auteur, 2023

Freins techniques	
Freins	Résumé
Complexité dans les propriétés par étage et copropriétés	Difficulté de consensus et répartition des coûts
Complexité du photovoltaïque dans les projets de rénovation	Nécessité de simplifier les processus de rénovation énergétique
Coût et complexité des toitures végétalisées	Coûts raisonnables, mais réservées aux zones d'habitations, alternatives avec des peintures éco-conçues
Insuffisance de la réserve de charge des toitures	Problèmes liés à l'état des toitures
Prédominance du photovoltaïque en toiture	Rénovation globale de la toiture privilégiée, intégration dans les façades peu développée

Tableau 4 : Freins techniques. Source : Auteur, 2023.

3.2.1 Leviers techniques

La prochaine section met en exergue les leviers techniques rassemblés lors de la récolte de données.

Adaptation du photovoltaïque au contexte bâti

Il existe trois types d'installations photovoltaïques : *isolée*, *ajoutée* (rapportée) ou *intégrée* :

- Une installation solaire photovoltaïque *isolée* est une installation simplement posée sur le sol, et non directement sur le bâtiment, que cela soit en façade ou sur la toiture. Ce type d'installation est aujourd'hui rare en Suisse, dû au contexte territorial très dense des zones urbaines. Mais de multiples projets de parcs solaires alpins sont en étude en Valais, et la loi sur l'énergie (LEne) a été modifié en septembre 2022 afin de permettre leur développement (LEne, 2023).
- Les installations ajoutées ou intégrées sont directement installées sur le bâtiment. Une installation ajoutée (ou rapportée) s'installe par-dessus la toiture ou la façade.
- Les installations intégrées sont intégrées au toit ou la façade directement. Ces modes d'installations impactent la rentabilité économique du projet et la subvention allouée (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2023).

Les installations intégrées et ajoutées peuvent être installées sur des toitures en pentes ou plates généralement. Ils existent aussi d'autres modes d'implantations, notamment en façades. Mais ceux-ci restent encore plutôt rares pour le moment.



Figure 5 : Installation solaire intégrée, Source : Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement.



Figure 6 : Installation solaire ajouté. Source : Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement

Cependant, il n'existe pas véritablement de mauvaises ou de bonnes technologies photovoltaïques. Le photovoltaïque dépend du contexte bâti dans lequel il est installé. Une des personnes interviewées donne l'exemple du carport où le bifacial est très intéressant grâce à la haute réverbération des rayons solaires, mais la même technologie devient peu intéressante sur un bâtiment protégé où des tuiles solaires sont beaucoup plus intéressantes. Il ne faut pas s'enfermer sur une seule technologie mais viser des combinaisons de solutions techniques avec les besoins du client. On

peut imaginer un triptyque entre (1) la situation d'un client avec un besoin particulier, (2) une solution technique qui peut être mise en place, qui va permettre de répondre à ce besoin particulier et (3) un bilan économique qui privilégiera peut-être, cette technique plutôt qu'une autre.

L'autoconsommation collective

L'autoconsommation semble un enjeu central pour promouvoir et inciter au développement du PV. Les Regroupement de Consommation Propre et les Communautés d'Autoconsommation sont clés dans le développement photovoltaïque. La communauté d'autoconsommation permet de rentabiliser très nettement l'installation photovoltaïque. « *Ce n'est pas juste un tout petit peu, c'est vraiment un game changer* », comme le dit un des acteurs consultés (Entretien 1, Auteur, 2022).

La bonne solution semble être la communauté d'autoconsommation, car dans 90% des cas, le photovoltaïque s'installe dans un bâtiment existant. Un bâtiment se construit pour dix bâtiments qui doivent être rénovés. Il faut donc régler la question technique de la facturation. Les SIG ont un système avec des compteurs index et non-communicants. Bien que cela soit opérationnel, cette situation demeure insatisfaisante et met en évidence la pertinence des compteurs intelligents (*smart meter*).

3.2.2 Les freins techniques

Complexité dans les propriétés par étage et copropriétés

Le faible taux de propriétaires privés engendre une complexité au développement. Dans les propriétés par étage (PPE) et copropriétés, il est généralement compliqué et le processus est long pour que tout le monde soit d'accord. Ensuite, la gestion des factures et la répartition des consommations entre les différents propriétaires peut s'avérer également difficile.

Dans les immeubles locatifs, les propriétaires perçoivent plus de complexité que d'intérêt à installer du PV. En effet, il faut aller convaincre tous les locataires de signer des contrats en vue d'augmenter l'autoconsommation permettant de favoriser la rentabilité du projet.

Complexité du photovoltaïque dans les projets de rénovation

Il est difficile de mettre en place des Regroupement de Consommation Propres (RCP), sur les bâtiments existants, Elles sont peu viables et difficiles à mettre en place tant qu'il n'y a pas de *smart metering*. Il existe aussi peu de possibilités d'augmenter le taux d'autoconsommation. La question du stockage est également problématique. Aujourd'hui, le stockage n'est pas rentable et pour le moment le stockage individuel est écologiquement non pertinent.

Coût et complexité des toitures végétalisées

Les toitures végétalisées apportent un peu de complexité à l'installation photovoltaïque. Effectivement, les coûts augmentent lorsque l'on met de la végétalisation mais restent raisonnables. Il faut en mettre là où cela fait sens d'en mettre, comme dans les zones d'habitations avec des immeubles à toit plat. Mais pas dans des zones commerciales ou industrielles, où le rendement pourrait être

augmenté grâce des peintures éco-conçues, sur les toits, qui reflètent beaucoup plus les rayons solaires et permettent non seulement d'augmenter le rendement de panneaux bifaciaux mais aussi de rafraîchir le bâtiment. Le couplage « toitures végétalisées – photovoltaïque » doit être prévu dès les premiers plans du bâtiment afin de permettre un maximum de végétalisation et les charges qui y sont liées.

Insuffisance de la réserve de charge des toitures

La réserve de charge des toitures genevoises est parfois insuffisante et l'état des toitures amènent à l'avortement de projets photovoltaïques (Entretien n°3, Auteur, 2022).

Prédominance du photovoltaïque en toiture

La place du photovoltaïque reste encore au stade de développement dans la rénovation des façades, malgré un bon départ. Les façades sont encore à un stade embryonnaire. 99% de la capacité installée et de la future capacité à installer à Genève est en toiture. L'intégration du photovoltaïque doit se faire dans une rénovation globale de la toiture pour optimiser la coordination des différents conflits.

3.3 Facteurs économiques

Les facteurs économiques sont nombreux dans le développement solaire. On en trouve à différents niveaux de l'échelle politique suisse, allant de la Confédération jusqu'à la commune. D'autres acteurs, notamment les gestionnaires de réseau, peuvent aussi proposer des mécanismes financiers influençant le solaire.

Leviers économiques	
Levier	Résumé
Facteurs de croissance en Suisse	Rétribution unique, subventions, mobilité électrique, pompes à chaleur, hausses des prix de l'énergie
Importance de l'autoconsommation pour le développement PV	Rentabilité accrue, rôle clé des communautés d'autoconsommation
Photovoltaïque pour les entreprises	Coordination nécessaire entre production et consommation, Choix entre production d'énergie et capacités de production

Tableau 5 : Leviers économiques. Source : Auteur, 2023.

Freins économiques	
Frein	Résumé
Influence du contexte urbain sur les investissements	Propriétaires peu enclins à investir sans bénéficier directement des avantages
Le tarif de rachat des SIG	Taux de rachat trop faible peut entraîner une absence de rentabilité et sa variabilité peut avoir un impact sur la prévisibilité de retour sur investissement.

Tableau 6 : Freins économiques. Source : Auteur, 2023.

3.3.1 Leviers économiques

La partie suivante va aborder les mécanismes mis en place afin de promouvoir le développement solaire et l'installation technique de panneaux solaires photovoltaïques à Genève.

Facteurs économiques de croissance en Suisse

En Suisse, de nombreuses subventions existent pour promouvoir la transition énergétique et l'approvisionnement énergétique, que cela soit pour les installations photovoltaïques, pour les installations techniques éoliennes ou même hydrauliques. Ces subventions peuvent se trouver à tous les niveaux des institutions politiques, comme le tableau 7 ci-dessous le montre. et sont généralement communes à tous les types d'installations photovoltaïques, qu'elles soient ajoutées, isolées ou intégrées.

Echelle territoriale	Type de soutien
Fédérale	Rétribution unique, enchère photovoltaïque, supplément fédéral
Cantonale	Fonds cantonaux pour les projets énergétiques privés et des collectivités publiques
Communales	Soutien à l'investissement pour les habitants
Acteurs tiers	Offres diverses et soutien à l'investissement

Tableau 7 : Mécanismes de soutiens financiers en Suisse. Source : Auteur, 2023.

Instruments financiers incitatifs fédéraux

Au niveau fédéral, des subventions existent pour tous les types d'installations solaires. Le système de subventionnement est géré par Pronovo SA, l'organisme de certification accrédité pour l'enregistrement des garanties d'origine et la mise en œuvre des programmes fédéraux d'encouragement des énergies renouvelables.

Le principal type d'instrument financier incitatif fédéral est le système de rétribution. Son fonctionnement est établi par la Loi sur l'énergie (LEne, Etat au 1^{er} janvier 2021), OEnE du 1^{er} novembre 2017 (état au 1^{er} avril 2022).

Le système de rétribution de l'injection (SRI) constituait une initiative d'incitation en faveur des sources d'énergie renouvelable, accordant des paiements trimestriels pour l'électricité injectée dans le réseau. Les installations photovoltaïques d'une puissance supérieure à 100 kW pouvaient y participer, si les moyens financiers le permettaient. Ce système a expiré fin 2022 et a subventionné près de 12'100 installations photovoltaïques entre sa création, en 2009 et 2022¹.

La rétribution unique ou l'aide à l'investissement est une seconde mesure d'encouragement financière de la part de la Confédération helvétique. Elle est allouée pour toutes les installations solaires mais varie selon la puissance de l'installation et couvre généralement environ 30% des coûts d'investissement. Elle est divisée en deux types : la rétribution unique pour les petites installations photovoltaïques et la rétribution unique pour les grandes installations photovoltaïques, comme la figure 5 le montre. Ces deux rétributions possèdent désormais un système de rétribution très compliqué et variable d'année en année dû à des modifications annuelles.

¹ Pronovo, *Système de Rétribution de l'Injection (SRI)*, <https://pronovo.ch/fr/subventions/systeme-de-retribution-de-linjection-sri-2/>

RÉTRIBUTION UNIQUE				BONUS	
2 kW	30 kW	100 kW	150 kW	Angle $\geq 75^\circ$	Alt. $\geq 1500\text{m}$ $P \geq 150\text{ kW}$
Avec/sans consommation propre				Inclinaison	Altitude
Isolé				Bonus angle d'inclinaison ajouté/isolé	Bonus altitude (hors zones à bâti et hors bâtiments)
Ajouté			PRU ajouté max. 30%*		
Intégré		PRU intégré max. 30%* \cong PRU Ajouté +10%	GRU ajouté max. 30%*		
Sans consommation propre				Inclinaison	Altitude
Isolé				Bonus angle d'inclinaison ajouté/isolé	Bonus altitude (hors zones à bâti et hors bâtiments)
Ajouté					
Intégré				Bonus angle d'inclinaison intégré	
RU alpine max. 60%**					

* des coûts d'investissement des installations de référence

** des coûts d'investissement individuels

Figure 6 : Schéma récapitulatif des différents types de rétributions et bonus pour les installations photovoltaïques. Source : Office fédéral de l'énergie

La rétribution pour petites installations (PRU) revient aux centrales solaires de moins de 100 kW de puissance. Les grandes installations peuvent l'avoir aussi mais seulement pour les premiers 99.9 kW de puissance. Le reste n'est pas subventionné. La rétribution unique pour grandes installations (GRU) revient à celles ayant une puissance supérieure à 100 kW. Il existe un droit d'option pour les grandes installations. Ces dernières peuvent choisir de recevoir la RPC ou la GRU.

Le système de subventionnement suisse est donc bien mis en place mais les modalités de subventions ne sont pas constantes dans le temps. Elles peuvent changer dans le temps, selon l'évolution de la Loi sur l'Energie. Comme le montrent les tableaux ci-dessous, les rétributions évoluent dans le temps d'années en années. Les données en rouge sont les taux de rétributions évoluant entre l'année 2022 et 2023.

Rétribution unique	Installation ajoutée ou isolée	Installation intégrée
Contribution de base	700 CHF	770 CHF
Contribution liée à la puissance jusqu'à 30 kW	380 CHF / kW	420 CHF / kW
Contribution liée à la puissance de 30 à 100 kW	290 CHF / kW	320 CHF / kW
Contribution liée à la puissance \geq 100 kW	290 CHF / kW	NA

Tableau 8 : Anciens taux de la rétribution unique entre le 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022. Source : Auteur, 2022.

Rétribution unique	Installation ajoutée ou isolée	Installation intégrée
Contribution de base	350 CHF	385 CHF
Contribution liée à la puissance de 2 jusqu'à 30 kW	380 CHF / kW	420 CHF / kW
Contribution liée à la puissance de 30 à 100 kW	300 CHF / kW	330 CHF / kW
Contribution liée à la puissance \geq 100 kW	270 CHF / kW	NA
Bonus d'inclinaison d'au moins 75 degrés	100 CHF / kW	250 CHF / kW

Rétribution unique	Installation sans consommation propre ²
Contribution liée à la puissance entre 2 et 150 kW	450 CHF / kW
Contribution liée à la puissance \geq 150 kW	Pay as bid

Tableau 9 : Nouveaux taux de la rétribution unique à partir du 1^{er} avril 2022. Source : Auteur, 2022.

Rétribution unique	Classe de puissance	Installation ajoutée ou isolée	Installation intégrée
Contribution de base (CHF)	2-5 kW	200	200
	>5 kW	0	0
Contribution liée à la puissance	<30 kW	400 CHF / kW	440 CHF / kW
	30 \leq 100 kW	300 CHF / kW	330 CHF / kW
	\geq 100 kW	270 CHF / kW	NA

■ = Nouveau dispositif et/ou taux

Tableau 10 : Tableau résumant les taux pour la rétribution unique alloués pour les installations photovoltaïques intégrées, ajoutées et isolées à partir du 1^{er} janvier 2023. Source : Auteur, 2022.

² Les installations ajoutées, isolées et intégrées sont incluses.

En 2023, à la suite de la révision de la loi du 30 septembre 2016 sur l'énergie (LEne ; RS 730.0), des adaptations ont été mise en place dans l'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEneR). La Confédération a introduit la rétribution unique élevée (RUE) pour les installations photovoltaïques sans consommation propre. Cette dernière monte au maximum à 60% des coûts d'installation. Si la puissance de l'installation dépasse les 150 kW, la rétribution est attribuée par un système de vente aux enchères.

Des bonus ont aussi été développés comme encouragements pour les différents types d'installations photovoltaïques. Pour les installations inférieures à 150 kW mais supérieures à 2 kW, qui injectent l'intégralité de l'électricité produite dans le réseau, vont bénéficier d'une rétribution unique élevée de 450 CHF par kW. De plus, la rétribution unique a été modifiée afin de rendre la construction de grandes installations photovoltaïques plus intéressante. Les contributions de base ont été partiellement supprimées pour les installations d'une puissance supérieure à 5kW dans toutes les catégories (ajoutée, isolée ou intégrée). Les installations ayant une puissance inférieure à 5 kW vont percevoir 200 CHF.

