

PROJET DE PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE.
RÉALISATION D'UNE PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE À
L'EXEMPLE DE LA VILLE DE CAROUGE DANS LE CANTON DE
GENÈVE.
MANDAT DE L'OFFICE FÉDÉRAL DE LA CULTURE, BERNE.

RAPPORT D'ÉTUDE

LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE, UNE DÉMARCHE AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET D'UNE CULTURE DU BÂTI DE QUALITÉ

EQUIPE DE PROJET

hepia / leea
Haute école spécialisée de
Suisse occidentale - Genève
prof. Reto Camponovo

Anita Frei
Architecte urbaniste

SUPSI
Scuola universitaria
professionale della
Svizzera italiana

SIG
Services industriels de
Genève

Impressum

Étude réalisée par la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (hepia), sous la direction du professeur Reto Camponovo et de Anita Frei, architecte urbaniste, en collaboration avec la Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) et les Services industriels de Genève (SIG).

Ont collaboré à l'étude :

Prof. Gilles Desthieux, Alain Dubois, Sébastien Chognard, Lionel Riquet pour hepia

Prof. Francesco Frontini, Cristina Polo Lopez, Andrea Delucchi pour SUPSI

Christelle Anthoine Bourgeois, Matthias Ruetschi, Alisa Yushchenko, pour SIG

Rapport rédigé par Reto Camponovo et Anita Frei

Groupe d'accompagnement :

Pour le Département du territoire :

Sabine Nemec Piguet, directrice générale et conservatrice cantonale des monuments, Office du patrimoine et des sites

Jean-Frédéric Luscher, directeur, Service des monuments et sites

Rémy Beck, directeur scientifique, chef du secteur de la planification énergétique, Office cantonal de l'énergie (jusqu'à fin 2017)

Emile Spierer, soutiens financiers, Office cantonal de l'énergie

Farès Derrouiche, chef de projet, Direction du développement urbain - rive gauche, Office de l'urbanisme

Pour la Ville de Carouge :

Pascale Lorenz, cheffe de service, Service de l'urbanisme

Julien Woessner, urbaniste, Service de l'urbanisme

Mandante et direction de projet : Office fédéral de la culture, section Patrimoine culturel et monuments historiques

Brigitte Müller, collaboratrice scientifique

Pierre-André Ottoz, Service expertises

©Office fédéral de la culture

Genève/Berne, 2018

RÉSUMÉ

L'Office fédéral de la culture, en collaboration avec le Canton de Genève et la Ville de Carouge, a décidé en 2015 de mener une étude pour établir un modèle de planification solaire globale. L'étude a été réalisée par une équipe interdisciplinaire, dirigée par le professeur Reto Camponovo de hepia et Anita Frei, architecte urbaniste. Elle a démarré au printemps 2016 et s'est conclue au printemps 2018. L'objectif d'une telle planification est d'inciter une commune à produire de l'énergie solaire sur son territoire tout en préservant les sites construits qui fondent son identité et la culture du bâti qui fait sa qualité. En encourageant les démarches collectives, moins coûteuses et plus performantes en termes de potentiel, et en favorisant une approche territoriale, la planification solaire globale permet de dépasser les initiatives individuelles, dont la multiplication est susceptible de porter atteinte aux sites construits.

La Ville de Carouge a été choisie pour mener cette étude et développer une méthodologie applicable à d'autres communes de Suisse, car elle présente des caractéristiques comparables à d'autres centres urbains, petites villes ou grands villages, avec une structure du bâti variée (centre historique, extensions urbaines des 19^e et 20^e siècles, zones industrielles et artisanales en mutation, espaces verts, etc.) et un patrimoine bâti reconnu.

Le rapport d'étude comporte :

- la présentation d'une méthodologie de planification solaire globale à l'échelle d'une ville (chapitres 1 à 4),
- l'étude-test sur le territoire de la Ville de Carouge (chapitres 5 à 8), application concrète de la méthodologie, avec 5 périmètres test,
- des indications pour la promotion et le transfert de la planification solaire globale (chapitre 9).

Après avoir fait le point sur le contexte politique et légal en Suisse et sur les technologies solaires en milieu bâti, tant du point de vue technique que de leur intégration dans l'environnement bâti, l'étude se concentre sur la méthodologie de planification solaire globale au service d'une culture du bâti de qualité. Cette planification doit permettre d'identifier les secteurs où porter en priorité l'effort de développement de l'énergie solaire et ceux où la préservation d'une culture du bâti de qualité constitue un intérêt public prépondérant et où il peut être plus judicieux de favoriser d'autres énergies renouvelables.

Envisagée à l'échelle territoriale, celle d'une commune, la méthodologie se déploie en quatre étapes successives :

- la définition de périmètres cohérents du point de vue urbanistique,
- l'analyse fine des caractéristiques et qualités urbaines, architecturales et patrimoniales de chacun des périmètres, afin de déterminer leur capacité à accueillir des panneaux solaires sans perturber leur identité, donc leur adaptabilité à la pose d'installations en toiture.
- le calcul du potentiel solaire (thermique et photovoltaïque) de chaque périmètre,
- le statut de priorité de chaque périmètre dans la planification solaire globale de la commune, c'est-à-dire sa capacité à contribuer de façon efficiente, effective et simple à la production d'énergie solaire sur le territoire communal, tout en préservant une culture du bâti de qualité.

La définition du « statut » de chaque périmètre constitue la synthèse de la planification solaire globale, une classification qui oriente des stratégies de valorisation de l'énergie solaire différenciées selon le type de périmètre.

Mettant l'accent sur des périmètres prioritaires pour la mise en œuvre du potentiel solaire, la planification solaire globale doit permettre à la commune concernée de contribuer significativement à l'augmentation de la part de nouvelles énergies renouvelables par le déploiement raisonné des installations solaires sur son territoire, avec des stratégies d'implémentation cohérentes et dans le respect des caractéristiques urbaines, architecturales, paysagères et patrimoniales de l'environnement bâti.

L'étude-test sur la Ville de Carouge montre tout l'intérêt de cette vision globale et cohérente. Cette commune au riche patrimoine, possédant une culture du bâti de qualité reconnue, présente également la particularité d'être actuellement concernée par un nombre tout à fait exceptionnel de projets d'aménagement, en cours ou prévus à l'horizon 2030, qui touchent une part très importante de son territoire. Ce facteur est déterminant pour la problématique de l'étude, dans la mesure où ce dynamisme urbain favorise l'intégration solaire et la planification à l'échelle d'un quartier.

La planification solaire globale offre à Carouge – et à toutes les communes qui souhaiteraient s'y engager – un précieux outil d'aide à la décision qui lui permet de s'engager pleinement dans la transition énergétique sans compromettre son identité et son histoire.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	3
INTRODUCTION	5
1. CONDITIONS CADRES ET BASES LÉGALES	7
1.1 STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050	7
1.2 AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE	9
1.3 PROTECTION DE LA NATURE ET DU PAYSAGE	9
1.4 URBANISME ET CULTURE DU BÂTI	11
2. LES TECHNOLOGIES SOLAIRES EN MILIEU BÂTI	13
2.1 INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES	13
2.2 INSTALLATIONS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES	19
2.3 ALTERNATIVES AUX TECHNOLOGIES SOLAIRES	28
2.4 INTÉGRATION URBAINE ET ARCHITECTURALE DES INSTALLATIONS SOLAIRES	30
2.5 DIRECTIVES FÉDÉRALES ET CANTONALES POUR LA POSE DE PANNEAUX SOLAIRES	40
3. LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE AU SERVICE DE LA CULTURE DU BÂTI DE QUALITÉ	43
3.1 DÉFINITION DE PÉRIMÈTRES	44
3.2 ADAPTABILITÉ DES PÉRIMÈTRES À LA POSE D'INSTALLATIONS SOLAIRES	47
3.3 POTENTIEL SOLAIRE DES PÉRIMÈTRES	50
3.4 STATUT DES PÉRIMÈTRES DANS LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE	54
4. VALORISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE À L'ÉCHELLE DE LA COMMUNE	57
4.1 MESURES D'INCITATION ET OBLIGATIONS FÉDÉRALES ET CANTONALES	57
4.2 VALORISATION IN SITU OU EN RÉSEAU	59
4.3 ACTEURS DE LA VALORISATION	61
4.4 EXEMPLES DE VALORISATION	65
4.5 STRATÉGIES COMMUNALES DE MISE EN ŒUVRE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE	69
5. L'ÉTAT DES LIEUX DE L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE	71
5.1 CONTEXTE POLITIQUE ET LÉGAL ET CONDITIONS CADRE	71
5.2 PRESCRIPTIONS CANTONALES ET MESURES INCITATIVES	73
5.3 PRODUCTION SOLAIRE THERMIQUE ACTUELLE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE	73
5.4 PRODUCTION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ACTUELLE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE	76