La contribution liée à la puissance a connu une augmentation partielle. Les taux de contribution augmentent ensuite de 20 CHF par classe de puissance jusqu'à 30 kW. Un bonus financier pour des installations ayant des panneaux à fortes inclinaisons a été mis en place, à savoir 250 CHF de bonus pour les installations solaires intégrées ayant un angle d'inclinaison d'au moins 75 degrés et 100 CHF pour les installations solaires ajoutées ou isolées.

L'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEneR) conçoit désormais le fait que les installations photovoltaïques sans consommation propre (par exemple les installations photovoltaïques sur les toits des granges ou des entrepôts) peuvent bénéficier de rétributions uniques plus élevées allant jusqu'à 60% des coûts d'investissement. Jusqu'à présent, ces toits n'étaient souvent pas équipés du tout ou seulement par de petites installations photovoltaïques destinées à l'autoconsommation. Le montant de cette dernière, pour les installations sans consommation propre et d'une puissance supérieure à 150 kW, pourra être déterminé par des enchères. Les meneurs de projets pourront alors soumettre leur besoin concret de soutien en francs par kilowatt (kW). En cas d'adjudication, une rétribution unique à hauteur de l'offre leur est garantie ("*Pay as bid*") et ils seront tenus de construire l'installation. Pour les petites installations PV sans autoconsommation d'une puissance d'au moins 2 kW et inférieure à 150 kW, il n'y a pas d'enchères, mais une rétribution unique fixe de 450 francs par kW.

Par ailleurs, la contribution de base pour la rétribution unique a été supprimée fin 2022, pour toutes les catégories d'installations PV, pour les installations d'une puissance supérieure à 5 kW. Pour les petites installations d'une puissance comprise entre 2 et 5 kW, elle s'élèvera désormais à 200 francs. En compensation, la contribution à la

puissance sera augmentée de 20 francs pour toutes les catégories dans la classe de puissance jusqu'à 30 kW. Il en résultera une incitation à construire des installations plus grandes, qui utiliseront si possible toute la surface du toit. En outre, les installations intégrées, mais aussi les installations rapportées et indépendantes avec un angle d'inclinaison d'au moins 75 degrés vont toutes désormais bénéficier d'un bonus. De telles installations produisent proportionnellement plus d'électricité pendant le semestre d'hiver. Avec 100 francs par kW de puissance installée, le bonus est moins élevé que pour les installations intégrées (250 CHF/kW), car les dépenses liées à l'intégration seront supprimées. Il peut également être combiné avec la rétribution unique plus élevée pour les installations PV sans consommation propre. La production durant le semestre d'hiver sera donc davantage encouragée et la sécurité d'approvisionnement en hiver renforcée.

S'ajoute à tout cela une rétribution unique élevée (RUE). À partir de 2023, les installations photovoltaïques qui ne consomment pas leur propre électricité peuvent bénéficier d'une "rétribution unique élevée" (RUE). Cette rétribution peut atteindre jusqu'à 60% des coûts des installations de référence. Pour les installations d'une capacité égale ou supérieure à 150 kW, le montant de la rétribution unique est déterminé par le biais d'enchères. Ces enchères sont organisées par Pronovo AG.

L'OFEN, à travers ces modifications, vise les projets sur lesquels il n'y a pas de photovoltaïque, parce qu'il n'y a pas d'autoconsommation, et donc pas de rentabilité économique du projet. Dans ces cas-là, le client mise sur le grand distributeur de réseau (GRD) et le rachat de l'énergie produite pour rentabiliser l'installation. Le taux de rachat varie selon les politiques tarifaires, car ce sont les GRD qui les définissent. Il n'est donc pas uniforme et peut varier dans le temps. D'un point de vue du retour sur investissement et de la vision d'un investisseur, ce n'est pas optimal.

Ces modifications soulèvent aussi des questions par rapport à la vision long-terme de l'OFEN concernant le photovoltaïque. Depuis 2015-2016, l'OFEN a misé sur l'encouragement et l'incitation à l'autoconsommation collective. Mais désormais, avec ces modifications, les propriétaires et meneurs de projets photovoltaïques sont amenés à faire un choix entre autoconsommer la production électrique, ou bien injecter totalement la production dans le réseau pour une meilleure rentabilité.

Instruments contraignants fédéraux

Contrairement aux mesures fédérales d'encouragement vues plus haut dans ce travail, il existe un instrument financier contraignant à toute la population et permet de soutenir le développement des énergies renouvelables en Suisse. Il s'agit du supplément fédéral inclus dans le tarif de l'électricité.

Il est directement lié au prix de l'électricité, qui est composé de quatre éléments distincts :

- Le tarif d'utilisation du réseau est le prix pour la livraison de la centrale au consommateur. Cela dépend du coût du réseau, à savoir la construction ainsi que l'entretien et l'exploitation.
- Le tarif de l'énergie est le prix de l'électricité fournie. Les gestionnaires de réseau produisent cette énergie dans leurs propres centrales ou l'achètent auprès de fournisseurs en amont.
- Les redevances des collectivités publiques sont les impôts municipaux et étatiques.
- Le supplément réseau est la redevance fédérale pour promouvoir les énergies renouvelables, soutenir les grandes centrales hydroélectriques et la restauration écologique des centrales hydroélectriques. Le montant de la cotisation annuelle est fixé par le Conseil fédéral. En 2023, comme l'année précédente, il atteindra le maximum légal de 2,3 CHF/kWh (Conseil fédéral, 2022).

Instruments de soutien au niveau cantonal

Au niveau cantonal, il n'existe pas de subventions directes pour les installations solaires photovoltaïques. Deux fonds pour le développement des énergies renouvelables et les économies d'énergie permettent de soutenir des projets de développement d'énergies renouvelables.

Le premier fonds est le fonds pour le développement des énergies renouvelables et les économies d'énergie (L 2 40; LFDER). Ce crédit est financé par le recours à l'emprunt et est utilisé, en principe, sous forme de prêts ou de garanties d'emprunts contractés par des personnes physiques ou morales, à l'exclusion de l'Etat ou des communes. Il peut également être utilisé sous forme de prêts avec intérêts réduits ou d'allocations.

Le deuxième fonds est le Fonds énergie des collectivités publiques (L 2 40; LFDER). Il est alimenté par la suppression progressive, sur 5 ans, des rabais sur les tarifs perçus par les Services industriels de Genève auprès de l'Etat, de la Ville de Genève et des autres communes genevoises pour la fourniture du gaz, de l'eau et de l'électricité. L'Etat, la Ville de Genève et les autres communes genevoises peuvent demander l'octroi de subventions accordées par le fonds énergie des collectivités publiques.

Instruments de soutien au niveau communal

Au niveau communal, des subventions existent mais ces dernières ne sont pas présentes partout. Le contexte budgétaire des communes influence l'existence de subventions énergétiques. Elles sont très peu développées au sein du canton. Des communes comme Meyrin et Plan-les-Ouates en offrent pour l'instant. Elles viennent s'ajouter aux subventions des SIG et fédérales.

La commune de Plan-les-Ouates, pour exemple, proposait en 2022 les subventions suivantes :

- Si la puissance de l'installation est inférieure à 10 kWc, la commune subventionnait 400 CHF/kWc.
- Si la puissance de l'installation est comprise entre 10 kWc et 30 kWc, la commune subventionnait 250 CHF/kWc.
- Si la puissance de l'installation est supérieure à 30 kWc, la commune subventionnait 100 CHF/kWc.

Instruments de soutiens des gestionnaires de réseau

S'ajoute à ces modalités d'encouragement fédérales, cantonales et communales, les mesures d'encouragement mises en place par des gestionnaires de réseau de distribution. A Genève, les Services Industriels de Genève sont le gestionnaire de réseau de distribution unique. Ils proposent un grand nombre de mesures d'encouragement au solaire, qui varient d'une simple subvention à des accompagnements de projets plus poussés :

Élément	Type	Publics visés	Effets
Solariis Direct	Offre	Propriétaires	Engagements de consommation solaire (totale ou partielle) pendant 10 ans ou plus en échange de la mise à disposition d'une surface inutilisée.
Solariis Collectif	Offre	Clients SIG	Économies sur les coûts et taxes liés à l'utilisation du réseau de distribution grâce au principe de l'autoconsommation.
Mon m ² solaire	Offre	Clients SIG	Possibilité d'acheter des parts solaires et de bénéficier de 100 kWh par part, par an, déduits sur la composante énergie de la facture d'électricité pendant 20 ans.
Prime solaire 2022	Incitation	Propriétaire	Prime accordée pour toute nouvelle installation photovoltaïque jusqu'à 30 kWc, équivalant à 33% de la rétribution fédérale.
Tarifs de rachat de l'électricité	Tarification	Producteurs	Rachat de l'énergie solaire injectée dans le réseau à un tarif de 14.27 ct/kWh pour les installations jusqu'à 30 kWc raccordées en basse tension.

Tableau 11 : Types de soutiens financiers des SIG. Source : Auteur, 2023.

Le photovoltaïque pour les entreprises, entre frein et levier

Le photovoltaïque est très intéressant pour les entreprises (carrosserie, entrepôts frigorifiques etc..) dont la courbe de charge correspond à la courbe de production du PV (Entretien n°1, Auteur, 2022). Ce sont des grands consommateurs et avec une bonne coordination. Ce sont des types de projet qui marchent le mieux et sont le plus rentable. Cependant, ce sont des projets qui ne se font pas toujours dû à deux freins. En effet, un choix doit parfois être fait entre la production d'énergie ou les capacités de production de l'entreprise et ce sont souvent les capacités de production qui sont

privilégiées. Une certaine frilosité de la part des PME est observée selon un des acteurs interviewés. Des solutions de leasing pourraient être une piste pour répondre à ce frein. L'état des toitures est un autre frein. Si un propriétaire veut installer du solaire photovoltaïque mais que sa toiture arrive en fin de vie et doit être rénovée, les coûts d'investissement vont doubler, voire tripler. Ou au contraire, si elle peut tenir encore 5 ou 10 ans, le propriétaire tendra plutôt à attendre de devoir rénover la toiture pour faire les deux en un projet.

3.3.2 Freins économiques

Influence du contexte urbain sur les investissements

Une des personnes interviewées émet comme frein au développement photovoltaïque son contexte urbain et au dilemme *invester-user*. En effet, la grande densité urbaine du territoire genevois amène d'autres enjeux liés au logement. Le haut taux de locataire amène à une dynamique où les propriétaires ne veulent pas investir dans le solaire ou des rénovations énergétiques s'ils n'en profitent pas eux-mêmes. Un exemple a été donné par un des acteurs interviewés, qui mentionne le contexte international de Genève (la Genève internationale). Une part importante du parc de villa est en location, car beaucoup de personnes dans les organisations internationales peuvent se permettre d'en louer une. Ces personnes ne sont pas autant ancrées dans le local qu'un résidant permanent car elles ne résident pas à Genève très longtemps. La volonté n'est donc pas la même selon lui (Entretien n°1, 2022).

Impact du tarif de rachat sur la rentabilité

Le tarif de rachat peut être un frein aussi pour les propriétaires. On peut questionner si son impact est bénéfique ou néfaste. Il est perçu comme avantageux, avec son taux de 14.7 centimes, un des plus hauts de Suisse mais il est aussi insécurisable, car ce tarif varie d'années en années. Il est descendu jusqu'à 7 centimes par le passé. Ces variations ne permettent pas une bonne prévisibilité financière. « Ça fait plus mal d'avoir un 8 centimes assuré sur 20 ans en termes de prévisibilité. Alors maintenant je préférerais un 14 centime sécurisé sur 20 ans mais ça ne sera pas le cas non plus. Donc en fait c'est une fausse bonne nouvelle enfin bonne solution. » comme le dit un des acteurs consultés (Entretien 1, Auteur, 2022).

La faiblesse du tarif de rachat peut poser un problème aussi. Si le tarif de rachat proposé pour l'électricité produite par les installations photovoltaïques est trop faible, cela entraînera une absence de rentabilité pour les propriétaires d'installations. Toutefois, il convient de souligner que les chiffres précis dépendent du projet et de son taux d'autoconsommation. En règle générale, un tarif de rachat inférieur à 10 centimes ne serait pas incitatif pour les investisseurs. Bien qu'à Genève, le taux de rachat soit élevé, celui-ci n'est pas garanti et peut varier d'une année à l'autre, ce qui rend difficile toute projection à long terme. En conséquence, les propriétaires ne sont pas encouragés financièrement à couvrir l'intégralité de leur toiture avec des panneaux solaires. Si le taux de rachat est imprévisible ou trop faible, il est plus avantageux pour eux de dimensionner leur installation en fonction de leur taux d'autoconsommation, ce

qui pourrait empêcher le canton d'atteindre ses objectifs en matière de production photovoltaïque. Enfin, le risque lié à l'investissement est difficile à évaluer dans ce contexte.

3.4 Facteurs sociocognitifs

Leviers sociocognitifs	
Impliquer les citoyens dans la transition énergétique	Autoconsommation et centrales citoyennes comme moyens d'implication

Tableau 12 : Leviers sociocognitifs. Source : Auteur, 2023.

Freins sociocognitifs	
Méconnaissance de la filière PV	Besoin de pédagogie et d'informations fiables sur le photovoltaïque

Tableau 13 : Freins sociocognitifs. Source : Auteur, 2023.

3.4.1 Leviers sociocognitifs

Impliquer les citoyens dans la transition énergétique

Les citoyens ont peu de leviers d'actions sur la transition énergétique lorsqu'ils ne sont pas propriétaires. Il existe deux moyens pour eux de s'investir. D'une part, l'autoconsommation déjà mentionnée plus haut, et d'autre part, les centrales citoyennes ou participatives qui leur permettent d'investir dans des projets photovoltaïques décentralisés.

3.4.2 Freins sociocognitifs

Lacune dans les renseignements

Selon des études menées par les Services Industriels Genevois (SIG) et l'Université de Genève (Lagomarsino et al, 2022), des critiques majeures émergent concernant l'adoption du photovoltaïque. Deux points centraux de préoccupation sont identifiés : la perception de la non-rentabilité et la complexité associée à cette technologie. Bien que le sujet de la rentabilité ait déjà été abordé dans cette étude, il est crucial de souligner la nécessité d'une sensibilisation pour rectifier ces perceptions erronées. La méconnaissance généralisée du domaine du photovoltaïque entrave considérablement son développement. Il est impératif que tant les propriétaires de maisons individuelles que le grand public acquièrent une meilleure compréhension du photovoltaïque.

Cette même enquête menée par l'Université de Genève (Lagomarsino et al, 2021) a révélé que 10% des propriétaires de maisons individuelles rencontrent des difficultés

à accéder à des informations et des conseils fiables concernant le solaire photovoltaïque. De plus, une proportion similaire de participants a exprimé un manque de confiance envers les installateurs. Souvent, les propriétaires immobiliers semblent nourrir la fausse croyance que l'investissement dans le photovoltaïque n'est pas rentable, une perspective qui ne s'applique pas aux immeubles où l'investissement s'avère en réalité profitable. Néanmoins, il est important de noter que le rendement financier peut sembler modeste en comparaison des revenus locatifs générés. Par ailleurs, 26% des propriétaires de maisons individuelles ayant participé à l'enquête estiment que le coût initial d'une installation photovoltaïque est trop élevé et que la rentabilité est insuffisante (Lagomarsino et al, 2021). Ces conclusions mettent en évidence une lacune dans la diffusion d'informations claires et pertinentes, soulignant l'urgence d'une éducation plus poussée et d'une meilleure communication pour éclairer les propriétaires sur les avantages et la faisabilité du photovoltaïque.

4 Etude de cas d'installations photovoltaïques sur le canton de Genève

Dans cette partie, cinq études de cas vont être développées sur la base des freins et leviers identifiés dans la partie 3 de ce travail. Ces dernières vont s'intéresser à cinq différents types de projets comprenant des installations solaires photovoltaïques sur le territoire genevois.

4.1 Méthodologie du canevas de projets photovoltaïques type

Comme pour les trois premiers entretiens de ce travail, trois différentes méthodes de récoltes de données seront utilisées :

- L'observation
- Entretiens avec des acteurs du milieu du solaire photovoltaïque
- Analyse documentaire (Revue de presse, SIG, etc...)

Les études de cas sont ici des installations photovoltaïques mais variées dans leur contexte d'implantation. En l'occurrence, l'échantillonnage est varié non seulement, pour avoir un regard le plus large possible, mais aussi pour pouvoir mettre en lumière des cas-types pouvant présenter des problèmes au développement photovoltaïque et à la politique énergétique du canton. Les cas développeront des éléments d'influence au développement photovoltaïque qui ont été mis en lumière dans la première partie de l'analyse afin de les approfondir et de proposer des recommandations concrètes.

L'étude de cas dans ce mémoire tente donc de mettre en avant des cas-types d'installations solaires photovoltaïques pouvant prendre forme à travers le territoire genevois et d'expliquer de potentiels problèmes pouvant en émerger. Le design de recherche d'étude de cas prend appui sur le Plan directeur de l'énergie et le guide pour les installations solaires à Genève. Les études de cas choisies ici se divisent en deux groupes de variables distincts :

- Les installations solaires soumises à une procédure d'annonce.
- Les installations solaires soumises à une procédure d'autorisation.

Le contexte territoriale et technique de l'installation va définir la procédure à suivre.

Pour s'inscrire dans une procédure d'annonce, l'installation doit répondre à trois critères cumulatifs. En premier lieu, l'installation doit être située dans une zone à bâtir ou zone agricole et effectuer comme travaux uniquement la pose de panneaux solaires. L'installation solaire doit être suffisamment adaptée au toit selon l'article 32A al. 1 et 1bis de l'Ordonnance sur l'aménagement du territoire et les conditions qu'il pose :

- Elle ne doit donc pas dépasser les pans du toit perpendiculairement de plus de 20 cm.
- Elle ne doit pas dépasser du toit vu de dessus.
- Elle est peu réfléchissante selon l'avancement de la technologie actuelle.

Une installation sur un toit plat doit aussi répondre à des conditions additionnelles :

- Elle ne doit pas dépasser l'arête supérieure du toit de plus de 1 m.
- Elle est placée suffisamment loin du bord du toit pour ne pas être visible d'en bas avec un angle de vue de 45 degrés.

Finalement, pour s'inscrire dans une procédure d'autorisation, l'installation doit répondre à trois conditions :

- Elle ne respecte pas les critères impératifs explicitées plus haut pour la procédure d'annonce.
- Elle est réalisée en dehors de la toiture, sur une façade ou au sol.
- Elle est localisée sur un bien culturel ou dans un site naturel d'importance fédérale ou cantonale.

Cinq études de cas vont être présentées dans ce travail :

Cas-type soumis à une procédure d'annonce	Cas-type soumis à une procédure d'autorisation
Toiture biosolaire type	Coopérative d'habitation
	Appel d'offres groupé
Bâtiment à énergie positive	Centrale participative

Tableau 14 : Tableau résumant les sept études de cas. Source : Auteur, 2022.

- La première étude de cas mettra en lumière le modèle d'installation liés à une centrale participative, qui tentera d'approfondir les problématiques liées aux locataires et aux modes d'action de ces derniers.
- La deuxième étude de cas présentera une installation solaire dans le cadre d'une coopérative d'habitation et tentera d'apporter des éléments de réponses aux problématiques de développement du solaire photovoltaïque dans les immeubles collectifs dans des centres urbains.
- La troisième étude de cas analysera un type de processus d'installations solaires rapide et massif auprès d'un grand nombre de propriétaires divers et tentera d'apporter des réponses sur les problématiques de connaissances du photovoltaïque.
- La quatrième étude de cas étudiera l'implantation de toitures biosolaires et tentera d'apporter des éléments de recommandations aux problématiques de compétition des usages multiples des toitures.
- La cinquième étude de cas présentera une installation solaire liée à la construction d'un bâtiment à énergie positive et tentera d'apporter des éléments de réponses autour de problématiques techniques et administratives liés au développement d'un *micro-grid*.

	Procédure d'annonce			Procédure d'autorisation	
Type d'installation	Installation en toiture plate biosolaire	Bâtiment à énergie positive (BEP)	Appels d'offre groupés	Coopérative d'habitation	Centrale participative
Aspects intéressants à analyser	Conflits entre différents enjeux (climatiques, énergétiques, thérapeutiques etc..), pesée d'intérêt	Micro-grid, écrêtage de la production	Déploiement massif rapide, pédagogie, processus communal	Développement de l'autoconsommation collective (CA et RCP), immeuble en zone urbaine avec panneaux en toitures et façade, rénovation globale	<i>Crowdfunding</i> , solution pour locataires, autoconsommation, modèle d'affaire atypique SIG, gap entre théorie & réalité
Méthode de collecte de données	Un entretien avec Terrasse sans frontière en août 2022, Revue de littérature	Un entretien avec Homosphere en septembre 2022, revue de littérature	Un entretien avec SIG en juillet 2022, revue de littérature	Un entretien avec la coopérative la Ruche en juillet 2022, revue de littérature	Un entretien avec SIG en juillet 2022, revue de littérature

Tableau 15 : Synthèse des éléments intéressants à analyser des 5 études de cas. Source : Auteur, 2023.

4.2 Étude de cas 1 : Les centrales de production participatives

Selon le plan directeur de l'énergie 2020-2030, la stratégie visant à développer l'énergie solaire doit être redéfinie. Il met en exergue notamment les conditions de rachat de l'électricité, les modalités de mises en œuvre des coopératives et des certificats de production ainsi que les règles d'autoconsommation et de subventionnement.

Pour cela, il définit neuf plans d'actions pour le solaire photovoltaïque. En l'occurrence, celui visant à développer l'accès aux centrales de production participatives pour la population n'ayant pas accès à la propriété. En 2020 à Genève, le taux de logements occupés par leur propriétaire s'élevait à environ 18% (Office fédéral de la statistique, 2020).

Seulement, battu par le canton de Bâle-Ville, Genève doit donc faire encore considérablement d'efforts pour résoudre ce problème des propriétaires afin d'atteindre l'objectif de 350 MWc de capacité de production photovoltaïque. Il faut donc examiner les moyens d'actions pour les non-propriétaires.

4.2.1 Les moyens d'action des non-propriétaires

Le principal moyen d'action qui sera analysé dans cette partie concerne les modèles de financements participatifs pour la production d'énergie solaire.

Il faut en premier définir ce qu'est une centrale de production solaire participative. Ce concept peut être retrouvé sous différents termes souvent repris de l'anglais, tels que *crowdfunding*, *crowdsupporting*, *crowdlending*, *crowdinvesting*, *crowdonating*. L'administration suisse les définit comme suit (Conseil Fédéral, 2023) :

- *Crowdfunding* : « méthode alternative de financement faisant appel à un grand nombre de bailleurs. Chacun ne fournit qu'une petite partie du montant total nécessaire au lancement de projets très divers ». Contrairement aux autres modes de financement, le *crowdfunding* se déroule sans intermédiaire (sans banques).
- *Crowdonating* : les contributeurs donnent de l'argent sans rien attendre en retour.
- *Crowdsupporting* : les contributeurs donnent de l'argent et reçoivent, en échange des fonds investis, une contrepartie non financière.
- *Crowdlending* : les contributeurs prêtent de l'argent, s'attendent à être remboursés et à recevoir des intérêts sous forme d'une indemnité appropriée.
- *Crowdinvesting* : cette forme de *crowdfunding* vise à financer des sociétés. Les contributeurs investissent de l'argent et reçoivent en retour un droit de participation dans l'entreprise ou un investissement aux résultats.

Dans le canton de Genève, le concept de crowdfunding n'est pas aussi commun que dans les autres cantons suisses. Des coopératives comme Enerko ou la Coopérative

de la Ruche ont fait du *crowdinvesting* pour financer des rénovations énergétiques globales et ont donc installé des panneaux solaires photovoltaïques et/ou thermiques pour satisfaire la législation cantonale et les standards énergétiques qu'elle impose. Prime Energy Cleantech effectue aussi du *crowdlending* pour développer des énergies renouvelables dont l'énergie solaire. Mais cette étude de cas se focalise sur l'offre des Services Industriels de Genève nommée « mon m² solaire », un type de *crowdfunding* du type "*crowdsupporting*".

4.2.2 Mon m² solaire

Les Services Industriels de Genève définissent leur offre comme suit sur leur site internet. Le client souscrit à une ou plusieurs parts au prix de 330 CHF par part . Cela lui permet de bénéficier de 100 kWh d'électricité par part, par an durant 20 ans. L'énergie est donc déduite de la facture d'électricité du souscripteur, seulement sur la part énergie (SIG, 2023).

Cependant, cette offre n'est pas éligible pour toute la population. Le client potentiel doit être un client au tarif électricité en profil simple et double aux SIG. Cela veut dire que de potentielles personnes intéressées, membres d'une communauté d'autoconsommation ou d'un regroupement de consommation propre, ne sont pas éligibles pour cette offre.

Les SIG ont voulu donner un moyen de participation aux jeunes et locataires à travers un modèle alternatif. Il s'agit d'un modèle d'investissement non dans des panneaux photovoltaïques directement, car ils n'ont pas la propriété du toit, mais indirectement, avec du financement participatif. L'avantage de ce genre de financement, le *crowdsupporting*, est qu'il est relativement simple pour les SIG. L'achat d'une part solaire donne en effet droit à 100 kWh/an pendant 20 ans.

4.2.3 Le développement des centrales solaires participatives liées à l'offre

Deux projets liés à cette offre ont vu jour à l'heure actuelle à Genève, dans la Ville de Lancy. Il s'agit de la centrale solaire de la salle omnisport de l'école du Petit-Lancy et la centrale participative du stade de Genève.



Figure 7: Centrale photovoltaïque de l'école du Petit Lancy. Source : Commune de Lancy, <https://www.lancy.ch/mon-m2-solaire-une-demarche-novatrice>.

Concernant la salle omnisport de Lancy, la centrale possède une production de 0.2 GWh par an. La Ville de Lancy consomme 55% de cette production. Le reste a été commercialisé au sein de l'offre, ce qui représente 750 parts. Ces dernières se sont très rapidement vendues en 9 jours.

La centrale du stade de Genève a reproduit le même principe. Avec une production de 1.1 GWh, cette dernière a permis de proposer 5400 parts solaires dans l'offre « mon m^2 solaire », ce qui représente 70% de la consommation. Le reste, 30% de la production, est consommé par le stade. Les parts ont été vendues en moins de 10 mois.



Figure 8: Centrale photovoltaïque du Stade de Genève. Source : Solar Agentur, <https://www.solaragentur.ch/fr/prix-solaire/prix-solaire-suisse/2021/stade-de-geneve-solaire-1212-grand-lancyge>.

Il convient à présent d'analyser certains éléments pertinents au développement photovoltaïque genevois.

4.2.4 Crowdfunding, modèle encore atypique de financement

Le financement participatif est indéniablement intéressant pour le développement solaire et permet d'impliquer les populations n'ayant pas la possibilité d'investir sur un toit directement, dû à des moyens économiques restreints, leur statut de locataire, ou même de propriétaire en PPE.

L'offre "mon m² solaire" est un premier essai dans ce type de financement et est indéniablement porté par des motivations économiques ainsi que la réalisation de profit pour les SIG.

Il existe des modes de financement participatifs portés par des collectivités publiques en Suisse. La Ville de Renens a par exemple développé une « bourse solaire » et a permis de récolter 86'000 CHF pour développer 184 m² de panneaux photovoltaïques sur un bâtiment (la fondation Les Baumettes) fondé par différentes communes vaudoises (Bussigny, Chavannes, Crissier, Ecublens et Renens) (Ville de Renens, 2020).

Le *crowdfunding* peut aider le développement des énergies renouvelables, car ce mode de financement réduit l'investissement de projets plus petits que les investisseurs négligent souvent. Il permet aussi aux communautés locales de devenir des managers de projets d'énergie renouvelable.

Pour cela, il faut que les autorités publiques comme l'OCEN implémentent des politiques publiques qui régulent le *crowdfunding* et créent une confiance sociale afin d'augmenter les investissements de ce type.

4.2.5 Les solutions pour les locataires

Le canton de Genève fait face à un problème très compliqué à résoudre. Il s'agit de l'implication des locataires dans la production énergétique locale et plus globalement la transition énergétique.

Les locataires ne possèdent pas, voire peu, de leviers sur la transition énergétique, car beaucoup des éléments liés à l'énergie leur échappent. Le chauffage et l'eau ne sont en effet pas maîtrisés par le locataire, car ils sont généralement centralisés, tout comme l'électricité, qu'il ne peut pas produire lui-même (hormis les panneaux solaires *plug-play*). Il peut choisir quel produit énergie il soutire du réseau mais cela est une des seules marges de manœuvre qu'il possède. Il ne maîtrise pas non plus la capacité à rénover le bâtiment dans lequel il habite.

Les centrales citoyennes représentent donc un des deux moyens (avec l'autoconsommation collective) de les impliquer dans le développement photovoltaïque. L'offre "mon m² solaire" est un premier pas vers leur implication au sein d'une production énergétique renouvelable et locale, mais il faut examiner le modèle des SIG. En effet, on peut se demander dans quelles mesures ce modèle permet une véritable participation citoyenne à la transition énergétique.

La volonté de la population est clairement marquée et visible, avec toutes les parts des deux projets vendus beaucoup plus rapidement que ne l'avaient anticipé les Services Industriels Genevois. Mais cette "participation" ne reste que financière au sein du projet et la production électrique des panneaux solaires sur les deux toits est réinjectée dans le réseau. Elle n'est pas directement consommée par ces souscripteurs. Bien que cette offre permette d'impliquer les locataires, il reste cependant des efforts à faire autour du degré d'implication des citoyens.

L'autre solution est l'autoconsommation collective, qui elle, permet une implication beaucoup plus tangible, soit sous forme de regroupements de consommation propre (RCP), ou bien de communauté d'autoconsommation. La production est directement consommée au sein du bâtiment dans les différents bâtiments ou bien injectée dans le réseau. Cette forme d'autoconsommation sera développée plus tard dans ce travail, dans une autre étude de cas (étude de cas n°3) qui se focalisera autour d'une coopérative énergétique genevoise.