5.5 DIRECTIVE CANTONALE POUR LA POSE DE PANNEAUX SOLAIRES	78
6. LA CULTURE DU BÂTI ET LE POTENTIEL SOLAIRE À CAROUGE	82
6.1 DÉFINITION DES PÉRIMÈTRES	82
6.2 ADAPTABILITÉ DES PÉRIMÈTRES À LA POSE D'INSTALLATIONS SOLAIRES	86
6.3 POTENTIEL DE PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE À CAROUGE	94
6.4 STATUT DES PÉRIMÈTRES POUR LA VALORISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE	103
6.5 CARTE DE SYNTHÈSE	107
7. CINQ PÉRIMÈTRES TEST	109
7.1 STRUCTURE DES FICHES DE PÉRIMÈTRES	109
8. MISE EN ŒUVRE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE À CAROUGE	149
8.1 PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE CANTONALE	149
8.2 LE CONCEPT ÉNERGÉTIQUE TERRITORIAL (CET), OUTIL DE PLANIFICATION ET DE MISE EN ŒUVRE	149
8.3 PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE COMMUNALE	150
8.4 ÉVOLUTION DES INSTRUMENTS DE MISE EN ŒUVRE	152
8.5 STRATÉGIES DE VALORISATION À CAROUGE	154
8.6 ADOPTION DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE PAR LA COMMUNE	158
9. TRANSFERT ET PROMOTION DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE	161
9.1 IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX AXES DE COMMUNICATION	161
9.2 <i>LE GUIDE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE</i>	164
ABRÉVIATIONS	165
GLOSSAIRE DE L'ÉTUDE	167
PUBLICATIONS ET RÉFÉRENCES CONSULTÉES	173
Tiré à part :	
ANNEXES 1 à 4	
ANNEXE 5	

PRÉFACE

La Ville de Carouge comme commune pilote

Carouge ne peut que se flatter d'avoir été choisie comme commune pilote à l'échelle suisse pour une planification solaire globale, conjuguant enjeux énergétiques et patrimoniaux. L'estimation globale de son potentiel énergétique solaire et les propositions de modalités préférentielles de mise en œuvre des infrastructures y relatives, mettent en évidence la réelle opportunité d'intégrer une réflexion globale sur ce potentiel énergétique dans les outils et démarches accompagnant le développement de son territoire.

Alors qu'elle est déjà la troisième ville la plus dense de Suisse, la planification cantonale prévoit qu'elle accueille d'ici 2030 environ 50% de plus d'habitants et d'emplois, tandis qu'à l'horizon 2050, le nombre de ses habitants et emplois pourrait avoir doublé. C'est dire combien l'utilisation efficiente de toutes les ressources durables - dont le solaire - est indispensable pour répondre aux besoins futurs, tout en ménageant l'environnement, son riche patrimoine et la qualité du bâti à venir.

Le choix ne s'est pas porté par hasard sur Carouge : constitué de cinq secteurs très différenciés, son riche territoire permet d'explicitier parfaitement l'intérêt et la pertinence de la démarche, qui vise à prioriser et localiser les mesures à mettre en place en vue d'utiliser l'important potentiel identifié par cette étude, tout en valorisant le bâti et l'environnement naturel existant et futur.

Ainsi le secteur Centre voit cohabiter une ville en damier historique du XVIIIème et le quartier des Tours, ensemble moderne exemplaire d'habitations des années 60. Le secteur Nord, dans lequel les îlots d'habitation remplacent peu à peu les structures industrielles préexistantes, présente quelques réalisations remarquables comme le bâtiment Arcoop, construit en 1958 par les frères Honegger, pour y abriter un programme d'activités mixtes. Ces deux secteurs sont relativement stables et représentatifs d'une évolution urbaine courante pour une commune dotée d'éléments ponctuels et d'ensembles patrimoniaux remarquables.

Mais Carouge se trouve également concernée par de fortes mutations urbaines, en cours et à venir. Citons en premier la profonde transformation du quartier Praille Acacias Vernets (PAV), sis en majeure partie sur la Commune de Carouge. Cette reconversion urbaine, qui compte parmi les plus grands projets urbains développés en Europe, vise à transformer une zone industrielle des années 60 en un quartier mixte exemplaire, notamment du point de vue du développement durable.

En même temps, le secteur Est de la Commune va voir doubler le nombre de ses habitants et emplois par le remplacement rapide d'un tissu artisanal par des grands îlots urbains abritant habitations, espaces publics et activités.

Enfin, dans le secteur Sud, riche en patrimoine paysager, s'est engagé sous l'impulsion du Canton un processus de densification progressive de la zone villa.

Ces trois secteurs en mutation profonde présentent donc des opportunités d'intégrer du solaire dès la planification à l'échelle des quartiers comme en amont de la réalisation des divers bâtiments.

La méthode développée à travers la présente étude propose de traiter de manière différenciée les différents secteurs d'une commune, de façon à inciter à la pose de panneaux solaires là où le gain en énergie est le plus profitable et l'acceptation des installations la plus facilitée. Pour illustrer ce propos, cinq périmètres ont été retenus, emblématiques des différents types de transformations urbaines en cours dans la Commune. La mandataire comme le groupe d'accompagnement se sont fortement engagés pour établir le profil détaillé de ces cinq quartiers, tant sur les éléments de culture et d'évolution du bâti que sur le potentiel de production d'énergie solaire, thermique et photovoltaïque.

Cette implication conséquente du groupe d'accompagnement n'a pu être menée dans ce cadre de manière aussi approfondie pour les vingt-cinq autres périmètres identifiés par l'étude. Les fiches décrivant ces

périmètres figurent donc en annexe 5 à titre indicatif. Cette étude a cependant démontré l'intérêt d'appliquer la méthode à l'ensemble du territoire communal, nonobstant le travail conséquent que cela implique.

Gageons que cette étude test, financée par la Confédération, incitera les autorités communales à mettre en place, en étroite concertation avec les autorités et services cantonaux impliqués, les mesures incitatives proposées par la mandataire, ainsi qu'à décliner les préconisations nécessaires pour tous les quartiers dans ses outils de planification et de suivi du développement urbain.

Pascale Lorenz, cheffe du Service de l'urbanisme de la Ville de Carouge

INTRODUCTION

La Suisse possède un riche patrimoine culturel et artistique, présent et visible entre autres dans les sites construits de qualité qui font l'identité des communes du pays. C'est un devoir collectif de respecter ce patrimoine bâti et de le sauvegarder pour les générations futures. La Suisse a aussi des ambitions élevées en matière d'approvisionnement énergétique, à travers la *Stratégie énergétique 2050*, qui vise à améliorer l'efficacité énergétique, réduire la consommation d'énergie finale par personne, exclure le recours à l'énergie nucléaire et accroître la part d'énergies renouvelables tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, le risque existe qu'une mise en œuvre dispersée de la *Stratégie énergétique 2050*, avec un développement important de la production d'énergie à partir de sources renouvelables, se fasse au détriment de la culture du bâti. Laissée entièrement à l'initiative individuelle, la multiplication d'installations solaires peut s'avérer nuisible pour la qualité de notre environnement bâti et de nos paysages. C'est pourquoi il est nécessaire de promouvoir des démarches cohérentes et globales à tous les niveaux – national, cantonal, communal – pour préserver et développer la qualité tant pour l'énergie solaire que pour la culture du bâti.

Avec de larges compétences et responsabilités en matière d'énergie, d'aménagement, de culture et de protection du patrimoine, les cantons et les communes ont la possibilité et les moyens en termes de planification de favoriser une production conséquente d'énergie solaire en articulant cette ambition avec des objectifs élevés pour une culture du bâti de qualité.

L'Office fédéral de la culture a mandaté une équipe interdisciplinaire sous la direction de la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (hepia), professeur Reto Camponovo et Anita Frei, architecte urbaniste afin de mener une étude-test pour établir un **modèle de planification solaire globale**. La Ville de Carouge a été choisie pour cette démarche, car elle présente des caractéristiques comparables à d'autres centres urbains en Suisse, petites villes ou grands villages, avec une structure du bâti variée (centre historique, extensions urbaines des 19^e et 20^e siècles, zones industrielles et artisanales en mutation, espaces verts, etc.) et un patrimoine bâti reconnu. Les travaux ont été accompagnés par le Canton de Genève (Office cantonal du patrimoine et des sites OPS, Office cantonal de l'urbanisme OU, Office cantonal de l'énergie OCEN), et la Ville de Carouge (Service de l'urbanisme).

L'objectif d'une planification solaire globale à l'échelle d'une commune est de contribuer significativement à l'augmentation de la part des énergies renouvelables par le déploiement judicieux et raisonné des installations solaires sur son territoire, dans le respect de ses caractéristiques urbaines, architecturales et paysagères et de son patrimoine. La commune peut donner la priorité à des installations solaires efficaces dans les périmètres peu sensibles, et permettre aux technologies solaires de contribuer aux qualités architecturales des constructions et quartiers nouveaux.

Cette approche contribue à soulager les sites et les bâtiments qui présentent un intérêt historique et patrimonial tout en développant des stratégies de valorisation de l'énergie solaire qui associent collectivité publiques, habitants, propriétaires et professionnels.

La sauvegarde des sites construits d'importance nationale en Suisse, la préservation des monuments historiques et la création d'une culture du bâti de qualité constituent un intérêt public tout comme la transition énergétique et la préservation de nos ressources naturelles. Il convient de concilier ces intérêts publics afin d'en faire une approche gagnant-gagnant.

1. CONDITIONS CADRES ET BASES LÉGALES

La mutation démographique, l'urbanisation, le changement climatique et la mondialisation sont autant de phénomènes qui induisent des changements majeurs pour nos sociétés et notre cadre de vie. Développer une urbanisation et un habitat de qualité et veiller à une gestion optimale de nos paysages et de nos ressources sont parmi les grands défis actuels et futurs.