4.2.6 Le potentiel de surface exploitable pour développer les centrales citoyennes

Depuis la réalisation de ces deux projets en 2019 et 2020, aucun autre n'a été mené depuis. Cela est dû notamment aux conditions de réalisation de ce type de projet, qui dépend de trois facteurs importants : la surface en toiture disponible, le taux d'autoconsommation du bâtiment et le type de bâtiment.

La surface disponible pour la production solaire photovoltaïque doit être supérieure à 100m² pour que le projet soit rentable pour les Services Industriels Genevois, porteurs du projet. C'est le minimum pour réaliser le *contracting* solaire selon eux. Le taux

d'autoconsommation ne doit pas être de 100%. Il doit y avoir un reste de production ré-injectable dans le réseau, sinon le projet est impossible. Et finalement, selon les SIG, le bâtiment doit être un bâtiment fondamentalement public, comme un stade sportif qui appartient symboliquement aux Genevois. Les bâtiments privés ne semblent pas convenir aux SIG, dû à un manque de symbolisme genevois. Cela reste néanmoins une piste potentielle de développement, notamment dû au contexte actuel, avec une grande volonté de la population d'avoir de l'énergie renouvelable et la difficulté des SIG à trouver des nouveaux sites pour développer cette offre. De plus, des partenariats avec des collectivités publiques peuvent aussi être de potentielles pistes pour débloquer cette situation, que cela soit le canton ou les communes. Des études pourraient être mises en place afin de déterminer si des bâtiments leur appartenant pourraient répondre positivement aux trois critères mentionnés plus haut.

4.2.7 Divergences entre le potentiel et la réalité du terrain

Un élément pertinent à analyser pour favoriser l'implantation et le développement de projets non seulement participatifs mais aussi globalement solaires concerne les restrictions des superficies de projets solaires liées à des limites structurelles et architecturales. En effet, ces dernières posent de grands problèmes au développement solaire, car elles entraînent des hausses de coûts du projet et donc limitent le potentiel de projets photovoltaïques, comme on peut le voir ci-dessous avec une étude du potentiel du stade de Genève menée par Solar Agentur (Solar Agentur, 2021).



Figure 9 : Projection de la rénovation du Stade de Genève scénario BEP 224%. Source : <https://www.solaragentur.ch/de/node/894>.

Cette projection montre une version de rénovation du stade de Genève s'il était rénové pour devenir un bâtiment à énergie positive (BEP) 224%.

Bien que cela reste une vision idéalisée et très difficile à atteindre, elle permet de montrer les écarts entre les potentiels scénarios et la réalité empirique du terrain, avec des fonds limités et des structures architecturales ne permettant pas le développement « maximal » du toit.

En l'occurrence, le projet « mon m² solaire » a rencontré des limites structurelles qui ont demandé une pesée d'intérêts entre maximiser la production solaire et la rentabilité du projet. Pour maximiser la production solaire, des travaux de rénovation afin de renforcer certaines parties de la toiture auraient été nécessaires, afin que ces parties puissent soutenir le poids supplémentaire des panneaux solaires et de leurs points d'attache. Ces travaux, très coûteux, auraient eu un très grand impact sur la rentabilité du projet du côté des SIG, et sur l'attractivité du projet du côté des clients potentiels.

Les coûts d'installations sont aujourd'hui subventionnés par la Confédération à travers la rétribution unique. Le taux de rétribution d'une installation est calculé à partir de la puissance installée et non à partir des coûts totaux des travaux d'installations. Le montant exact se calcule en fonction de la puissance, du type d'installation (ajoutée/intégrée) et de la date de mise en service. Avec le contexte actuel et la volonté déclarée des collectivités publiques genevoises de développer massivement le solaire thermique et photovoltaïque dans le canton, il semble nécessaire d'étudier la possibilité de subventionner des travaux de renforcement ou de rénovation de toitures liés à l'installation de panneaux solaires, que cela soit à un niveau communal, cantonal ou fédéral.

4.2.8 Résumé de l'étude de cas d'une centrale solaire participative

En résumé, le dispositif de centrale solaire participative peut être synthétisé de la manière suivante :

Objectifs du dispositif :

- Développer l'accès aux centrales de production participatives pour la population non-propriétaire.
- Atteindre l'objectif de 350 MWc de capacité de production photovoltaïque.

Acteurs cibles :

- Les Services Industriels de Genève.
- Les locataires, propriétaires de toitures libres et les personnes n'ayant pas la possibilité d'investir directement dans des panneaux solaires.

Mise en œuvre :

- Utilisation de modèles de financements participatifs tels que le *crowdfunding*, le *crowddonating*, le *crowdsupporting*, le *crowdlending* et le *crowdinvesting*.

- Offre des Services Industriels de Genève "mon m2 solaire" qui permet aux souscripteurs de bénéficier de 100 kWh d'électricité par part, par an pendant 20 ans.

Points à améliorer :

- Augmenter la participation citoyenne à la transition énergétique.
- Favoriser l'implantation de projets solaires en levant les restrictions des superficies de projets liées à des limites structurelles et architecturales.
- Examiner la possibilité de développer des projets participatifs dans des bâtiments privés et établir des partenariats avec des collectivités publiques pour trouver de nouveaux sites.

4.3 Étude de cas 2 : La rénovation d'une coopérative d'habitation

4.3.1 Coopérative d'habitation ou énergétique ?

Lorsque l'on pense au logement et au moyen de se loger, il en ressort deux voies bien connues : être locataire d'un bien foncier ou bien en être propriétaire. Les réflexions et stratégies d'action des politiques publiques visent logiquement les propriétaires fonciers, ayant une capacité d'action directe sur leur bien foncier, contrairement aux locataires. Cependant, une structure organisationnelle, bien qu'existante depuis très longtemps, est en train de se développer en Suisse et à Genève : la coopérative d'habitation.

A Genève, selon un recensement de la fondation pour la promotion du logement bon marché et de l'habitat coopératif (FPLC), il existe, au 31 décembre 2021, 128 coopératives d'habitation propriétaire. Cela représente près de 12'000 logements constituant environ 7% du parc locatif cantonal et 5% du parc total de logements. Mais avant d'analyser le potentiel que peut amener ce mode d'habitation, il est nécessaire d'expliquer ce qu'est une coopérative d'habitation.

L'Etat de Genève en donne la définition en 5 points :

- « Un organisme sans but lucratif ayant pour objectif de fournir des logements à ses membres au meilleur prix.
- Une organisation démocratique dont l'organe suprême est l'assemblée générale, au sein de laquelle chaque membre dispose d'une voix.
- Une forme d'habitat intermédiaire entre la location traditionnelle et la propriété : la coopérative est propriétaire de l'immeuble et en assume la responsabilité ; les coopérateurs sont formellement locataires mais ils participent aux décisions et élisent le conseil d'administration.
- Une société dont le capital est constitué de parts sociales souscrites par les membres : les locataires-coopérateurs doivent généralement déposer entre 5% et 10% de la valeur de leur appartement, ce montant leur étant remboursé lorsqu'ils quittent la coopérative.

- Une entité qui favorise l'échange et la convivialité entre coopérateurs, une solidarité entre tous ainsi qu'un sens partagé des responsabilités" (République et canton de Genève, 2018).

Les coopératives permettent donc aux personnes voulant être coopérateurs d'avoir un statut particulier, entre locataires et propriétaires. Cela leur permet d'avoir un droit de regard et de décision sur les actions entreprises au sein de la coopérative. Ces droits peuvent donc avoir un regard sur l'intégration de l'énergie dans le bâtiment de la coopérative. Ils peuvent ainsi participer au choix de consommation et/ou de production énergétique du bâtiment, contrairement à des locataires usuels. Ce type d'habitation permet alors de remettre en question le mode de gestion énergétique majoritaire depuis plusieurs décennies.

En effet, lorsque l'on pense à la production et consommation d'énergie, il en ressort une voie bien connue : consommer l'énergie distribuée par un gestionnaire de réseau de distribution. Une deuxième voie existe pourtant depuis longtemps mais est toujours restée minoritaire : l'autoproduction et consommation. Dans le contexte expliqué plus tôt dans ce travail, un renversement est en train de se produire dans le contexte énergétique et ces modes de consommation énergétique commencent à se mélanger, comme illustré par l'achat du surplus solaire des productions décentralisées individuelles. L'énergie se communautarise.

Comme il a été démontré dans le premier cas, il est possible de sortir de ce cloisonnement et de développer des structures permettant à des locataires de consommer de l'énergie locale, ou bien à un propriétaire de vendre son excès de production à des consommateurs locaux. Il existe le concept de communauté d'auto-consommateurs, qui se décline en deux solutions. Ces dernières commencent à se développer au sein du canton de Genève : le regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP) et la communauté d'autoconsommation (CA).

Les Services Industriels de Genève définissent un RCP comme un groupe de résidents, composé de locataires, propriétaires, d'entreprises, de ménages ou d'un mélange de ces possibilités, qui choisissent de mettre en commun leur consommation d'électricité et qui disposent d'une centrale de production d'énergie solaire à proximité. La définition d'une CA est sensiblement la même. Ces deux solutions diffèrent cependant autour des conditions d'entrées et de sorties des membres de la communauté ainsi qu'autour du calcul des compteurs électriques. En effet, dans une CA, n'importe quel locataire du bâtiment peut y adhérer ou la quitter, car le gestionnaire garde la propriété du compteur électrique. Cependant, cela diffère dans le cadre d'un RCP. Le gestionnaire de réseau le voit comme un client unique, même si chaque propriétaire, locataire, entreprise ou ménage du bâtiment possède un compteur individuel.

L'autoconsommation d'électricité est encore minoritaire dans le canton de Genève. Pour accélérer le développement de cette production décentralisée, des réflexions autour des coopératives doivent être analysées. Les conditions de rachat de l'électricité produite, les modalités des mises en œuvre des coopératives et des certificats de

production ainsi que les règles d'autoconsommation et de subventionnement méritent d'être examinées.

4.3.2 Regroupement dans le cadre d'une consommation propre et rénovation énergétique

La coopérative la Ruche est une coopérative d'habitation à Genève. Elle a pour but de favoriser :

- « Les intérêts économiques de ces associés en mettant à leur disposition des logements sains, pratiques confortables et à loyer modéré.
- L'achat, la location ou tout autre mode d'obtention de la libre disposition de terrains sur l'emplacement desquels elle fait construire des maisons d'habitation.
- L'achat d'un bâtiment présentant un intérêt pour la société. En général, l'amélioration des conditions de logement de l'ensemble de la population » La Ruche, 2023).

Elle a entamé en 2017 une rénovation énergétique globale du bâtiment.

Ce cas est intéressant pour diverses raisons. Premièrement, sa localisation. Situé en plein centre-ville urbain, ce bâtiment collectif se trouve dans un tissu urbain très dense. Le projet de rénovation comprend l'installation de panneaux photovoltaïques sur le toit et en façade. Alors que le projet initial prévoyait des panneaux solaires thermique, la coopérative a décidé de partir sur un projet avec des panneaux photovoltaïques sur les toits et une façade après discussions avec l'architecte. En effet, les rendements sont beaucoup moins bons sur la façade malgré une surface beaucoup plus grande.



Figure 10: Le bâtiment collectif de la coopérative après rénovation. Source : Dasta, <http://www.dasta.ch/references/cooperative-la-ruche-rue-des-maraîchers>.

L'électricité produite par les installations solaires est consommée dans les communs et par la pompe à chaleur. L'électricité est incluse dans le calcul du bilan énergétique. Le bâtiment autoconsomme donc une grande partie et revend le surplus. Cependant, une consommation de gaz fossile est toujours présente. Ces installations renouvelables permettent de baisser la consommation fossile, mais pas d'être à 100% renouvelables.

Le choix d'installer du solaire photovoltaïque et non du solaire thermique a été motivé selon les raisons suivantes. Selon le président de la coopérative, le solaire thermique n'est pas bon pour l'immeuble d'habitation. Une deuxième raison concerne le fait que l'utilisation des toitures pour la production électrique permet d'augmenter le rendement de la pompe à chaleur. Selon lui, l'obligation d'installer du solaire thermique complique l'installation du solaire dû aux démarches administratives pour obtenir une dérogation à cette obligation légale. De plus, le champ des procédures administratives et des normes à respecter est compliqué à naviguer sans aide extérieure.

Le mode de financement pour ce projet de rénovation est plutôt classique pour la coopérative. Les fonds propres de la coopérative apportent 20% du financement et une banque complète le reste.

Sur un rendement d'un million de francs par année, 500'000 francs sont gardés dans le budget pour la rénovation, alors que les loyers sont dans la moyenne du marché. La planification devrait être nécessaire et permettrait de faciliter la rénovation.

La question de la rentabilité n'a pas du tout été importante dans le choix des scénarios de rénovations pour la coopérative. Les rendements des installations solaires ne sont pas optimaux. La motivation des habitants de cette coopérative n'était donc pas purement économique, mais plutôt écologique.

La coopérative a aussi connu, comme sur de nombreuses toitures à Genève, le problème des multiples possibilités d'utilisation des toitures. Cette problématique a déjà été identifiée plus tôt dans ce travail. Les toitures, surfaces jusqu'alors peu optimisées, attisent aujourd'hui différents modes d'utilisation : la production énergétique, à l'aide de panneaux solaires, de nouveaux lieux de loisir et de cohésion sociale avec la création de toitures récréatives, espaces propices à la végétalisation et la biodiversité, avec les toitures végétalisées. Entre les politiques publiques et les volontés des différents membres de la coopérative, beaucoup de propositions alternatives pour l'utilisation de la toiture ont été discutées. Ce type de complications est plus prononcé lors des rénovations que lors d'une construction, selon le président de la coopérative.

4.3.3 Résumé de l'étude de cas d'une rénovation au sein d'une coopérative d'habitation

La deuxième étude de cas peut être résumée comme ceci :

Objectifs du dispositif :

- Favoriser l'autoproduction et l'autoconsommation d'énergie.
- Encourager la rénovation énergétique des bâtiments coopératifs.

Acteurs cibles :

- Les coopératives d'habitation en Suisse et à Genève.
- Les locataires-coopérateurs.
- Les résidents intéressés par la création de communautés d'autoconsommateurs.
- Les Services Industriels de Genève.

Mise en œuvre :

- La rénovation énergétique d'une coopérative .

Points à améliorer :

- Des réflexions doivent être menées sur les conditions de rachat de l'électricité produite, les modalités de mise en œuvre des coopératives, les certificats de production ainsi que sur les règles d'autoconsommation et de subventionnement.
- Encourager l'autoproduction et l'autoconsommation d'électricité.

- Simplifier les démarches administratives pour installer des installations solaires.
- Faciliter la rénovation énergétique des bâtiments coopératifs.
- Explorer les différentes possibilités d'utilisation des toitures, tels que la production d'énergie solaire, les espaces récréatifs et la végétalisation.
- Favoriser la coopération entre les coopératives d'habitation et les Services Industriels de Genève.
- Encourager les bureaux d'ingénieurs à être plus audacieux dans leurs projets.

4.4 Étude de cas 3 : Processus de déploiement massif d'installation photovoltaïque

4.4.1 Les appels d'offres groupés, co-construction exemplaire de la transition énergétique

Le plan directeur cantonal de l'énergie a fixé dans son plan d'action l'ambition « d'accompagner les propriétaires immobiliers (financement, appels d'offre groupés, aides financières, tarif de rachat). Publié en 2020, un projet pilote d'appels d'offre groupés sur cinq communes genevoises de la rive droite (Bellevue, Céliney, Collex-Bossy, Prégny-Chambésy et Genthod) s'est déroulé en 2021. A la suite du succès de ce dernier, il a été reproduit sur la commune de Veyrier et la commune de Cologny. La première partie va s'intéresser au processus d'appel d'offre groupé et son développement à Genève.

Un appel d'offre groupé est une démarche d'accompagnement qui permet de sensibiliser, d'informer et d'accompagner les propriétaires de villas et de petites PPE pour installer du photovoltaïque sur leur toit, via un achat groupé. Ce genre de démarche a été initialement développé par la commune d'Epalinges en 2018 (Association Cité de l'énergie, 2019).

A Genève, ce processus a englobé différents acteurs très divers : les communes, SIG éco21 (un programme qu'offre les Services Industriels Genevois afin de promouvoir des actions d'efficacité énergétique), Planair (un bureau d'ingénieurs) et l'Office cantonal de l'énergie. Les démarches ont été portées par les communes mais avec le soutien des Services Industriels Genevois et de l'Office cantonal de l'énergie. Les communes portant un appel d'offres groupé ont pu bénéficier d'un soutien financier de SuisseEnergie et de SIG éco21 pour payer les honoraires du bureau d'ingénieur. SIG éco21 a eu comme rôle de mettre à disposition leur réseau d'installateur éco21 pour que les propriétaires aient des installateurs de confiance.

4.4.2 Les appels d'offres groupés : une véritable co-construction du développement photovoltaïque

Cette démarche permet d'exemplifier la volonté de co-construction de la transition énergétique que vise le Plan directeur de l'énergie. Ce dernier place les communes comme des acteurs clés de la transition énergétique et la première ligne pour la décliner à l'échelle du territoire genevois. Les communes possèdent un lien de proximité et de confiance plus accru avec eux. Cela leur donne donc une certaine légitimité pour les pousser dans la transition énergétique. Les SIG apportent dans cette

démarche leur réseau professionnel. Ils possèdent une liste d'installateurs solaires partenaires SIG-éco21. Pour devenir partenaires, les entreprises doivent avoir suivi la formation « partenaire engagé » et obtenu le certificat affilié. Elles doivent aussi respecter totalement les conventions collectives de travail genevoises (CCT) et doivent être à jour au niveau fiscal. Ce partenariat est donc tout aussi bénéfique pour les entreprises que pour les clients, car cela permet d'avoir des installateurs compétents, suivis par SIG, et de rassurer les clients dans le choix d'une entreprise pour les travaux d'installations photovoltaïques. Selon SIG, un projet réussi est lié au prestataire du projet. D'où la volonté de Eco-21 de développer la démarche d'appels d'offres groupés à Genève. Elle regroupe donc ces acteurs et on peut très bien voir ce processus de co-construction visé par le Plan directeur de l'énergie.

4.4.3 Un déploiement massif rapide d'installations photovoltaïque

En plus de la co-construction, cette démarche permet de déployer rapidement sur un territoire communal un grand nombre d'installations photovoltaïques. Dans les communes du projet pilotes possédant des territoires composés principalement de bâtiments peu denses (petites PPE et villas), le solaire photovoltaïque devient intéressant. La rentabilité des installations solaires augmente plus le taux d'autoconsommation est élevé. Ce mode de production d'énergie est donc très intéressant pour les zones résidentielles, où les consommations par bâtiments ne sont pas très importantes. La consommation annuelle d'électricité d'un ménage standard peut être couverte par une installation de 4 kWc.

Sur ce projet pilote, les projections avaient estimé l'installation de 170 centrales solaires PV, de 9 kWc en moyenne. Cela représente donc 1.5 MWc de capacités.

4.4.4 L'accompagnement, méthode nécessaire pour rassurer les propriétaires ?

Cette démarche d'appels d'offre groupés vise à rassurer les propriétaires. En effet, le dispositif proposé par l'OCEN et les SIG, à travers leur partenariat GE-nergie, permettent de préparer des séances d'informations aux propriétaires intéressés.

Pour le cas du projet pilote, les communes volontaires ont mandaté Planair comme bureau d'études et ont fait des démarches de communication aux propriétaires de leurs communes. Trois séances d'information ont été ensuite préparées pour informer les propriétaires. Une première séance a présenté la démarche de manière plutôt générale, une seconde la démarche avec une simulation financière et une dernière est spécifique pour des propriétaires sous contraintes patrimoniales ou qui sont en PPE.

Cette approche pédagogique est avantageuse pour les propriétaires.

Elle permet en effet de donner confiance à la démarche, grâce à cette co-construction triptyque de la commune, de l'OFEN, OCEN et SIG ainsi que le bureau d'ingénieurs. Le cahier de charges exigeant les contrôles qualité après la mise en installation permet de renforcer cette confiance.

De plus, elle permet de garantir le meilleur prix des installations, grâce à la mise en concurrence des installateurs par Planair (trois offres d'installateurs différents). Grâce à un volume d'installations important, des rabais peuvent être négociés afin de baisser les prix. Des subventions de la commune, Confédération et des SIG viennent compléter la démarche et permettre d'augmenter le taux de rentabilité.

Finalement, l'accompagnement par ces acteurs permet de simplifier le processus d'installation, de prendre des choix rationnels et logiques selon le type de bâtiment, ses besoins énergétiques et les potentielles contraintes patrimoniales.

4.4.5 L'étude de cas sur les appels d'offre groupés en résumé

Cette troisième étude de cas peut être résumée de la manière suivante :

Objectifs du dispositif

- Accompagnement des propriétaires de villas lors de la démarche d'achat et d'installation d'installations solaires photovoltaïques.

Acteurs cibles

- Les propriétaires de villas et de petites PPE.

Mise en œuvre

- Les appels d'offres groupés sont initiés par les communes, avec le soutien des services industriels genevois (SIG éco21) et de l'Office cantonal de l'énergie.
- Les communes bénéficient d'un soutien financier de SuisseEnergie et de SIG éco21 pour couvrir les honoraires du bureau d'ingénieurs.
- SIG éco21 met à disposition son réseau d'installateurs éco21, garantissant aux propriétaires des installateurs de confiance.

Points à améliorer

- La démarche de co-construction entre les communes, les Services Industriels Genevois et l'Office cantonal de l'énergie doit être renforcée pour atteindre les objectifs du Plan directeur de l'énergie.
- L'accompagnement des propriétaires par les acteurs concernés doit être optimisé pour rassurer et informer les propriétaires intéressés.
- Il est important de garantir des prix compétitifs grâce à la mise en concurrence des installateurs et aux négociations de rabais, tout en offrant des subventions pour augmenter la rentabilité des installations.
- Le processus d'installation doit être simplifié et adapté aux différents types de bâtiments, en prenant en compte les besoins énergétiques et les contraintes patrimoniales éventuelles.

4.5 Installation photovoltaïque sur un lotissement BEP

4.5.1 La place des bâtiments à énergie positive dans la politique énergétique genevoise

La loi sur l'énergie genevoise (L 2 30 LEn) et son règlement d'application (L 2 30.1 REn) édicte les standards de performances énergétiques à appliquer. En 2019, ce dernier a évolué afin de rendre ces derniers compatibles avec l'évolution des exigences fédérales en matière d'optimisation énergétique et de la société à 2000 W.

Il existe donc aujourd'hui cinq standards différents répartis en deux groupes, selon le contexte des travaux, liés à un bâtiment neuf ou lié à des rénovations :

- HPE-Neuf
- HPE-Extension
- HPE-Rénovation
- THPE-2000 W
- THPE-Rénovation

Ces standards sont, en grande part, équivalents au label de construction suisse Minergie pour les bâtiments neufs ou rénovés.

Très techniques, ces standards décrivent des valeurs et seuils limites dans la construction des bâtiments. Cependant, seules les valeurs liées à l'énergie solaire seront détaillées dans ce chapitre.

Le standard HPE est généralement l'obligation légale pour toutes constructions ou rénovations sur une parcelle privée. Toutes constructions neuves, qu'il s'agisse d'un bâtiment ou d'une installation sur une parcelle appartenant à une collectivité publique, à un établissement ou fondation de droit public, doivent être réalisées selon le standard THPE 2000W, selon l'art. 12C al1 et 2 REn. Il en convient de même si des tiers possèdent des droits de superficie sur des terrains appartenant à des entités publiques.

Le standard HPE-Neuf est obligatoire pour toute construction neuve (selon l'art. 15 al. 1 Len) et pour toute extension d'une construction neuve. Pour atteindre ce standard, le projet doit répondre à un certain nombre de critères techniques. Ceux ayant un lien avec l'énergie solaire photovoltaïque (et thermiques) sont les suivants :

- L'enveloppe thermique doit être valorisée avec un taux de production propre d'électricité d'au moins 10W/m² de surface énergétique.
- La toiture doit être équipée de capteurs solaires thermiques, couvrant au minimum 30% des besoins énergétiques des besoins de chaleur admissibles pour l'eau chaude sanitaire (art. 15 al. 2 LEn). Cependant, des exceptions peuvent être admises si ces besoins sont couverts par d'autres énergies renouvelables (comme le photovoltaïque par exemple), si la structure de la toiture ne permet pas un rendement suffisant, ou bien si le besoin en eau chaude sanitaire (ECS) est faible.

Le standard HPE-Extension (HPE-Ext) concerne l'extension de bâtiments existant. Pour atteindre ce standard, le bâtiment entier doit répondre aux mêmes critères qu'une construction neuve avec un standard HPE-Neuf.

Le standard HPE-Rénovation (HPE-Réno) est le seuil visé pour tout bâtiment rénové à Genève qui se trouve sur une parcelle privée.

4.5.2 Qu'est-ce qu'un BEP ?

Un bâtiment à énergie positive est un type de bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme au cours d'une année. Cette énergie excédentaire peut être exportée vers le réseau, stockée pour une utilisation ultérieure ou utilisée pour alimenter des véhicules électriques, entre autres. Les bâtiments à énergie positive sont généralement conçus en combinant des caractéristiques d'efficacité énergétique et des technologies d'énergie renouvelable, tels que des panneaux solaires, des éoliennes et des systèmes géothermiques.

Un exemple de bâtiment à énergie positive en Suisse est une maison de retraite à Aadorf (Thurgovie), la Haus Adesta. Des travaux de rénovations ont amélioré l'isolation et la protection solaire en 2020. Une installation photovoltaïque de 175,8 kWc, parfaitement intégrée au toit, produit désormais 165'100 kWh/an, dont 98'300 kWh/an sont consommés en interne. L'autoproduction atteint 168%, réduisant les émissions de CO2 de 35 t/an. L'excédent solaire de 66'800 kWh/an permet de compenser 35,7 t et jusqu'à 70 t avec toute l'énergie solaire produite. Environ 100'000 kWh/an d'électricité solaire sont utilisés par le centre résidentiel (Solar Agentur, 2021b).

Cet exemple démontre que les bâtiments à énergie positive peuvent être conçus et construits dans différents contextes et pour différents usages, tout en atteignant l'objectif de produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

A Genève, ce type de bâtiment reste encore très rare, surtout dans les concepts de bâtiments collectifs. Le cas analysé ici est un cas de maisons résidentielles mitoyennes en périphérie de Genève, dans la commune de Thônex.

4.5.3 La vision particulière de Homsphere pour un bâtiment autonome en énergie solaire

Homsphere est une entreprise qui a pour objectif de produire assez d'électricité à partir de panneaux solaires pour couvrir les besoins énergétiques des bâtiments qu'elle construit, ainsi que les achats d'électricité lors des périodes creuses. Pour cela, elle préfère n'installer que des panneaux solaires plutôt que de combiner différentes sources d'énergie. Homsphere crée également des *micro-grids* pour répartir l'énergie entre les locataires ainsi que comptabiliser la production et la consommation d'énergie.

4.5.4 Les défis de la mise en place d'un micro-grid

Cependant, la mise en place d'un *micro-grid* est rendue difficile par les réglementations de SIG et Pronovo, qui souhaitent avoir un compteur sur chaque installation solaire. De plus, Pronovo veut collecter des statistiques solaires, ce qui ralentit la création de

micro-grids. Les démarches administratives liées aux panneaux solaires sont également très lourdes, ce qui retarde l'obtention de la rétribution unique.

4.5.5 Les défis liés au réseau électrique à Genève

Le réseau électrique à Genève est souvent limité et a été conçu pour des bâtiments plus anciens. Cela limite la production d'énergie solaire dans la région et a conduit à une limitation de production solaire à Thônex. SIG a également contacté Homsphere pour écrêter la production solaire sur leurs villas lors du pic de production afin de réguler le réseau. Enfin, la puissance des installations solaires nécessite un raccordement électrique plutôt fort, ce qui peut poser des problèmes avec le bout de ligne du réseau électrique genevois.

4.5.6 Défis techniques et de logistique

Il y a également des défis techniques et de logistique, notamment au regard de la pénurie de ressources et des rappels de fournisseurs pour les onduleurs. Les panneaux solaires plus spécifiques ne peuvent pas être livrés en raison d'un manque de pièces d'accrochage. De plus, il y a des problèmes de performance dûs à la végétation et aux interférences des batteries.

4.5.7 Le Regroupement de consommation propre particulier de Homsphere

Enfin, Homsphere a mis en place une forme particulière de regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP). En effet, Homsphere reçoit les données du microgrid et gère les factures pour les propriétaires. permet d'avoir toutes les données pour son système de facturation. Cela implique également une servitude énergétique sur les parcelles au niveau du foncier.

4.5.8 La complexité administrative

Dans l'ensemble, la mise en place d'un bâtiment autonome en énergie solaire pose de nombreux défis, notamment en raison de la complexité administrative, de la pénurie de ressources et de la réglementation en constante évolution. Il est nécessaire d'avoir des spécialistes en énergie solaire, en accès en toiture et en chauffage, entre autres, ce qui peut compliquer la reproductibilité des projets.

4.5.9 L'étude de cas d'un BEP en résumé

La quatrième étude de cas peut être résumée de la manière suivante :

Objectifs du dispositif :

- Développer des bâtiments produisant plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

Acteurs cibles :

- Les propriétaires de parcelles privées et les collectivités publiques impliquées dans des constructions neuves ou des rénovations.
- Les professionnels de la construction et de l'énergie impliqués dans la mise en œuvre des standards de performances énergétiques.

Mise en œuvre :

- Établissement de cinq standards différents (HPE-Neuf, HPE-Extension, HPE-Rénovation, THPE-2000 W, THPE-Rénovation) pour guider les constructions et rénovations selon le contexte des travaux.
- Intégration de critères techniques spécifiques à l'énergie solaire photovoltaïque et thermique dans les standards.
- Utilisation du label Minergie, équivalent des standards de construction suisses, pour les bâtiments neufs ou rénovés.

Points à améliorer :

- Simplifier les réglementations et les procédures administratives liées à l'installation de panneaux solaires et à la création de *micro-grids*.
- Renforcer le réseau électrique à Genève pour faciliter la production et la distribution de l'énergie solaire.
- Trouver des solutions aux défis techniques et logistiques, tels que la disponibilité des ressources, les rappels de fournisseurs et les problèmes de performance des batteries solaire.
- Encourager la collaboration entre les acteurs du secteur de l'énergie pour surmonter les obstacles et promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire.