En Suisse comme dans les pays voisins, le développement de l'énergie solaire a, par le passé, conduit à une situation peu satisfaisante en termes de qualité de la culture du bâti, des installations de toutes formes et couleurs ayant été posées sur les toitures de manière quelconque en l'absence de critères architecturaux. Sur le plan légal, la Suisse s'est jusqu'ici contentée d'exiger que les installations solaires soient « suffisamment adaptées »¹ aux toitures. Or, et même si cela n'est pas encore perceptible partout, la transition énergétique est aussi soumise à des exigences qualitatives et esthétiques. Les bases techniques et architecturales permettant une adaptation de haute qualité des installations solaires à l'environnement bâti existent déjà.

Si l'on reconnaît l'importance de la planification pour le développement d'une société, d'une économie et d'une écologie durables, la planification dans le domaine de l'énergie solaire est souvent laissée pour compte. La grande majorité des installations solaires sont mises en place par des individus qui s'engagent à titre personnel. Sur les toits, des surfaces de petite taille, éparses et bénéficiant d'un ensoleillement peu optimal accueillent des installations pas toujours très efficaces ni rentables. Une planification globale permettrait de donner la priorité à des installations performantes situées dans des zones peu sensibles ou soigneusement intégrées d'un point de vue architectural sur de nouveaux bâtiments ou lotissements. Le cas échéant, des sources de chaleur ou d'électricité issues d'autres énergies renouvelables pourraient s'avérer plus judicieuses à certains endroits, alors qu'un groupement avec d'autres bâtiments et/ou installations au sein d'un réseau intelligent (« smart grid ») pourrait être plus rationnel dans certains quartiers ou pour certaines constructions spécifiques.

D'une manière générale, la Suisse et l'Europe visent une culture du bâti de qualité. Plus un bâtiment ou un site construit est sensible et précieux du point de vue architectural, plus une intégration réussie, en termes de culture du bâti, des installations solaires sur les toits s'avère importante, mais aussi exigeante. Si l'on veut en même temps promouvoir une production d'énergie solaire qui soit optimale sur le plan économique, il faut que les milieux de l'architecture, du patrimoine et de l'industrie, mais aussi de la planification, de la politique et de la société civile, adoptent un langage commun. Toutes les disciplines sont ici mises à contribution.

Les pages qui suivent présentent les conditions cadres régissant actuellement l'énergie solaire sous l'angle des bases légales relatives à l'énergie, à l'aménagement du territoire, à la protection du patrimoine ainsi qu'à la culture du bâti. La répartition des tâches entre la Confédération et les cantons y sera aussi brossée dans les grandes lignes.

1.1 STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050²

Face aux ressources fossiles limitées, aux préoccupations liées au changement climatique et à la catastrophe de Fukushima en 2011, le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé l'abandon progressif de l'énergie nucléaire en Suisse. C'est à cette fin qu'a été élaborée la Stratégie énergétique 2050. Les efforts consentis ces dernières décennies seront ainsi renforcés et précisés dans leurs orientations. Un élément important de la stratégie est la révision totale de la loi sur l'énergie (LEne)³ de 2016. Avec le premier paquet de mesures de la stratégie, elle règle la transformation par étapes de l'approvisionnement suisse en

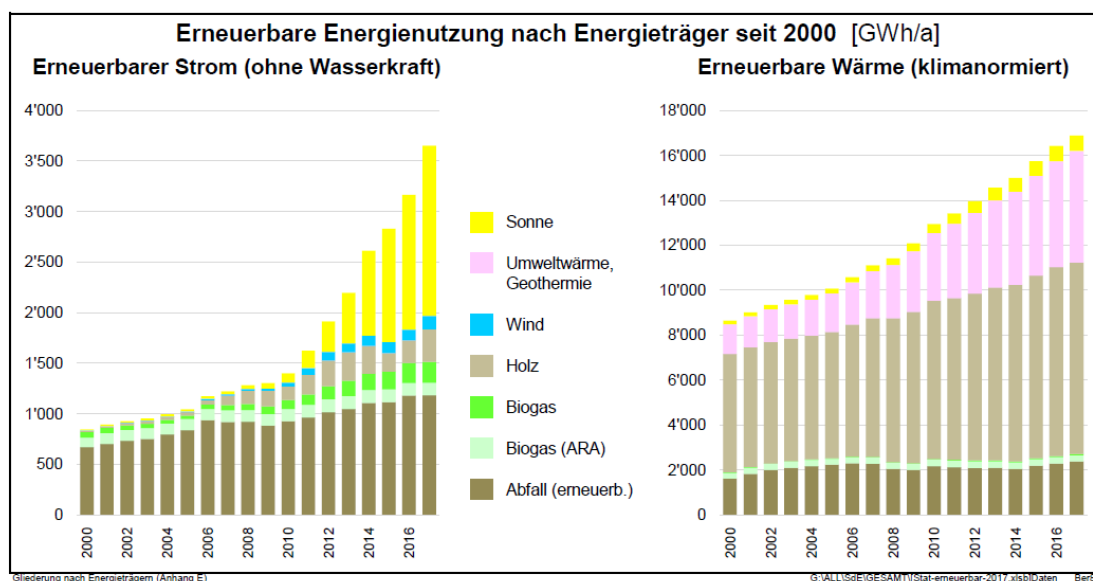
¹ Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) ; RS 700.0 ; art. 18a, al. 1

² <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/index.html?lang=fr>

³ Loi sur l'énergie (LEne) ; RS 730.0

énergie. L'objectif est « une utilisation mesurée des ressources naturelles et le recours aux énergies renouvelables »⁴. L'injection d'énergie de réseau et la consommation propre sont à soutenir et à faciliter⁵. La LEn retient la notion d'intérêt national à l'utilisation des énergies renouvelables, notamment en ce qui concerne les installations hydroélectriques et les éoliennes de grande taille.

En 2017, la production nette d'électricité en Suisse s'est élevée à 206'377 TJ (soit 57'327 GWh), dont 130'173 TJ (63,1 % de la production indigène) sont imputables aux énergies renouvelables. L'énergie hydraulique contribue le plus largement à la production de courant issu d'énergies renouvelables. Les autres énergies renouvelables – solaire, biomasse, biogaz, énergie éolienne, valorisation des déchets – ont fourni de l'électricité à hauteur de 13'151 TJ, soit 6,4 % de la production totale d'électricité. À lui seul, le solaire photovoltaïque a fourni 2,94 % de l'électricité produite en Suisse, c'est-à-dire près de la moitié du courant issu de sources renouvelables hors force hydraulique. Alors qu'en 2000, à peine 11,2 GWh d'électricité étaient produits à partir de l'énergie solaire, ce chiffre s'est hissé à 1683 GWh en 2017 sur un total de 3653,2 GWh de courant d'origine renouvelable hors force hydraulique.



Source : Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2017 – Vorabzug, paru le 1.6.2018 ; rapport (en allemand) établi par eicher+paoli AG, Urs Kaufmann, Liestal, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie⁶

La Confédération et les cantons coordonnent leur politique énergétique et tiennent compte des efforts consentis par les milieux économiques et par les communes⁷. Les cantons et les communes définissent des objectifs énergétiques à atteindre – concepts énergétiques territoriaux, Société à 2000 watts, Cité de l'énergie et autres – et intègrent des dispositions dans leurs plans directeurs, plans d'aménagement et plans d'affectation. Outre l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, les mesures visant à promouvoir la production de chaleur et d'électricité à partir de sources renouvelables est au cœur de l'agenda politique et des bases législatives. Il existe en Suisse 26 lois différentes sur l'énergie, chacune dotée de dispositions spécifiques. Des efforts visant à harmoniser les prescriptions énergétiques en matière de construction et les modèles d'encouragement sont cours, par exemple à travers le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), le Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa) et d'autres démarches.

⁴ Art. 7, al. 3, LEn

⁵ Art. 19 LEn

⁶ La publication complète sera disponible en septembre 2018.

⁷ Art. 4, al. 1, LEn

1.2 AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Toute modification apportée à l'enveloppe extérieure d'un bâtiment – qu'il s'agisse du toit ou des façades – a une incidence spatiale. Le développement des énergies renouvelables et l'utilisation de l'énergie solaire affectent profondément cet espace. Les plans directeurs et les plans d'affectation sont les instruments centraux du développement territorial. Si la Confédération en fixe les principes, le développement territorial lui-même relève de la compétence des cantons⁸. La loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT)⁹ et son ordonnance d'application¹⁰ définissent les activités à incidence spatiale et la façon dont elles sont exercées par la Confédération, les cantons et les communes ; en particulier, la réalisation d'installations solaires est traitée à l'article 18a LAT.

Les plans directeurs cantonaux et communaux coordonnent les activités à incidence spatiale. Ce faisant, ils définissent des objectifs énergétiques à atteindre, des concepts énergétiques territoriaux et d'autres dispositions et priorités relatives à la production d'énergies renouvelables. Les plans directeurs cantonaux contiennent aussi au minimum des principes de planification et des directives pour la prise en compte de l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS)¹¹. Dans certains cantons, les plans directeurs indiquent en outre les différents sites ISOS, ensembles ou monuments historiques individuels ainsi que les mesures de protection¹². Dans leurs plans d'affectation, les communes délimitent non seulement les zones à bâtir et les zones agricoles, mais aussi les zones à protéger ; celles-ci comprennent notamment les paysages d'une beauté particulière, d'un grand intérêt pour les sciences naturelles ou d'une grande valeur en tant qu'éléments du patrimoine culturel, les localités typiques, les lieux historiques, les monuments naturels ou culturels¹³.

Avec les plans directeurs et les plans d'affectation, les cantons et les communes disposent donc d'une large marge de manœuvre en matière de planification et d'aménagement, mais jusqu'ici, ils n'en ont fait qu'un usage limité pour une production d'énergie solaire qui soit à la fois rentable et satisfaisante en termes de culture du bâti. S'agissant de l'énergie solaire, le droit cantonal peut, par exemple, désigner des zones spéciales pour la production d'énergie solaire, soumises à des dispositions allégées, mais aussi des zones soumises à des dispositions plus sévères¹⁴.

1.3 PROTECTION DE LA NATURE ET DU PAYSAGE

Les installations solaires modifient l'apparence des sites construits et des monuments historiques. Ce fait doit être pris en compte. La Confédération agit à titre subsidiaire en matière de protection de la nature et du patrimoine et « peut soutenir les efforts déployés afin de protéger la nature et le patrimoine »¹⁵. Sa tâche constitutionnelle s'exerce essentiellement à travers la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN)¹⁶. Ses principaux instruments de mise en œuvre de la protection des sites construits sont les inventaires établis conformément à l'article 5 LPN, en particulier l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS), en application de l'ordonnance y relative¹⁷. La réalisation d'installations solaires sur des biens culturels « d'importance cantonale ou nationale »¹⁸ doit

⁸ Art. 75, al. 1, de la Constitution fédérale de la Confédération suisse (Cst.) ; RS 101.0

⁹ Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) ; RS 700.0

¹⁰ Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) ; RS 700.1

¹¹ www.isos.ch

¹² Par exemple dans les cantons de Fribourg et de Thurgovie

¹³ Art. 17, al. 1, let. b et c, LAT

¹⁴ Art. 18a, al. 2, LAT

¹⁵ Art. 78, al. 3, Cst.

¹⁶ Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN) ; RS 451.0

¹⁷ Ordonnance concernant l'Inventaire fédéral des sites construits à protéger en Suisse (OISOS) ; RS 451.12

¹⁸ Art. 18a, al. 3, LAT

répondre à des exigences de qualité accrues en matière d'intégration à travers une demande obligatoire d'autorisation de construire¹⁹.

Si la Confédération apporte son concours dans le domaine de la protection du patrimoine et de la conservation des monuments historiques, la sauvegarde des sites construits et monuments historiques de grande valeur relève avant tout de la responsabilité et de la compétence des cantons. Ceux-ci disposent, au sein de leurs administrations, de services spécialisés dans la protection des monuments et des sites. Ces services s'acquittent des tâches qui leur incombent sur leur territoire en s'appuyant sur 26 législations différentes. Leurs principaux instruments sont les inventaires cantonaux et communaux des monuments, qui désignent les biens culturels d'importance cantonale et communale devant être protégés et conservés.

Les services cantonaux compétents en matière de conservation du patrimoine et les services cantonaux d'information en matière d'énergie, conjointement avec les autorités compétentes pour l'octroi d'autorisations de construire, sont appelés à gérer les questions liées à l'énergie solaire dans les sites construits. Ils collaborent avec les propriétaires, les architectes et les entreprises d'installations solaires. Le but de cette collaboration est d'assurer une production accrue d'énergie solaire tout en préservant les sites et les monuments historiques afin de garantir une culture du bâti de qualité.

La protection exigée par la LPN et les législations cantonales ainsi que la sauvegarde des sites construits et des monuments historiques sont définies dans des bases internationales et nationales relatives à la conservation des monuments historiques. Un texte fondamental pour la Suisse sont les « Principes pour la conservation du patrimoine culturel bâti en Suisse »²⁰ de la Commission fédérale des monuments historiques (CFMH) de 2007. Dans le contexte de la présente étude, la matérialité originale – principe 1.3 Matérialité du patrimoine culturel – et l'aspect original – principe 1.5 Aspects du patrimoine culturel – revêtent une importance primordiale pour les façades et le toit, cette cinquième façade du bâtiment ou du monument. L'aspect original du monument historique est un élément constitutif de sa valeur patrimoniale. Conformément à l'article 18a, alinéa 3, LAT, une installation solaire ne saurait porter d'« atteinte majeure » à un monument historique d'importance cantonale ou nationale. En l'occurrence, la valeur patrimoniale ne fait pas partie des « aspects esthétiques » mentionnés à l'article 18a, alinéa 4, LAT.

Dans un lotissement digne d'être protégé, l'aspect extérieur peut être fortement marqué par les toitures. À ce titre, l'aménagement d'un toit n'affecte pas seulement le monument pris individuellement, mais aussi l'apparence du lotissement ou du site dans son ensemble. Ainsi, selon un arrêt récent du Tribunal fédéral²¹, les installations solaires dans les sites construits de grande valeur ne doivent pas prendre en compte en premier lieu le bâtiment sur lequel elles sont posées, mais l'ensemble des toits du site. Ici, la commune et/ou le canton disposent d'une marge d'appréciation quant à l'évaluation esthétique des conditions locales. Une commune ou un canton peut arriver à la conclusion qu'une installation solaire de grande étendue détonne dans un ensemble de toits protégé et porte une atteinte significative à l'aspect uniforme du site.

¹⁹ Voir chapitres 2.5.2, 3.2 et 6.2 de cette étude

²⁰ Commission fédérale des monuments historiques (CFMH) : *Principes pour la conservation du patrimoine culturel bâti en Suisse*. vdf Hochschulverlag, Zurich 2007. Ou <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/81510/eth-8425-01.pdf> (dernier accès 9.4.2018)

²¹ La sauvegarde des sites construits, des sites évocateurs du passé ainsi que des curiosités naturelles et des monuments doit aussi être garantie lors de la réalisation d'installations destinées à la production d'énergie solaire. Selon l'art. 18a LAT, ces installations ne doivent pas porter d'« atteinte majeure » au patrimoine. L'intérêt à l'utilisation de l'énergie solaire ne « l'emporte » pas « sur les aspects esthétiques » (art. 18a, al. 4, LAT). Cela ne s'applique toutefois qu'en rapport avec les « biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale ». Voir en particulier l'arrêt du Tribunal fédéral 1C_26/2016 du 16.11.2016 concernant l'arrêté du 6 octobre 2015 du Tribunal administratif du canton des Grisons, 5^e chambre, portant sur une demande de permis de construire une installation solaire sur un bâtiment dans le site Stampagarten, à Coire, lequel bénéficie d'un objectif de sauvegarde A dans l'ISOS.

1.4 URBANISME ET CULTURE DU BÂTI

Lorsqu'on élargit le champ d'observation du bâtiment pris individuellement à son contexte plus vaste, c'est-à-dire au groupe de bâtiments, puis au quartier et à l'ensemble du village ou de la ville ainsi qu'aux espaces publics interstitiels, l'importance urbanistique de la production d'énergie solaire est aisément perceptible dans ses aspects visuels.

Les propriétaires, et cela est compréhensible, se soucient en priorité de l'installation à réaliser sur leur bien. À leurs yeux, la transformation qui en résulte pour le site concerné est souvent d'une importance secondaire. Il serait souhaitable que la commune et le canton les soutiennent davantage dans leurs efforts de planification et d'aménagement d'installations solaires bien intégrées ; après tout, la planification du territoire et des constructions sont des tâches de la collectivité, tout comme la coordination et la mise en œuvre judicieuse des activités à incidence spatiale dans la perspective d'un urbanisme plus cohérent et de meilleure qualité. La culture du bâti – installations solaires comprises – relève de la responsabilité et de la compétence de tous les échelons étatiques et de toutes les disciplines, en contact étroit avec la société civile. Déléguer cette responsabilité aux individus n'est pas gage de succès.

En invitant les ministres européens de la Culture à Davos en janvier 2018 et en adoptant la Déclaration de Davos « Vers une culture du bâti de qualité pour l'Europe »²², la Suisse a mis en évidence des moyens permettant d'ancrer une culture du bâti de qualité aux niveaux politique et stratégique en Europe. La Déclaration souligne le rôle central de la culture pour la qualité du cadre de vie. Elle met l'accent sur la responsabilité commune de la politique et de la société envers l'environnement bâti et appelle à une politique européenne de la culture du bâti de qualité. Elle indique explicitement que l'environnement bâti a une influence décisive sur le bien-être et la qualité de vie de l'être humain. Un développement qualitatif de l'espace urbanisé existant et une gestion consciencieuse du paysage figurent donc parmi les enjeux centraux de la société contemporaine et de la future culture du bâti. Des efforts allant dans l'esprit de cette Déclaration sont en cours au niveau national. Dans le cadre du Message culture 2016-2020, la Confédération a décidé d'élaborer une stratégie interdépartementale en faveur de la culture du bâti²³ qui devrait être prête d'ici à 2020.

Cette exigence en matière de culture du bâti s'étend également à la pose d'installations solaires, qui ont une incidence spatiale sur les nouvelles constructions contemporaines comme sur les bâtiments existants et qui marquent fortement les toitures et les façades des sites construits de Suisse ainsi que la culture du bâti du pays. Cette dernière pourrait pâtir d'une mise en œuvre unilatérale de la Stratégie énergétique 2050, qui prévoit un renforcement de la production d'énergie à partir de sources renouvelables. À tous les niveaux – national, cantonal, communal –, des démarches cohérentes et globales sont donc nécessaires pour exiger et développer la qualité tant pour l'énergie solaire que pour la culture du bâti.