4.6 Les toitures biosolaires : combinaison de la végétalisation et de l'énergie solaire

Les toitures végétalisées possédant des panneaux solaires, ou paradoxalement nommées « biosolaires », sont des installations de toitures végétalisées qui intègrent également des panneaux solaires pour produire de l'énergie solaire. Cette technique permet de combiner les avantages d'une toiture végétalisée (amélioration de l'isolation thermique et phonique, rétention des eaux pluviales, réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, biodiversité) avec ceux de la production d'énergie solaire.

Les panneaux solaires installés sur les toitures biosolaires sont généralement des panneaux photovoltaïques qui convertissent l'énergie solaire en électricité. Ces panneaux peuvent être installés sur des supports spéciaux qui permettent aux plantes de pousser et de se développer autour d'eux, sans compromettre leur efficacité. Les toitures biosolaires peuvent être installées sur des bâtiments neufs ou existants.

4.6.1 Les politiques publiques et les toitures biosolaires

Au niveau des politiques publiques genevoises, des stratégies se sont ou se développent à l'heure actuelle. Le Plan directeur de l'énergie possède un plan d'action concernant les toitures végétalisées. Ce dernier vise à développer les synergies entre photovoltaïque et toitures végétalisées (Office cantonal de l'énergie, 2020, p.92). Plus récemment, au sein du guide des installations solaires publié par l'OCEN, une section concernant les installations biosolaires a été développée pour encadrer leur développement. Elle permet de poser les conditions d'installation et les nombreux bienfaits de la synergie entre les panneaux solaires et les toitures végétalisées. En effet, les installations solaires compatibles avec une végétalisation de la toiture nécessitent des panneaux inclinés et espacés adéquatement pour favoriser la croissance des plantes. Il est recommandé d'utiliser des espèces à faible croissance formant des tapis denses, résistantes à la sécheresse, pour éviter les effets d'ombrage. Pour assurer la coexistence harmonieuse, il faut surélever les panneaux d'au moins 20 cm pour éviter l'ombre sur les cellules solaires, répartir différemment le substrat pour favoriser la croissance des plantes de mi-ombre et prévoir des visites de contrôle pour éliminer les plantes indésirables. Lors d'une installation biosolaire, il est crucial de respecter les règles de dimension des constructions et les normes pour les bâtiments protégés (Office cantonal de l'énergie, 2022, p.42).

Les avantages environnementaux des toitures biosolaires sont nombreux. En plus de produire de l'énergie solaire, elles contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la réduction de la pollution de l'air, à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain et à l'amélioration de la biodiversité. En outre, elles peuvent aider à réduire les coûts de chauffage et de climatisation des bâtiments.

Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), les toitures biosolaires peuvent offrir des avantages économiques importants, notamment en réduisant les coûts de chauffage et de climatisation ainsi qu'en produisant de l'électricité pour une utilisation sur place ou pour la vente à un fournisseur d'énergie (ADEME, 2021).

L'association Terrasse sans frontières (TSF) propose trois types de toitures : la prairie sauvage, la toiture bio-solaire et le lieu de vie potager. TSF suit les projets de la conception à la rédaction du cahier des charges, en passant par les appels d'offres et les études de bio-sourcing des matériaux jusqu'au suivi de chantier. Cette approche holistique offre une vision à 360° de la réalité de travailler avec une toiture et de faire du bio solaire, ainsi que des interactions avec les parties prenantes. TSF possède des connaissances approfondies des différents corps de métiers liés aux travaux en toitures et des difficultés rencontrées. L'association a mené une recherche avec HEPIA pour réfléchir à l'écosystème entre la toiture et le sol. Cependant, l'association Terrasse sans frontières est aujourd'hui un acteur oublié par l'OCEN dans le cadre des toitures bio-solaires.

Une autre grande problématique sont les conflits d'intérêts entre l'espace technique (le solaire) versus la végétalisation. Pour TSF, théoriquement, il ne devrait pas y avoir

de conflits d'intérêts. Lorsqu'il y a une toiture végétalisée, un des arguments du solaire concerne le fait qu'il y aura moins de panneaux solaires, ce qui réduit la productivité. Cependant, des études montrent que les toitures végétalisées augmentent le rendement des panneaux solaires au-delà de 25 degrés Celsius. Le deuxième argument contre les toitures bio-solaires concerne le fait que la disposition des panneaux solaires amène un jeu de quelques centimètres entre les panneaux, ce qui peut favoriser la croissance de plantes entre les panneaux, compliquant ainsi leur entretien.

Le contre-argument de TSF est le suivant. La technologie ne va pas forcément résoudre le problème de la transition énergétique. Il convient de favoriser la présence de la nature partout où cela est réalisable. Les toitures bio-solaires sont importantes pour capter l'eau et disséminer la chaleur, ce qui est un enjeu important dans les centres urbains de plus en plus minéraux. Elles permettent également de capter la pollution et les particules fines, de créer des îlots de fraîcheur et d'améliorer l'étanchéité de la toiture. De plus, la végétalisation double la durée de vie d'une toiture (25 à 50 ans) et favorise la biodiversité, offrant un refuge pour les insectes.

Cependant, les projets bio-solaires sont encore peu présents et au stade de réflexion chez TSF. La principale contrainte des toitures bio-solaires concerne le fait que les panneaux doivent être surélevés et plus espacés pour faciliter l'entretien, ce qui nécessite une structure de toit solide. Les bureaux d'étude ont tendance à optimiser le projet solaire et le rendre très dense, ce qui ne permet pas toujours de mettre en place une toiture végétalisée.

Finalement, la planification territoriale des toitures plates à végétaliser peut offrir une valeur ajoutée esthétique pour les zones de logements et une valeur ajoutée d'isolation thermique pour les zones industrielles et artisanales.

4.6.3 L'étude de cas du dispositif des toitures biosolaires en résumé

Objectifs du dispositif :

- Les toitures biosolaires visent à combiner les avantages d'une toiture végétalisée avec ceux de la production d'énergie solaire.
- L'objectif est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'air et l'effet d'îlot de chaleur urbain, tout en améliorant l'isolation thermique et phonique, la rétention des eaux pluviales et la biodiversité.
- Les toitures biosolaires peuvent également réduire les coûts de chauffage et de climatisation des bâtiments.

Acteurs cibles :

- Les propriétaires de bâtiments, les architectes et les bureaux d'études.

Mise en œuvre :

- Les toitures biosolaires intègrent des panneaux solaires photovoltaïques sur des supports spéciaux permettant la végétalisation sans compromettre l'efficacité des panneaux.
- Les avantages environnementaux des toitures biosolaires sont multiples, allant de la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'amélioration de la biodiversité.
- L'ADEME reconnaît les avantages économiques des toitures biosolaires, notamment en réduisant les coûts de chauffage, de climatisation et en permettant la vente d'électricité produite.

Points à améliorer :

- Les conflits d'intérêts entre l'espace technique pour les panneaux solaires et la végétalisation peuvent représenter un défi dans la mise en place de toitures biosolaires.
- Etudier les synergies entre PV et toitures végétalisées et les moyens d'implantation.
- Les contraintes techniques, telles que la nécessité d'une structure solide et d'une planification territoriale appropriée, peuvent limiter le déploiement des toitures biosolaires.
- La sensibilisation et l'engagement des bureaux d'études et des propriétaires de bâtiments sont essentiels pour promouvoir les toitures biosolaires comme une solution durable.

5 Recommandations

Finalement, dans cette dernière partie, des recommandations vont être formulées pour donner des premiers éléments de réponses à la question de recherche établie au début de cette axe : « *Quelles modalités de mise en œuvre l'Office cantonal de l'énergie genevois peut-il développer pour atteindre les objectifs fixés dans le Plan directeur de l'énergie ?* ».

5.1 Le développement de centrales solaires participatives

Les installations photovoltaïques liées à des processus de centrales participatives ont montré un attrait très développé. Mais leur développement est très limité dû au manque de surface de toiture disponible pour développer ce type de projet. L'Etat peut potentiellement entrer en jeu pour identifier des surfaces ayant un potentiel de développement.

L'office cantonal de l'énergie pourrait développer une étude de recensement de toitures de plus de 100 mètres carrés selon le processus suivant.

Phase 1 : Préparation du projet

Semaine 1 : Réunions avec les parties prenantes et définition de l'objectif, du budget et des échéances du projet.

Semaine 2 : Identification des besoins de l'étude et préparation du cahier des charges.

Phase 2 : Lancement de l'appel d'offres

Semaine 3 : Publication de l'appel d'offres sur la plateforme de marchés publics du canton.

Semaine 4-10 : Réponses aux questions des soumissionnaires et réception des offres.

Phase 3 : Évaluation des offres et choix du prestataire

Semaine 11 : Analyse et évaluation des offres reçues.

Semaine : Sélection du prestataire retenu.

Phase 4 : Réalisation de l'étude

Semaines 13-18 : Réalisation de l'étude par le prestataire retenu en utilisant une méthodologie précise et en respectant les échéances fixées dans le contrat.

Phase 5 : Présentation des résultats et clôture du projet

Semaine 19 : Présentation des résultats de l'étude aux parties prenantes.

Semaine 20 : Rédaction du rapport final, transmission des données aux autorités concernées et clôture du projet.

Il est important de noter que ce processus est basé sur une estimation et qu'il est sujet à des changements en fonction de la complexité du projet et des besoins des parties prenantes.

5.2 Les coopératives d'habitation à Genève

Un des problèmes majeurs limitant le développement de coopératives solaires à Genève est la complexité des tâches administratives. Un guide plus spécifique que celui pour les installations solaires à Genève pourrait être développé pour expliquer correctement comment développer l'autoconsommation dans son bâtiment, individuel ou collectif, et comment créer une communauté d'autoconsommation dans différents types de bâtiments collectifs.

La planification de ce projet se ferait de la manière suivante :

1. Étape de planification

Objectif du projet : rédiger un guide pour aider les groupes de consommateurs à créer et gérer des regroupements de consommation propre dans le canton de Genève

Délais : un délai de 6 mois est initialement prévu.

Budget : 32'000 CHF de budget est estimé pour développer ce projet.

Les acteurs principaux pour la rédaction de ce guide :

- Chef de projet (adjoint scientifique)
- Responsable de la communication (chargé de communication)
- Responsable de la coordination (gestionnaire de projet)
- Expert en développement durable (consultant/SIG)
- Expert en droit de la consommation (consultant/SIG)
- Groupe de travail composé de représentants de différents regroupements de consommateurs

2. Étape de recherche et d'analyse

À la suite de la première étape et après avoir établi la liste d'acteurs prenant part au projet et leur rôle, une étape de recherche et d'analyse est nécessaire :

- Réalisation d'une revue de la littérature sur les regroupements de consommation propres et les initiatives similaires dans d'autres cantons suisses. Une ou plusieurs séances doivent être organisées avec Swissolar et SuisseEnergie pour avoir un retour d'expérience autour de la réalisation de leur propre guide pratique de la consommation propre (Swissolar, 2023).
- Organisation de réunions avec des experts et des représentants de regroupements de consommateurs pour identifier les enjeux clés et les besoins des consommateurs dans le canton de Genève.
- Réalisation d'un atelier de rédaction avec le groupe de travail pour recueillir les commentaires et les suggestions.
- Analyse des données collectées et synthèse des résultats.

3. Étape de rédaction

- Rédaction d'un premier brouillon du guide, basé sur les résultats de l'étape de recherche et d'analyse.
- Révision du guide en fonction des commentaires et des suggestions reçus.

4. Étape de validation

- Présentation du guide à un comité d'experts pour validation.
- Réalisation d'une version finale du guide, en fonction des commentaires et des suggestions reçus.

5. Étape de diffusion

- Publication du guide sur le site web de l'Etat de Genève.
- Organisation d'un plan de communication pour annoncer la publication du guide et sensibiliser le public aux regroupements de consommation propre.
- Promotion du guide auprès des regroupements de consommateurs, des organisations de la société civile et des autorités locales.

Étape	Objectifs clés	Délais	Budget	Acteurs principaux
Planification	Définir l'objectif, les délais et le budget du projet	1 mois	5'000 CHF	Chef de projet, Réalisation de la communication, responsable de la coordination
Recherche et analyse	Collecter des données sur les RCP et besoins des consommateurs	2 mois	20'000 CHF	Chef de projet, expert en développement durable (Etat/SIG), Expert en droit de la consommation (Swissolar/SIG)
Rédaction	Rédiger un premier brouillon du guide et le réviser en fonction des commentaires	2 mois	10'000 CHF	Chef de projet, groupe de travail (GT)
Validation	Présenter le guide à un comité d'experts pour validation	1 mois	4'000 CHF	Directeur Général (OCEN), Chef de projet, expert en développement durable (Etat/SIG), Expert en droit de la consommation (Swissolar/SIG)
Diffusion	Diffusion du guide	1 mois	4'000 CHF	Chargé de communication, juriste (DT-OCEN)

Tableau 16 : Résumé des étapes du projet de guide pour les RCP. Source : Auteur, 2023.

5.3 Les appels d'offres groupés, un élément à soutenir

Les appels d'offres groupés sont un mode de développement de l'énergie solaire ayant très bien montré son efficacité, ce qui a permis de reproduire ces projets sur les communes de Veyrier et, à présent, Cologny. Cependant, cela ne veut pas dire que ce mode opératoire est parfait. L'OCEN peut aider ce dernier à gagner en efficience, surtout pour les grands freins impactant son développement : la pénurie de main d'œuvre, de ressources (panneaux solaires, onduleurs et autres composants liés à la technologie solaire) et les questions de sécurité, avec l'installation d'échafaudage.

Une centralisation de ces besoins permettrait aux différents professionnels du solaire de bénéficier d'un espace centralisant les ressources nécessaires pour le secteur du solaire (tels qu'un espace de formation et de recrutement, espace de commande de différentes ressources (Panneaux solaires, onduleurs etc...) et espace de réservation d'échafaudage (en partenariat avec les entreprises d'installation d'échafaudage).

Un projet pourrait donc être mis en place avec la planification suivante :

1. Étape de planification

Délais : 8 mois

Budget : 80'000 CHF

Acteurs principaux :

- Chef de projet (adjoint scientifique)
- Responsable de la communication (chargé de communication)
- Responsable de la coordination (gestionnaire de projet)
- Expert en énergie solaire (consultant)
- Association suisse des professionnels de l'énergie solaire (ASES)
- Fédération romande des consommateurs (FRC)

2. Étape de recherche et d'analyse

La deuxième étape sera majoritairement composée de la réalisation d'un retour d'expériences avec les professionnels sur les ressources disponibles du solaire dans le canton de Genève.

Des réunions avec des experts et des représentants de l'ASES seront organisées pour identifier les enjeux clés et les besoins des professionnels du solaire dans le canton de Genève.

Une analyse des données collectées et synthèse des résultats viendront clore cette 2^{ème} étape.

3. Étape de conception

La troisième phase comprendra la conception d'un plan pour centraliser les différentes ressources utiles aux professionnels du solaire dans le canton de Genève.

C'est dans cette étape qu'une évaluation des différentes options pour la mise en place de la centralisation (site web, application mobile, bureau d'information, etc.) sera effectuée.

A l'issue de cette évaluation, la meilleure option sera sélectionnée en fonction de critères définis.