En matière d'énergie et de développement territorial, mais aussi de culture et de conservation du patrimoine, les cantons et les communes possèdent la marge de manœuvre et les instruments nécessaires pour promouvoir la production d'énergie solaire tout en contribuant à une culture du bâti de qualité – et cela avec le concours de la société civile.

Rédaction de ce chapitre : Office fédéral de la culture

²² Déclaration de Davos 2018, Conférence des Ministres de la culture, 20-22 janvier 2018 :

<https://davosdeclaration2018.ch/media/Document-de-contexte-fr.pdf> (dernier accès 9.4.2018)

²³ Message concernant l'encouragement de la culture pour la période 2016 à 2020 (Message culture), page 75 :

<https://www.admin.ch/opc/fr/federal-gazette/2015/461.pdf> (dernier accès 9.4.2018)

2. LES TECHNOLOGIES SOLAIRES EN MILIEU BÂTI

Le potentiel de l'énergie solaire active est exploité au travers de deux technologies aux caractéristiques très différentes : le thermique, qui transforme le rayonnement du soleil en chaleur, et le photovoltaïque, qui transforme ce même rayonnement en électricité. Alors que la chaleur solaire doit être stockée sur place et utilisée comme telle, le courant photovoltaïque possède une plus grande diversité d'usage ; il peut être transporté et injecté dans le réseau électrique pour être utilisé à plusieurs fins, y compris la production de chaleur. Ainsi, si les deux technologies sont comparables en termes de rendement énergétique, leur utilisation est très différente, le thermique étant installé en priorité sur les bâtiments d'habitation, où les besoins de chaleur – eau chaude sanitaire et chauffage - sont élevés.

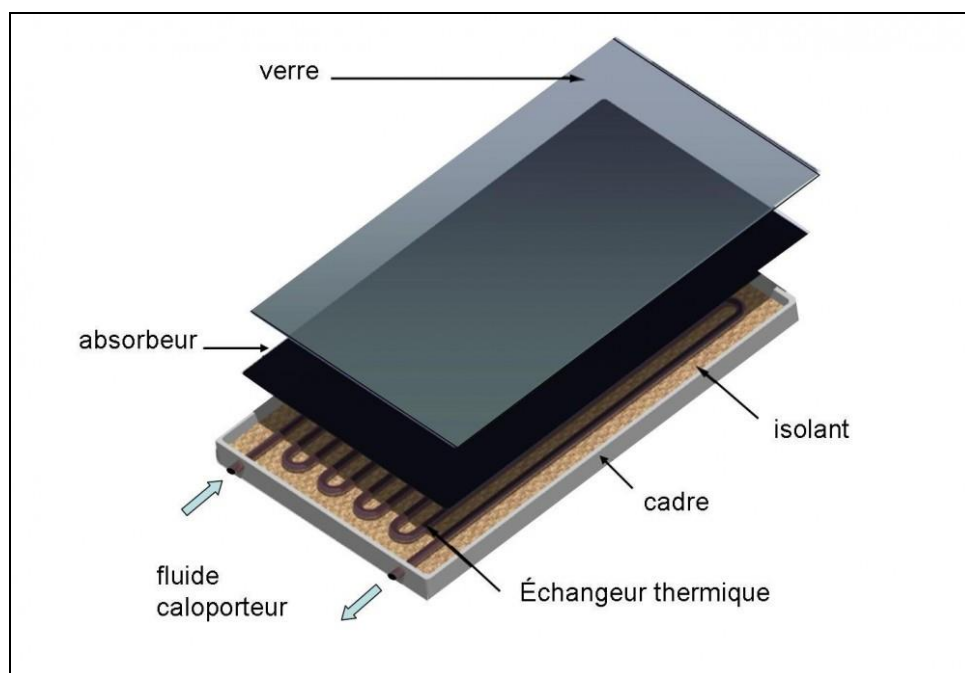
Sur le plan morphologique et de l'intégration au bâti, les deux technologies présentent des enjeux similaires quant à l'intégration des installations, avec toutefois une variété bien plus importante de solutions pour le photovoltaïque.

2.1 INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

2.1.1 Définition

Le solaire thermique (TH) est la transformation directe du rayonnement solaire en chaleur dans le but d'échauffer un fluide caloporteur (liquide ou gaz). C'est le capteur solaire thermique qui permet cette transformation énergétique.

Élément central d'un capteur, le plus souvent recouvert d'une plaque de verre, l'absorbeur au revêtement noir est traversé par un réseau de canaux, chauffés par le rayonnement. À l'intérieur circule le liquide caloporteur, mélange d'eau et d'antigel, qui transporte la chaleur jusqu'à l'accumulateur.



Dessin de principe d'un capteur solaire thermique plan vitré²⁴

Le verre en face avant permet de protéger le système et d'améliorer son rendement. L'absorbeur permet la transformation du rayonnement solaire en chaleur. L'isolant limite les déperditions thermiques pour un meilleur rendement. Le serpentín dans lequel circule le fluide caloporteur tient lieu d'échangeur thermique. Le fluide caloporteur évacue la chaleur emmagasinée par l'absorbeur ; il doit être stable à forte température et avoir des propriétés antigel.

²⁴ Image : www.2es.fr

À l'intérieur du bâtiment, le circuit solaire permet de transporter la chaleur produite par le champ de capteurs solaires thermiques dans un accumulateur qui contient l'eau sanitaire à chauffer. C'est par le biais d'un échangeur de chaleur placé dans l'accumulateur que la chaleur solaire est transmise à l'eau qu'il contient. Il n'y a donc pas de mélange entre l'eau du circuit solaire qui circule en boucle, et l'eau contenue dans l'accumulateur et qui partira chaude en direction des points de soutirage dans un circuit sanitaire spécifique.

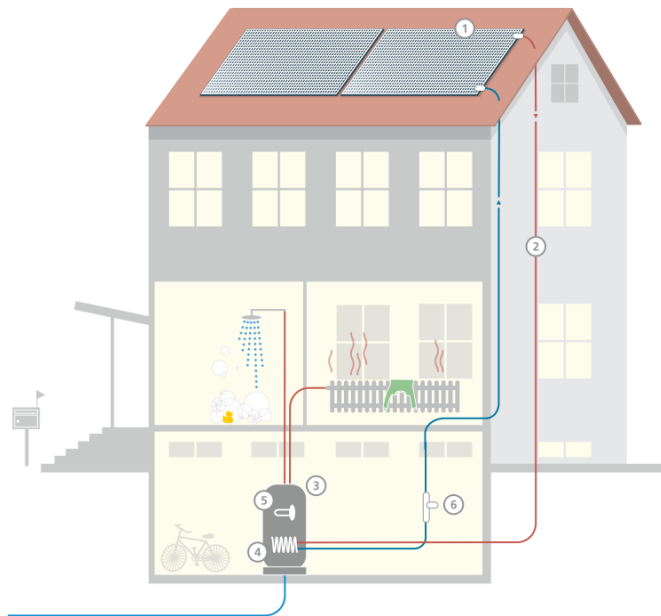


Schéma de fonctionnement d'une installation solaire thermique ²⁵

1. Capteur solaire 2. Tuyauterie 3. Accumulateur 4. Echangeur thermique 5. Chauffage d'appoint 6. Pompe de circulation

2.1.2 Types de capteurs

Les types de capteurs solaires thermiques les plus fréquents dans le domaine de l'environnement bâti sont, les capteurs plans vitrés, les capteurs non vitrés, et les capteurs à tubes sous vide.

C'est le besoin en température de travail (basse, moyenne, haute), en fonction du consommateur, qui va définir le choix du type de capteur le mieux adapté :

Le capteur plan vitré transforme environ 80% de l'énergie solaire en chaleur et fournit de l'eau solaire dans une plage de température entre 30 et 60 °C (moyenne température). Il constitue la solution adéquate pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS) tout au long de l'année avec éventuellement un dispositif de chauffage d'appoint pour les périodes où l'ensoleillement est faible. L'épaisseur des capteurs solaires thermiques varie entre 10 et 15 cm. Il existe plusieurs types de montage et différentes tailles de capteurs.

Le capteur non vitré (absorbeur) se compose de canaux/tubes noirs sans vitrage ni isolation thermique. Il fournit de l'eau solaire dans une plage de température entre 10 et 40 °C (basse température). Il a un rendement médiocre mais convient bien au chauffage de l'eau des piscines en plein air, au préchauffage de l'eau chaude sanitaire en été et en combinaison avec une pompe à chaleur.

Le capteur à tubes sous vide se compose d'une série de tubes parallèles en verre sous vide (permettant de supprimer les pertes par transmission) à l'intérieur desquels, dans un tube central à la géométrie et capacité d'absorption optimisées, circule l'eau qui atteint des températures entre 80 et 130 °C (haute température). Cette solution convient par exemple pour l'industrie, pour la production de « froid solaire » (couplée avec une machine à absorption) ou, dans l'habitat, lorsqu'il subsiste d'anciens radiateurs nécessitant des températures de travail plus élevées ou lorsque l'orientation des capteurs n'est pas optimale (l'absorbeur à l'intérieur du tube peut être tourné vers le soleil), ou quand il faut sauvegarder la silhouette d'une toiture plate avec une expression architecturale de qualité.

²⁵ Source : Swissolar, *Chaleur et électricité par la force du soleil*, 2015, p. 8



Capteur plan vitré²⁶



Capteur non vitré²⁷ (absorbeur)



Capteur à tubes sous vide²⁸

2.1.3 Utilisation

La plus grande partie de la chaleur solaire produite est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire dans les habitations, mais se retrouve aussi dans les centres sportifs et dans de l'industrie.

La production de chaleur solaire étant tributaire des fluctuations saisonnières, de l'ensoleillement et des besoins, la très grande majorité des installations solaires thermiques sont conçues en combinaison avec un système de chauffage principal ou un dispositif de stockage de la chaleur conséquent, surtout pour les bâtiments avec isolation thermique conventionnelle dans lesquels les pertes par l'enveloppe, surtout en période hivernale, peuvent difficilement être compensées par l'installation solaire thermique. Son efficacité globale dépend fortement de son utilisation. Une installation solaire thermique contribue à réduire la consommation d'énergies fossiles (chauffages à mazout ou gaz) et donc l'émission de gaz à effet de serre. Il faut compter entre 0.50 m² (immeubles) et 1 m² (villas) de surface de capteurs thermiques par personne pour la production d'ECS, plus si l'installation contribue également au chauffage.

Comme système de chauffage, le TH est aujourd'hui de plus en plus en concurrence avec les pompes à chaleur (PAC) combinées avec des panneaux solaires photovoltaïques, dont une partie de l'électricité produite sert à alimenter la PAC qui assure la production de l'eau chaude sanitaire et les besoins de chauffage des locaux. Lorsque la PAC tourne à régime réduit (été, période de vacances), cette stratégie présente l'avantage de pouvoir injecter dans le réseau l'électricité provenant des panneaux photovoltaïques au lieu de devoir dissiper l'énergie, comme c'est le cas pour les capteurs solaires thermiques.

Dans des applications moins répandues, la chaleur solaire peut également être mise en œuvre pour régénérer des champs de sondes géothermiques qui font office de source froide dans un système de chauffage par pompe à chaleur. Il est également possible d'envisager des solutions de stockage saisonnier dans de grands réservoirs à l'échelle d'un immeuble, ou alors d'injection dans un système de boucle énergétique à l'échelle d'un quartier. Enfin, on peut aussi réaliser du « froid solaire » en combinant de l'énergie solaire thermique à haute température avec une machine à absorption.

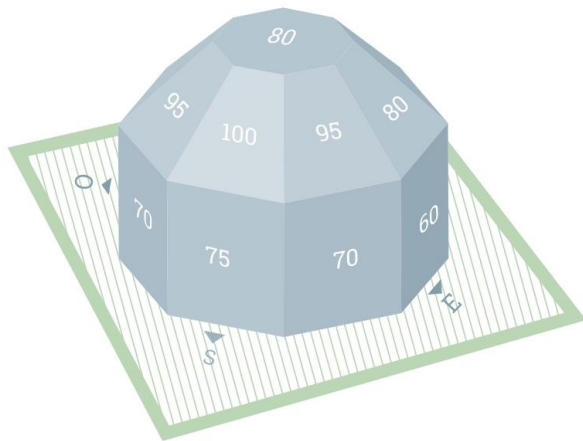
2.1.4 Rendement

Outre l'efficacité du capteur lui-même (liée au fabricant et dont la certification est assurée par l'*Institut für Solartechnik – SPF*, de la Haute École de Rapperswil), l'inclinaison et l'orientation des capteurs ainsi que la présence ou l'absence d'ombres portées sur le plan de captage influencent leur capacité à transformer le rayonnement solaire en chaleur. En principe le capteur devrait être incliné entre 20 et 60°, selon qu'on optimise la production en période estivale ou hivernale, et orienté plein sud, mais le rendement reste élevé même pour des capteurs orientés à l'est ou l'ouest.

²⁶ Source : <https://www.dimension-solaire.ch/energiesolairerenouvelable/energie-solaire-renouvelable-solaire-thermique>

²⁷ Source : <http://outilssolaires.com/pro/fabricants-distributeurs/chauffage-de-piscines-roth+o68.html>

²⁸ Source : <https://www.alec-montpellier.org/particuliers/energies-renouvelables/les-capteurs-sous-vide/>



Rayonnement solaire annuel sur des surfaces de toits et de façades à orientation différente sur le Plateau suisse. Le maximum (100 %) est atteint avec une orientation au sud et une inclinaison de 20 à 60°. ²⁹

Le rendement global de l'installation solaire, c'est-à-dire en tenant compte non seulement des capteurs mais de l'installation solaire dans son ensemble (réseau de transport de la chaleur solaire du toit à la cave, volume tampon eau solaire, circulateurs, échangeurs) dépend fortement du profil d'utilisation effectif de l'eau chaude sanitaire et de la bonne adéquation entre la température de l'eau du circuit solaire et la température de travail du côté consommateur. Si l'eau chaude produite est consommée, le rendement du solaire thermique peut facilement dépasser 60% - 70%. Il est donc primordial de dimensionner correctement l'installation en fonction des besoins réels.

2.1.5 Facteurs technologiques favorables et défavorables

La production de chaleur à partir de panneaux solaires thermiques est fortement dépendante d'une bonne exposition à la course solaire afin que l'irradiance³⁰ G en W/m^2 (incluant le rayonnement direct du soleil et le rayonnement diffus) sur la surface utile du panneau soit maximale. Il est donc important de disposer de suffisamment de surfaces de toiture bien orientées et exemptes d'effets d'ombrages (voisinage de bâtiments, végétation, équipements en superstructure).

En ce qui concerne l'ingénierie de l'installation, le type d'affectation (bâtiments d'habitation, administratifs, industriels, etc.) définit des profils de besoins de chaleur (variable, constant, intermittent) ainsi que des exigences en température, qui déterminent à leur tour le choix du recours au solaire thermique, le choix et le dimensionnement de la surface de captage, et le dimensionnement du stockage de l'eau chaude solaire produite. Il s'agit d'autant de facteurs qui peuvent favoriser le choix du solaire thermique ou son abandon au profit d'une autre approche technologique en énergie renouvelable.

De même, la présence ou l'absence de systèmes concurrents basés sur des ressources renouvelables – chauffage à distance (CAD), récupération de chaleur sur les eaux usées, pompe à chaleur, installations à biomasse – peuvent limiter l'intérêt du solaire thermique : du point de vue de l'efficacité, des coûts ou de considérations liées à la politique énergétique.

Une installation solaire nécessite sensibilité et compétence et sa réalisation doit être confiée à des spécialistes compétents, dûment formés et suivant de près les évolutions dans le domaine.

En raison des évolutions technologiques de ces dernières années dans le secteur du solaire photovoltaïque, renforcées par des choix politiques d'abandon de l'énergie nucléaire et des énergies fossiles, on assiste à l'apparition de nouvelles approches énergétiques qui tendent à placer le solaire thermique au deuxième

²⁹ Source : Swissolar, *Chaleur et électricité par la force du soleil*, 2015, p. 9

³⁰ L'irradiance ou éclairement énergétique est un terme radiométrique qui quantifie la puissance d'un rayonnement électromagnétique frappant par unité de surface perpendiculaire à sa direction. C'est la densité surfacique du flux énergétique arrivant au point considéré de la surface.

plan au profit de concepts exploitant davantage le photovoltaïque. Même à petite échelle, la solution d'utiliser une pompe à chaleur alimentée par de l'électricité photovoltaïque a tendance à s'imposer, surtout lorsqu'il s'agit de remplacer une chaudière existante fonctionnant aux énergies fossiles. Il n'est toutefois pas possible de généraliser ; c'est la nature de chaque projet qui va déterminer la solution la plus adéquate, en fonction de nombreux paramètres.

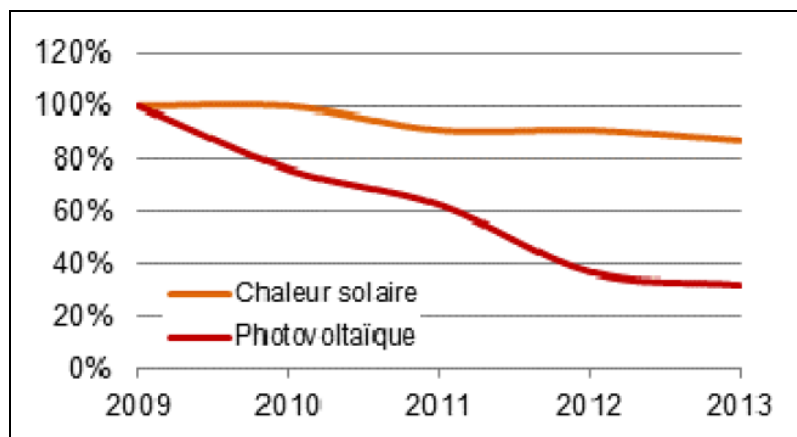
2.1.5.1 Facteurs économiques favorables et défavorables

La technologie des capteurs solaires est au point et leur exploitation sûre. Les installations solaires thermiques se distinguent par une durée de service de 20 – 30 ans au minimum et sont peu gourmandes en entretien. Les composants d'une installation solaire thermique sont issus de matériaux courants à faible impact environnemental, faciles à recycler ; les processus de fabrication demeurent relativement simples. Depuis longtemps il existe des initiatives qui soutiennent l'auto-construction d'installations solaires thermiques, principalement dans l'habitat individuel, mais aussi dans le logement collectif.

La rentabilité de la production d'énergie solaire thermique est plus grande dans les installations d'une certaine taille, surtout lorsque l'adéquation entre besoins et production est optimale, d'où l'importance de s'adresser à des acteurs disposant de bonnes compétences. Le solaire thermique est économiquement intéressant sur les toits d'immeubles de logement collectif ou dans des processus industriels.