4. Étape de réalisation

La quatrième étape sera la mise en place de la centralisation des ressources en fonction de l'option sélectionnée et du développement du site web ou de l'application mobile si nécessaire.

Une campagne de communication sera mise en place pour promouvoir cet espace de centralisation auprès des professionnels du solaire.

5. Étape de validation

L'étape de validation comprendra l'évaluation de la centralisation en fonction de différents critères tels que l'accessibilité, l'utilité et la satisfaction des utilisateurs.

Des modifications en fonction des commentaires et des suggestions reçus pourront être faites à ce stade.

6. Étape de diffusion

L'étape de diffusion sera la dernière étape de ce projet. Les résultats de l'étude seront publiés sur le site web de l'état de Genève à travers la newsletter. Une promotion de la centralisation auprès des professionnels du solaire et des organisations partenaires.

Étape	Objectifs clés	Délais	Budget	Acteurs principaux
Planification	Définir l'objectif, les délais et le budget du projet	1 mois	5'000 CHF	Chef de projet (OCEN), responsable de la communication, responsable de la coordination
Recherche et analyse	Collecter des données sur les ressources utiles et les difficultés d'accès	3 mois	25'000 CHF	Chef de projet, expert en énergie solaire
Conception	Définir la structure et la présentation du point de centralisation	1 mois	5'000 CHF	Chef de projet, expert en énergie solaire
Réalisation	Créer le point de centralisation avec les ressources sélectionnées	2 mois	25'000 CHF	Chef de projet, expert
Validation	Présenter le point de centralisation aux parties prenantes pour validation et réaliser une version finale en fonction des commentaires	1 mois	4'000 CHF	Directeur général (OCEN), chef de projet, expert en énergie solaire, MBG, ECO21
Diffusion	Publier l'espace de centralisation sur ge.ch et newsletter pour annoncer sa création	1 mois	6'000 CHF	Chef de projet, responsable de la communication, responsable de la coordination

Tableau 17 : Synthèse des étapes pour la réalisation du projet d'espace de centralisation. Source : Auteur, 2023.

5.4 Les bâtiments à énergie positive et la question de l'infrastructure du réseau électrique du canton de Genève

Un des points clés limitant le potentiel solaire est le réseau électrique et son infrastructure dépassée, développé lors de la vision d'un réseau électrique composé majoritairement de productions centralisées hydroélectriques et nucléaires. Avec la

transition énergétique, une transition du réseau électrique doit être effectuée. Le réseau actuel n'a pas été développé pour supporter les fortes productions électriques des nombreuses centrales photovoltaïques genevoises. L'Etat peut intervenir pour coordonner la rénovation avec les SIG et différentes communes à travers une planification cantonale. Un projet de rénovation du réseau électrique peut être envisagé comme tel :

1. Etape de planification

La première phase de ce projet est la définition de l'objectif, des délais et du budget, mais aussi l'identification des acteurs clés, la mise en place d'une équipe de projet.

2. Etape d'analyse de la situation actuelle du réseau

Cette étape permettra de collecter et analyser des données existantes sur le réseau électrique dans le canton de Genève, et ainsi d'identifier des points critiques et les besoins de rénovation.

3. Conception du projet

Dans cette étape, une définition des spécifications techniques de la rénovation sera conçue, un plan de mise en œuvre sera élaboré. Une évaluation des coûts sera aussi établie.

4. Phase de réalisation

À la suite de la phase de la conception du projet, la phase de réalisation se déroulera. Elle consistera à la mise en place des mesures de rénovation et à établir une coordination avec les différents intervenants (communes, SIG etc...) pour un suivi régulier de la progression du projet.

5. Évaluation et validation

La cinquième étape sera l'évaluation et la vérification de la conformité aux spécifications techniques, mais aussi l'évaluation de la qualité des travaux réalisés. Finalement, cette étape comprendra la validation de la mise en service du réseau rénové.

6. Diffusion et communication

L'étape finale sera la communication des résultats du projet aux parties prenantes à travers la publication d'un rapport de synthèse du projet et l'organisation d'une newsletter pour présenter les résultats du projet à la population.

Les coûts externes de rénovation du réseau électrique ne sont pas pris en compte dans le budget planifié ici. Ceux-ci seront calculés lors de la conception du projet, l'étape 3.

Étape	Objectifs clés	Délais	Budget	Acteurs principaux
Planification	Définir l'objectif, les délais et le budget du projet	1 mois	10'000 CHF	Chef de projet, responsable de la coordination
Analyse de la situation	Collecte et analyse des données existantes sur le réseau électrique	4 mois	25'000 CHF	Chef de projet (OCEN), Experts en électricité (SIG/OFEN)
Conception	Définition des spécifications techniques de la rénovation et évaluation des coûts	2 mois	15'000 CHF	Chef de projet (OCEN), Experts en électricité (SIG/OFEN)
Phase de réalisation	Mise en place des mesures de rénovation et suivi de la progression du projet	12 mois	30'000 CHF	Chef de projet (OCEN), Experts en électricité (SIG/OFEN)
Évaluation et validation	Vérification de la conformité aux spécifications techniques et validation de la mise en service du réseau rénové	2 mois	10'000 CHF	Directeur général, Chef de projet, responsable de la coordination
Diffusion et communication	Communication des résultats aux parties prenantes et organisation d'une newsletter pour un partage à la population	1 mois	10'000 CHF	Chef de projet, responsable de la communication (SIC), responsable de la coordination

Tableau 18 : Résumé des étapes du projet liés aux bâtiments à énergie positive. Auteur, 2023.

5.5 Les toitures bio-solaires et la planification territoriale

Un élément clé pour développer sans encombre une politique publique est la coordination. Bien qu'une coordination existante ait déjà été mise en place avec l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN), l'absence d'un partenariat avec des acteurs privés et associatifs se fait ressentir. Une meilleure planification territoriale des toitures pourrait apporter une meilleure cohérence dans le développement du territoire et des politiques publiques associées.

1. Etape de planification

La première étape sera d'identifier de associations pertinentes à impliquer dans le groupe de travail. Dans cet écrit, Terrasses sans frontières a été mentionné mais il peut en exister d'autres. Un appel d'offre pourrait être fait. Les acteurs impliqués dans ce projet pourraient inclure :

- L'Office cantonal de l'énergie, qui est responsable de la coordination globale du projet.
- D'autres offices ou services étatiques (cantonaux ou communaux).
- Les associations pertinentes, qui contribuent à la collaboration en apportant leur expertise et leur expérience.
- Les décideurs politiques, qui peuvent utiliser les résultats du projet pour orienter la mise en œuvre des politiques publiques.
- Les autres partenaires externes, comme les Services Industriels de Genève, qui peuvent apporter leur soutien à différentes étapes du projet

Ensuite, il faut déterminer les objectifs et des résultats attendus de la collaboration avec ces acteurs. Un plan de communication sera élaboré pour informer les associations de l'initiative et les inviter à participer.

2. Lancement

L'étape de lancement comprendra une réunion de lancement avec les associations sélectionnées pour présenter le projet et discuter de leur participation. À ce moment-là, les rôles et responsabilités des membres du groupe de travail seront établis, y compris les représentants de l'Etat.

3. Développement

Lors de l'étape de développement du groupe de travail, des réunions régulières pour discuter des sujets liés à la collaboration, identifier les défis et les opportunités, et explorer des solutions potentielles seront organisées. Tout cela afin de développer des protocoles et des procédures pour soutenir la collaboration entre l'Etat et les associations. Une évaluation continue de la progression du projet sera mise en place afin d'effectuer des ajustements si nécessaires.

4. Évaluation

Cette quatrième étape comprendra l'évaluation de la performance du groupe de travail et de la pertinence de la collaboration avec les associations. Une analyse des résultats obtenus et de leur impact sur la mise en œuvre des politiques publiques dans le canton sera effectuée.

5. Communication

L'étape de communication comprendra la rédaction d'un rapport final (ou annuel selon la durée du projet) sur le projet et les résultats obtenus. Ces derniers seront diffusés aux parties prenantes pertinentes, y compris les associations impliquées et les décideurs politiques.

Étape	Objectifs clés	Délais	Budget	Acteurs impliqués
Planification	Établir les objectifs et les besoins du projet	1 mois	10'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées
Recherche et analyse	Analysier les différentes solutions possibles	2 mois	20'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées
Conception	Établir un plan d'action pour la mise en place	2 mois	15'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées
Étape de réalisation	Mettre en œuvre les actions prévues	6 mois	30'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées
Étape de validation	Évaluer l'efficacité des actions mises en place	1 mois	5'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées
Diffusion	Diffuser les résultats et les recommandations	1 mois	5'000 CHF	Adjoint scientifique, État, associations concernées

Tableau 19 : Résumé des étapes du projet de planification territoriale des toitures végétalisées. Source : Auteur, 2023.

5.6 Synthèse des projets

En résumé, cinq projets ont été proposés pour développer la production solaire à Genève. Selon le tableau ci-dessous, il est possible de trouver les cinq projets classés selon leur facilité d'implémentation :

Projet	Facilité d'implémentation
Projet de planification de centrales solaires participatives	Facile
Projet de rédaction de guide d'autoconsommation solaire	Facile
Projet de centralisation de ressources utiles au secteur solaire genevois	Moyenne
Projet de planification de la rénovation du réseau électrique genevois	Difficile

Projet de création d'un groupe de travail de planification territoriale des toitures bio-solaires	Difficile
---	-----------

Tableau 20 : Synthèse des projets selon leur facilité d'implémentation. Source : Auteur, 2023.

Cette classification est basée sur plusieurs facteurs tels que la complexité technique du projet, les ressources nécessaires, le nombre d'acteurs impliqués, le niveau d'expertise requis, entre autres. Les projets de planification de centrales solaires participatives et de rédaction de guide d'autoconsommation solaire sont considérés comme relativement faciles à implémenter, car ils impliquent principalement des actions administratives et de communication, sans exigences techniques ou de ressources importantes. Le projet de centralisation de ressources pour le secteur solaire à Genève nécessite un niveau de coordination et de collaboration plus important entre les acteurs concernés, notamment les entreprises, les institutions et les organisations de la société civile. Les projets de rénovation du réseau électrique genevois et de planification territoriale des toitures bio-solaires genevoises sont considérés comme les plus difficiles à mettre en œuvre, car ils impliquent des exigences techniques et financières importantes, ainsi qu'une coordination complexe entre les acteurs du secteur de l'énergie et de l'urbanisme.

6. Conclusion

6.1 Résumé des objectifs de recherche

L'objectif principal de ce travail a été de fournir des recommandations sur les politiques publiques de l'Etat de Genève concernant l'énergie solaire photovoltaïque. La question de recherche posée dans ce travail était la suivante : *Quelles modalités de mise en œuvre l'Office cantonal de l'énergie genevois peut-il développer dans le secteur photovoltaïque pour atteindre les objectifs fixés dans le plan directeur de l'énergie ?*

Pour tenter d'y répondre, une identification des principaux leviers et freins existants dans le secteur de l'énergie photovoltaïque a été menée et cinq études de cas sur différents types d'installations solaires photovoltaïque ont été développées afin de proposer des recommandations à l'Office cantonal de l'énergie.

6.2 Principaux résultats et constatations

Cette section va exposer de manière succincte les résultats significatifs de ce travail.

À travers cette recherche, différents freins et leviers du développement solaire photovoltaïque ont pu être mis en exergue. La figure 8 ci-dessous permet de synthétiser ces derniers, respectivement dans les quatre catégories développées lors de l'analyse.

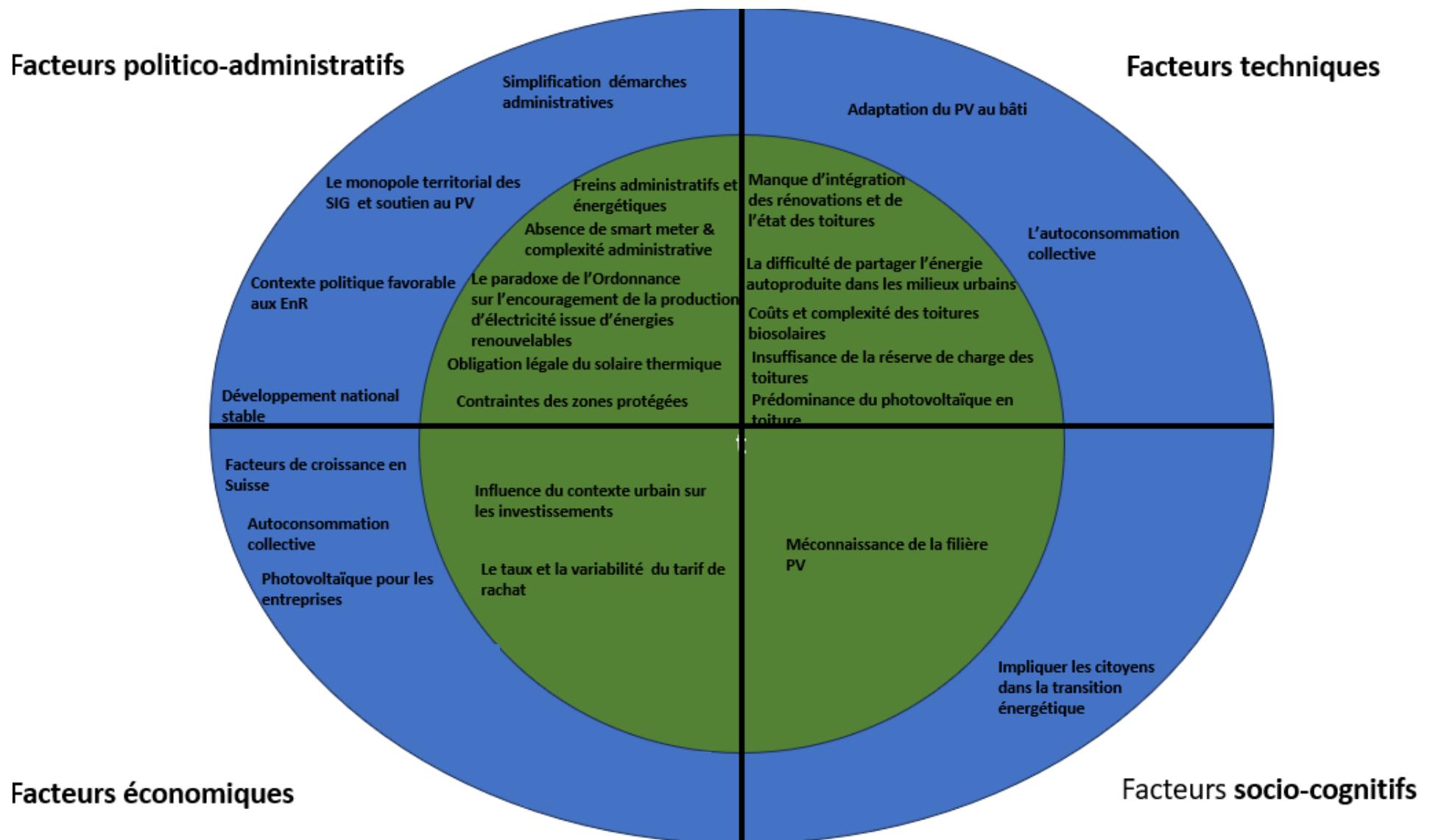


Figure 11 : Synthèse des freins (en vert) et leviers (en bleu) au solaire PV à Genève. Source : Auteur, 2023.

Cette première partie de l'analyse a permis de cibler des types d'installations solaires intéressantes à analyser plus en profondeur : (1) la mise en place de centrales solaires participatives, (2) la rénovation d'une coopérative d'habitation au centre de Genève, (3) un dispositif de déploiement massif d'installation solaires sur un territoire donné, (4) la construction de bâtiments à énergie positive et finalement (5) la mise en place de toitures biosolaires.

Ces études de cas ont permis de mettre en avant ou même de confirmer certains freins identifiés lors de la première partie et d'énoncer des pistes d'améliorations pour chacune des types d'installations, qui sont les suivantes :

Pour les centrales solaires participatives :

- Augmenter la participation citoyenne à la transition énergétique.
- Favoriser l'implantation de projets solaires en levant les restrictions des superficies de projets liées à des limites structurelles et architecturales.
- Examiner la possibilité de développer des projets participatifs dans des bâtiments privés et établir des partenariats avec des collectivités publiques pour trouver de nouveaux sites.

Pour les rénovations de coopératives :

- Des réflexions doivent être menées sur les conditions de rachat de l'électricité produite, les modalités de mise en œuvre des coopératives, les certificats de production ainsi que les règles d'autoconsommation et de subventionnement.
- Encourager l'autoproduction et l'autoconsommation d'électricité.
- Simplifier les démarches administratives pour installer des installations solaires.
- Faciliter la rénovation énergétique des bâtiments coopératifs.
- Explorer les différentes possibilités d'utilisation des toitures, tels que la production d'énergie solaire, les espaces récréatifs et la végétalisation.
- Favoriser la coopération entre les coopératives d'habitation et les Services Industriels de Genève.
- Encourager les bureaux d'ingénieurs à être plus audacieux dans leurs projets.

Pour les appels d'offres groupés :

- La démarche de co-construction entre les communes, les Services Industriels Genevois et l'Office cantonal de l'énergie doit être renforcée pour atteindre les objectifs du plan directeur de l'énergie.
- L'accompagnement des propriétaires par les acteurs concernés doit être optimisé pour rassurer et informer les propriétaires intéressés.
- Il est important de garantir des prix compétitifs grâce à la mise en concurrence des installateurs et aux négociations de rabais, tout en offrant des subventions pour augmenter la rentabilité des installations.
- Le processus d'installation doit être simplifié et adapté aux différents types de bâtiments, en prenant en compte les besoins énergétiques et les contraintes patrimoniales éventuelles.

Pour les bâtiments à énergie positive :

- Simplifier les réglementations et les procédures administratives liées à l'installation de panneaux solaires et à la création de *micro-grids*.
- Renforcer le réseau électrique à Genève pour faciliter la production et la distribution de l'énergie solaire.
- Trouver des solutions aux défis techniques et logistiques, tels que la disponibilité des ressources, les rappels de fournisseurs et les problèmes de performance des batteries solaires.
- Encourager la collaboration entre les acteurs du secteur de l'énergie pour surmonter les obstacles et promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire.

Cela a permis de rédiger des premières recommandations de modalités d'implémentation pour développer le secteur photovoltaïque afin d'atteindre les objectifs fixés dans le plan directeur de l'énergie :

- Un projet de planification de centrales solaires participatives afin de répondre aux pistes d'améliorations vues à la page précédente.
- Un projet de rédaction de guide d'autoconsommation solaire afin de guider les propriétaires et locataires dans le processus de création de RCP et CA, et ainsi faciliter l'augmentation de l'autoconsommation de la production indigène dans le canton de Genève.

- Un projet de centralisation de ressources utiles au secteur solaire genevois afin de pallier les difficultés rencontrées dans ce dernier.
- Un projet de planification de la rénovation du réseau électrique genevois pour maximiser ainsi la production décentralisée des panneaux solaires et éviter d'écrêter les pics de productions de la population genevoise dans certaines zones du canton.
- Un projet de création de groupe de travail de planification territoriale des toitures bio-solaires avec les différents acteurs (étatiques, privés et associatifs).

6.3 Analyse et limites du travail

Dans cette section, les résultats vont être analysés et une discussion autour de leur pertinence et importance va être développée.

L'approche qualitative de ce travail, avec une récolte de données majoritairement tournée autour d'entretiens semi-directifs, a permis de centraliser et formaliser des éléments qualitatifs tant connus que peu connus dans un travail académique pour l'OCEN. Cependant, cette approche a été limitée dans le nombre d'entretiens. Un entretien effectué avec une entreprise d'installations solaires n'a pas été utilisé dans le cadre de ce travail dû à un entretien pauvre en information (ciblé sur les façades solaires). Ce dernier n'a donc pas été utilisé. L'approche utilisée n'est donc pas représentative de tous les freins et leviers affectant le développement photovoltaïque à Genève. L'aspect technologique et technique de l'énergie solaire n'ont pas été poussés dans ce travail. Des études futures pourraient venir compléter ce travail. De plus, ce travail ne s'intéresse qu'au canton de Genève et peu à une thématique très discutée dans la sphère politique depuis 2022, les parcs alpins. Cela est dû à une volonté d'évaluer des modalités de mises en œuvre au sein du territoire propre au canton de Genève avant d'analyser des solutions de mises en œuvre en dehors du territoire genevois.

Le nombre d'étude de cas, étant aussi limité (cinq études de cas), ne permet pas de généraliser avec une grande exactitude les résultats trouvés dans ce travail. Ces études ont chacune des caractéristiques spécifiques propres au type d'installation analysée, mais elles permettent néanmoins de dégager des pistes d'action plus générales.

Une autre limite de ce travail est le manque de comparaison avec d'autres cantons. Bien que les cantons suisses soient divers et variés dans leur contexte territorial, certains comme Zurich et Bâle-Ville possèdent des caractéristiques territoriales similaires à Genève et proposeraient des cas intéressants à comparer avec le canton de Genève.

De plus, les recommandations de projets restent des esquisses pour l'OCEN et non des recommandations exactes à suivre. Certaines recommandations sont plus

difficiles à mettre en place, notamment dû à un taux de coordination plus élevé nécessaire et/ou un budget plus élevé. Les budgets émis dans ce travail restent des estimations et ne sont pas représentatifs. Ils pourraient être développés de manière plus précise mais ne représentaient pas l'objectif principal des recommandations.

En somme, ce travail permet d'amener des éléments de réflexion à l'Office cantonal de l'énergie au sein de l'Etat de Genève et permet d'avoir un tableau, bien que non complet, de certains freins et leviers influençant le développement solaire genevois.

6.4 Utilité du stage

Cette section, qui vient conclure ce travail de master, développe une réflexion personnelle des compétences engagées dans le master en développement territorial (plus précisément l'orientation « urbanisme opérationnel ») et l'utilité des notions et capacités enseignées dans cette filière au sein du stage dans une administration publique.

L'orientation « urbanisme opérationnel définit les experts en urbanisme opérationnel comme « jouant un rôle clé dans la gestion stratégique de projets urbains majeurs, la création d'infrastructures d'envergure et la mise en œuvre de projets contestés tels que la densification des zones, les grandes infrastructures et les initiatives énergétiques. Leur travail quotidien implique la coordination d'équipes pluridisciplinaires, la planification et la gestion de procédures, ainsi que la conception et la réalisation d'approches participatives lorsque nécessaires (HES-SO MASTER, 2023).

Le stage de six mois a permis de faire connaissance avec le monde du travail dans le secteur public, mais il a notamment permis d'avoir une première expérience dans le secteur énergétique et dans les procédures de développement territorial. Le master en développement territorial ne proposant pas spécifiquement d'enseignements sur l'énergie et la planification territorial lors des trois premiers semestres (entre 2020 et 2021), il a fallu développer des capacités d'adaptabilité pour rapidement comprendre les enjeux liés autour de la transition énergétique et du développement territorial. Depuis 2021, un enseignement a été mis en place (CEA – Climat, énergie et aménagement du territoire). Les notions acquises lors des différents enseignements de droit public, de droit foncier, d'économie ont permis une compréhension rapide de ces derniers. De plus, les expériences de travaux pluridisciplinaires menés à travers le master en développement territorial ont permis d'être à l'aise lors de collaborations avec d'autres services du département du territoire.

De ce fait, vers la fin du stage, une opportunité de travailler à l'OCEN en tant qu'adjoint scientifique – chargé de projet liés à la planification énergétique territoriale, pendant un an s'est développée, menant à une première expérience professionnelle (hors stage) dans le secteur de la planification territoriale.

La réalisation de ce travail a donc permis de développer de l'expérience dans le monde de l'énergie et de participer véritablement à la transition énergétique.

7 Bibliographie

7.1 Littérature scientifique

Anderson, James E. 2003. « The study of Public Policy ». In *Public policymaking: An introduction*. Boston: Houghton Mifflin Company.

Bauwens, Thomas, Boris Gotchev, et Lars Holstenkamp. 2016. « What drives the development of community energy in Europe? The case of wind power cooperatives ». *Energy Research & Social Science* 13. 136-47. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.016>.

Breukers, Sylvia., Maarten Wolsink. 2007. « Wind power implementation in changing institutional landscapes: An international comparison ». *Energy Policy*. Volume 35. Issue 5. 2737-2750. ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.004>.

Colasante, Annarita., Idiano D'Adamo, et Piergiuseppe Morone. 2022. « What drives the solar energy transition? The effect of policies, incentives and behavior in a cross-country comparison ». *Energy Research & Social Science* 85: 102405. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102405>.

Geels, Frank W., et Johan Schot. 2007. « Typology of sociotechnical transition pathways ». *Research Policy* 36 (3): 399-417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>.

Geels, Frank W. 2011. « The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms ». *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (1): 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>.

Hälg, Léonore. 2023. « Produktion von solar- und windenergie der Schweiz im Europaïschen vergleich». *Ländervergleich* 2022.

Lagomarsino, Maria., van der Kam, Mart., Parra, David., Hahnel, Ulf J.J., 2022. Do I need to charge right now? Tailored choice architecture design can increase preferences for electric vehicle smart charging. *Energy Policy*, 162, 112818–112818.

Lasswell, Harold D. « The Policy Orientation ». *The Policy Sciences: Recent Developments in Scope and Method*. 3-15.

Markard, Jochen, Marco Suter, et Karin Ingold. 2016. « Socio-technical transitions and policy change – Advocacy coalitions in Swiss energy policy ». *Environmental Innovation and Societal Transitions* 18: 215-37. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.05.003>.

Office cantonal de l'énergie. 2020. « Plan directeur de l'énergie 2020-2030 ». *République et Canton de Genève*.

Office cantonal de l'énergie. 2022. « Guide pour les installations solaires à Genève ». *République et Canton de Genève*.

Office fédéral de la statistique. 2020. « Statistique des bâtiments et des logements 2020 » *Construction et logements 2020*.

Río, Pablo del, et Christoph P. Kiefer. 2022. « Which policy instruments promote innovation in renewable electricity technologies? A critical review of the literature with a focus on auctions ». *Energy Research & Social Science* 89: 102501. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102501>.

SWISSOLAR. 2023. « Guide pratique de la consommation propre ». *SUISSEENERGIE*.

7.2 Site web

ADEME, 2021. Rafraîchir les villes, des solutions variées. In : Site de l'ADEME [en ligne]. Mars 2021. [Consulté le 29 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://librairie.ademe.fr/cadic/5604/recueil-rafrachissement-urbain-011441.pdf>

ASSOCIATION CITE DE L'ENERGIE, 2019. Appel d'offres groupé pour l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. In : Site de l'association Cité de l'énergie [en ligne]. [Consulté le 15 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.energiestadt.ch/fr/bons-exemples/appel-doffres-groupe-pour-linstallation-de-panneaux-solaires-photovoltaiques-1128.html>

GROUPEMENT DES COOPERATIVES D'HABITATIONS GENEVOISES, 2022. La Ruche. In : Site du groupement des coopératives d'habitations genevoises [en ligne]. [Consulté le 13 octobre 2022]. Disponible à : <https://gchg.ch/membre/la-ruche/>

CONSEIL FEDERAL, 2021. Encouragement de la production d'électricité issue des énergies renouvelables en 2022: 450 millions de francs pour les installations photovoltaïques. In : Site de la Confédération suisse [en ligne]. 12 novembre 2021. [Consulté le 28 mars 2022]. Disponible à l'adresse :

<https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-85845.html>

CONSEIL FEDERAL, 2022. Forte augmentation des prix de l'électricité 2023. In : Site de la Confédération suisse [en ligne]. 6 septembre 2022. [Consulté 5 avril 2023].

CONSEIL FEDERAL, 2023. Crowdfunding : décrocher des fonds grâce au financement participatif. In : Site de la Confédération suisse [en ligne]. 20.07.2023. [Consulté le 8 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.kmu.admin.ch/kmu/fr/home/savoir-pratique/finances/financement/fonds-propres/crowdfunding.html>

MASTER CONJOINT HES-SO - UNIGE EN DEVELOPPEMENT TERRITORIAL, 2023. Urbanisme opérationnel (HES-SO). In Site du master en développement territorial de la HES-SO et de l'UNIGE [en ligne]. [Consulté le 13.08.2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.jmdt.ch/fr/urbanisme-operationnel-hes-so-13557.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE, 2021. Stratégie énergétique 2050. In : Site de la Confédération Suisse [en ligne]. 16.12.2021. [Consulté le 23 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politique/strategie-energetique-2050.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2020. Taxe sur le CO2. In : Site de la Confédération Suisse [en ligne]. 29.12.2020. [Consulté le 23 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/mesures-reduction/taxe-co2.html#:~:text=sur%20le%20CO2.-,Pr%C3%A9C3%A9vement%20de%20la%20taxe,factures%20d'achat%20de%20combustibles>

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE, 2018. Coopérative d'habitation. In: Site de l'Etat de Genève [en ligne]. 5 décembre 2018. [Consulté le 12 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.ge.ch/node/2492>

ROMANDE ENERGIE, 2023. Compteurs intelligents. In site de Romande Energie [en ligne]. 2023. [Consulté le 28 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.romande-energie.ch/particuliers/compteurs-intelligents>

SERVICES CANTONNAUX DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2023. Panneaux solaires photovoltaïques (producteurs d'électricité). In : Site des services cantonaux de l'énergie et de l'environnement [en ligne]. [consulté le 28 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/installations/panneaux-solaires-photovoltaïques>

SERVICES INDUSTRIELS DE GENEVE, 2023. Mon m² solaire. In : Site des Services Industriels de Genève [en ligne]. [Consulté le 13 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://ww2.sig-ge.ch/particuliers/offres/solaire/offres-solaires/m2-solaire>

SOLAR AGENTUR, 2021. Stade de Genève solaire, 1212 Grand Lancy/GE. In: Site de Solar Agentur [En ligne]. [Consulté le 12 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.solaragentur.ch/de/node/894>

SOLAR AGENTUR, 2021b. Rénovation BEP 168% du centre Haus Adesta, 8355 AADOLF/TG. In: Site de Solar Agentur [En ligne]. [Consulté le 18 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.solaragentur.ch/fr/prix-solaire/prix-solaire-suisse/2021/renovation-bep-168-du-centre-haus-desta-8355-aadolf>

VILLE DE RENENS, 2020. Financement participatif. In : Bourse solaire participative [en ligne]. [consulté le 22 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.boursesolaire.ch/#financement-participatif>