Concernant l'évolution des prix, il faut constater que comparativement aux panneaux photovoltaïques, les panneaux thermiques ne connaissent pas une baisse significative de leur prix. Le coût d'une installation solaire dépend de nombreux facteurs: coût des panneaux solaires et autres matériaux, nombre d'heures de travail facturées par l'installateur, taille de l'installation, type d'installation (intégrée ou rapportée), usage de l'installation (production d'eau chaude, d'eau chaude et chauffage).

En Suisse, les prix des installations de chaleur solaire ne sont pas systématiquement relevés ; il n'existe donc pas de base fiable indiquant l'évolution des prix au cours des dernières années.



Evolution normalisée des prix du produit standard pour les deux technologies solaires d'un producteur suisse (y c. coûts des installations) 31

³¹ Comparaison de technologie: chaleur solaire et photovoltaïque. Rapport du Conseil fédéral donnant suite au postulat 11.3350, Theophil Pfister du 13 avril 2011 et à la motion 11.3417, Groupe BD, du 14 avril 2011

Pour ce qui concerne les coûts, les ordres de grandeur suivants sont donnés à titre indicatif et ne tiennent pas compte des aides et subventions publiques disponibles lors de la construction d'une installation thermique.³²

Maison individuelle (4 personnes)

Objet - Installation thermique pour ECS intégrée dans le toit, surface capteurs 6 m ² , réservoir d'eau de 600 litres	Objet - Installation thermique pour chauffage et ECS intégrée dans le toit, surface capteurs 10 m ² , réservoir d'eau de 1000 litres
Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 13'900.-	Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 19'500.-
Soit environ CHF 2300.-/m ²	Soit environ CHF 1950.-/m ²

Immeuble d'habitation (24 personnes)

Objet - Installation thermique pour ECS intégrée dans le toit, surface capteurs 32 m ² , réservoir d'eau de 2600 litres	Objet - Installation thermique pour chauffage et ECS intégrée dans le toit, surface capteurs 60 m ² , réservoir d'eau de 4000 litres
Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 58'000.-	Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 102'500.-
Soit environ CHF 1800.-/m ²	Soit environ CHF 1700.-/m ²

Les coûts de production sont compris dans une fourchette entre 15 et 25 cts/kWh³³.

Suisse énergie met à disposition un calculateur solaire en ligne qui permet de connaître approximativement la production énergétique, le coût total et la durée d'amortissement d'une installation solaire thermique ou photovoltaïque.³⁴

2.1.6 Facteurs sociaux favorables et défavorables

L'autoconstruction de tout ou partie d'une installation solaire thermique peut être vue comme un facteur de motivation favorable, pour soutenir l'artisanat local, la participation de jeunes et moins jeunes à la construction, l'engagement possible de groupes de personnes d'un quartier à la mise en place d'une installation collective. Cependant, à moins d'être un professionnel de la branche disposant des compétences et du matériel nécessaire, il est illusoire de se lancer seul dans une telle réalisation, qui demeure complexe. Encourager de telles démarches est la vocation de l'association à but non lucratif Sebasol³⁵ (**Self bâtir solaire**) qui, depuis 1983, au niveau romand, œuvre pour rendre l'énergie solaire thermique accessible en proposant d'accompagner les propriétaires dans leur projet d'auto-construction. Elle a également formé un réseau d'artisans agréés Sebasol qui proposent des installations clés en main conçues et réalisées en autoconstruction par les artisans eux-mêmes. Cette démarche a le mérite supplémentaire de valoriser et maintenir l'artisanat local et la conception sur mesure. On trouve des réalisations Sebasol dans l'habitat individuel, mais aussi dans du logement collectif surtout à vocation associative ou participative. La volonté de l'association se manifeste aussi par des conférences publiques dans les communes ou des ateliers pédagogiques destinés aux jeunes qui peuvent par exemple participer à la construction d'une installation.

³² <https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/coût-dune-installation> (consulté le 23/04/2018)

³³ Swissolar, Chaleur solaire, Branchen Faktenblatt. juillet 2017

³⁴ <https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/calculateur-solaire> (consulté le 23/04/2018)

³⁵ <http://www.sebasol.ch> (consulté le 23/04/2018)

2.2 INSTALLATIONS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

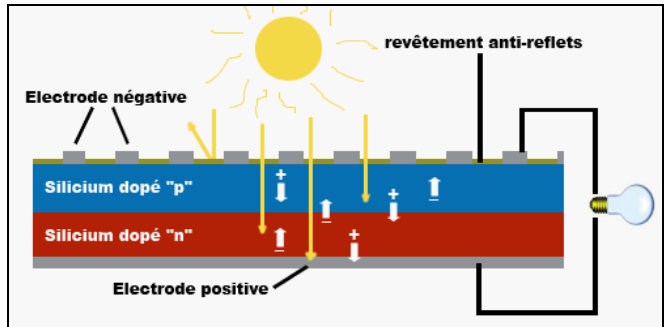
2.2.1 Définition

Le solaire photovoltaïque (PV) désigne la transformation de l'énergie lumineuse du soleil (photons) en un courant électrique continu. Le capteur solaire photovoltaïque permet cette transformation énergétique.

Le capteur solaire photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques fines, d'environ 10 cm de côté, reliées entre elles électriquement. Ces cellules sont constituées d'un matériau semi-conducteur, le plus souvent du silicium, qui absorbe les photons de la lumière solaire et génère des électrons, créant une tension électrique continue.



Cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin³⁶



Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque³⁷

Une cellule photovoltaïque est constituée de deux semi-conducteurs dont le matériau de base est en silicium dopé (cristallin ou amorphe). La lumière constituée par les photons entre en contact avec la cellule, créant une excitation des électrons, désignée sous le nom d'effet photovoltaïque, qui produit du courant continu. Ensuite, comme la cellule est polarisée grâce au dopage du silicium, elle fait office de générateur électrique.

Pour permettre de convertir le courant continu (CC) produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif (CA) compatible avec le réseau électrique public et utilisable par les appareils électriques, on doit mettre en place un onduleur. Dans le cas d'une installation « en îlot », c'est-à-dire non raccordée au réseau (cabane de montagne, pavillon de campagne), des batteries permettent de stocker l'énergie ; dans ce cas l'onduleur est remplacé par un régulateur de charge et les appareils électriques doivent être adaptés à la tension continue délivrée par la batterie (12 ou 24 Volt).

Pour les installations raccordées au réseau électrique, un compteur électrique spécial permet de compter l'énergie électrique excédentaire injectée dans le réseau public, respectivement l'énergie achetée au fournisseur d'électricité. Selon les cas, on peut avoir deux compteurs séparés.

³⁶ Source : wikipedia

³⁷ Source : G. Segura, utbm

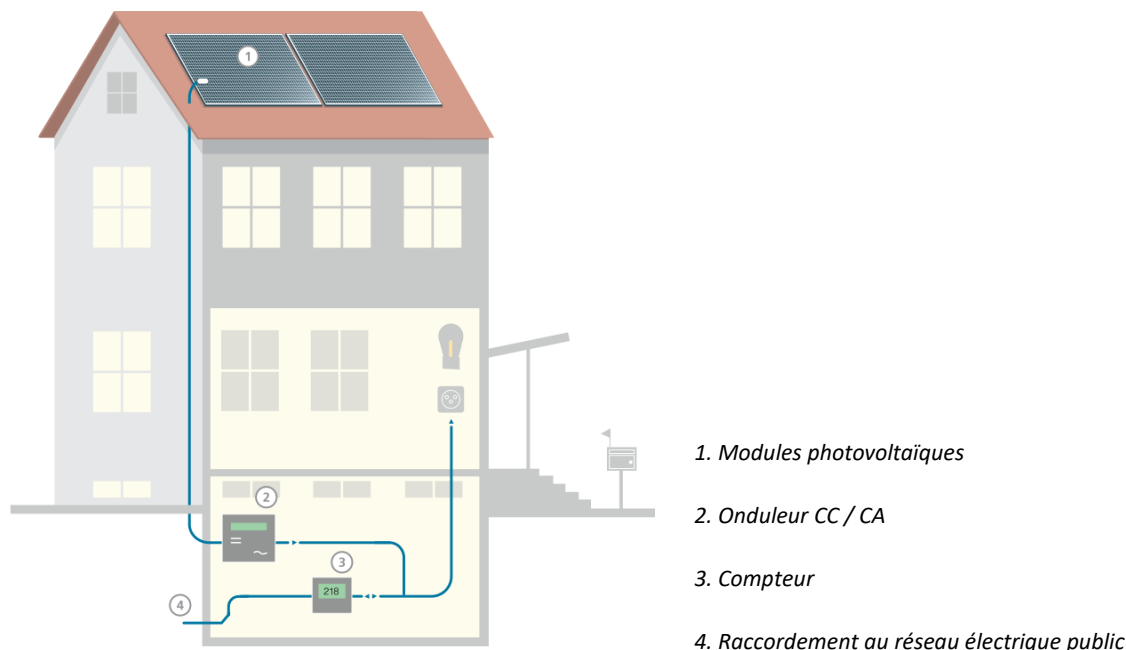


Schéma d'une installation solaire photovoltaïque avec autoconsommation partielle (électricité pour autoconsommation, excédents injectés dans le réseau) ³⁸

2.2.2 Types de capteurs

Il existe une grande diversité de technologies et les recherches dans le domaine sont nombreuses, portées par un marché prometteur. La Suisse peut se prévaloir d'avoir sur son territoire le Centre suisse d'électronique et de microtechnique (csem)³⁹ à Neuchâtel, un centre scientifique reconnu au niveau mondial pour ses recherches et découvertes dans le domaine des cellules photovoltaïques.

Dans le cas du PV, c'est la technologie de la cellule solaire utilisée, plus précisément le matériau semi-conducteur et par conséquent le processus de fabrication, qui distingue le type de capteur.

Les capteurs avec des cellules au silicium monocristallin se caractérisent par un bon rendement, de 16 à 24 % ($\sim 150 \text{ Wc/m}^2$) et un nombre de fabricants élevé. Le rendement faiblit sous un faible éclairement ou un éclairement diffus et baisse quand la température augmente. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Les capteurs avec des cellules au silicium polycristallin ont un rendement de 14 à 18 % (environ 100 Wc/m^2 , voire plus). Le rendement faiblit sous un faible éclairement ou un soleil diffus. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, non uniforme.

Les capteurs avec des cellules au silicium amorphe (non cristallisé) ont un rendement faible en plein soleil, de 5 à 7 % (environ 60 Wc/m^2). La cellule est de couleur sombre. Elle présente l'avantage de fonctionner avec un éclairement faible ou diffus y compris sous éclairage artificiel de 20 à 3 000 lux (c'est la cellule des calculatrices dites « solaires »).

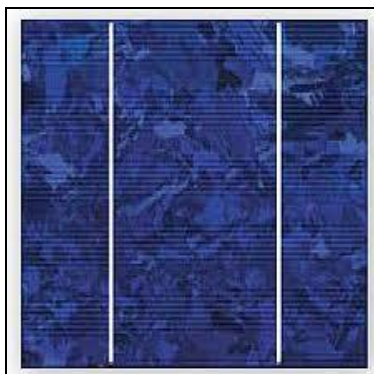
On parle aussi de cellules à couches minces lorsque ces dernières sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est déposée une fine couche de silicium ou d'un autre semi-conducteur ce qui permet d'abaisser les coûts de production. Le rendement est cependant inférieur à celui des cellules à base de silicium cristallin.

³⁸ Source : Swissolar, *Chaleur et électricité par la force du soleil*, 2015, p. 13

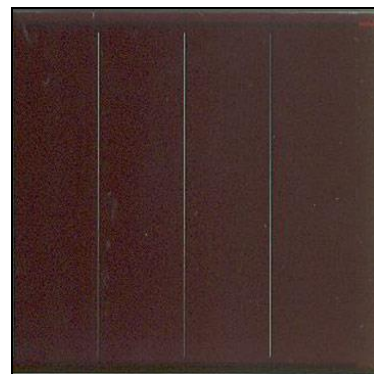
³⁹ <https://www.csem.ch/home>



Aspect d'une cellule monocristalline courante



Aspect d'une cellule polycristalline courante



Aspect d'une cellule amorphe courante

Grâce aux recherches menées ces dernières années, on trouve sur le marché des éléments photovoltaïques (panneaux classiques, bardages) offrant un plus grand choix au niveau de la couleur, qui augmentent considérablement les possibilités d'intégration esthétique, autant en façade qu'en toiture. Citons l'exemple d'une start-up⁴⁰ de Neuchâtel qui, à partir de trois brevets développés par le csem, a mis au point un film nanotechnologique qui s'intègre dans un module photovoltaïque standard, durant sa conception par le fabricant, afin d'obtenir un panneau PV blanc ou d'une autre couleur à choix, totalement uniforme.⁴¹

Actuellement on considère une durée de vie de 30 ans pour les capteurs photovoltaïques.⁴² Au niveau du bilan environnemental, après une durée d'exploitation de deux ans en moyenne, les installations photovoltaïques en Suisse ont amorti l'énergie nécessaire à leur fabrication, installation et élimination, par le biais de leur production d'électricité solaire.

2.2.3 Utilisation

Comme indiqué dans le chapitre 2.2.1, les installations solaires photovoltaïques produisent de l'électricité. On distingue deux modes d'utilisation possibles : les installations *raccordées au réseau*, c'est-à-dire qui sont connectées au réseau électrique public, et les installations *en îlot* qui sont des installations indépendantes produisant du courant destiné uniquement à la consommation propre ; non connectées au réseau, elles stockent l'électricité dans des batteries. Ce mode particulier étant peu répandu ne sera pas traité dans le cadre de cette étude.

La plupart des installations photovoltaïques sont raccordées au réseau électrique public, garantissant la disponibilité permanente d'un nombre suffisant de consommateurs qui utilisent l'énergie solaire immédiatement. Ce type d'exploitation n'exige aucun stockage intermédiaire : le réseau interconnecté fait office de « volume tampon » et permet d'exploiter la totalité du courant produit. C'est notamment sur ce point que le solaire photovoltaïque s'avère plus séduisant que le solaire thermique où il faut gérer le déphasage entre production et consommation par l'intermédiaire d'un stockage.

Il existe deux pratiques d'injection du courant solaire produit sur le réseau public : l'autoconsommation et l'injection intégrale.

Le cas de figure le plus répandu est l'autoconsommation où une partie ou la totalité de l'électricité solaire produite est utilisée en priorité pour la consommation propre à l'emplacement de la production et seul l'excédent d'électricité est injecté dans le réseau électrique public en contrepartie d'une rétribution financière payée par le distributeur d'électricité local.

En cas d'injection intégrale, la totalité du courant produit par une installation photovoltaïque est transférée au distributeur d'électricité local. Dans ce cas, il n'y a aucune consommation propre de l'électricité générée, l'électricité domestique provenant elle aussi du réseau local.

⁴⁰ <http://www.solaxess.ch>

⁴¹ http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_876342027.pdf (consulté le 25.04.2018)

⁴² https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Markterhebung/Recensement_2016_def.pdf (consulté le 25.04.2018)

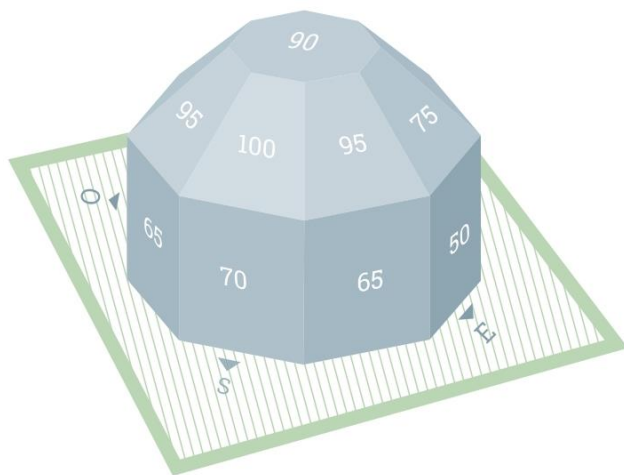
Le couplage d'une installation solaire photovoltaïque avec une pompe à chaleur permet de produire de la chaleur à partir de l'électricité. Cette solution est devenue courante comme système de chauffage et eau chaude sanitaire dans les nouveaux bâtiments, lorsqu'une pompe à chaleur est déjà existante et lorsqu'il s'agit de remplacer une ancienne chaudière à énergie fossile.

2.2.4 Rendement

Le rendement d'une installation photovoltaïque exprime la part d'énergie électrique disponible à la sortie de l'onduleur sous forme de courant alternatif par rapport à la quantité d'énergie solaire reçue par les modules solaires. Plusieurs facteurs interviennent dans la détermination du rendement, dont les principaux sont : l'emplacement des capteurs, le rendement des cellules et du module, le rendement de l'onduleur. La qualité de la connectique et du câblage impacte aussi le résultat final.

L'inclinaison et l'orientation des capteurs ainsi que l'absence d'ombres portées sur le plan de captage influencent la quantité d'énergie solaire reçue par ces derniers. Idéalement le capteur devrait être orienté plein sud et incliné à 30°, bien que le rendement reste tout à fait intéressant pour des capteurs orientés à l'est ou l'ouest. Même positionnés à plat, ils reçoivent encore 90% du rayonnement solaire annuel par rapport à la position optimale.

On peut aussi considérer qu'il est judicieux d'exploiter plusieurs expositions afin de mieux répartir la production d'électricité sur la journée. Grâce à des prix en baisse, les installations photovoltaïques orientées vers l'est et l'ouest sont devenues rentables.



*Rayonnement solaire annuel sur des surfaces de toits et de façades d'orientation différente sur le Plateau suisse.⁴³
Le maximum (100 %) est atteint avec une orientation au sud et une inclinaison à 30°.*

Une température élevée a une influence négative sur le rendement de la cellule. Cette influence se traduit principalement par une diminution de la tension générée (et une très légère augmentation du courant). En moyenne, selon les fabricants, la tension à vide d'une cellule photovoltaïque diminue de 2 mV lorsque la température de la cellule augmente d'un degré Celsius, soit une baisse de tension de 0.3 % / °C. Il est donc conseillé de ventiler correctement les panneaux. En cas de pose rapportée, leur mise en œuvre sur une toiture plate végétalisée ou avec un albédo⁴⁴ élevé peut s'avérer intéressante. Le rendement de l'onduleur, pour les appareils récents, sans transformateur, se situe autour de 95%.

Selon la technique utilisée (voir chapitre 2.2.2), les cellules solaires transforment environ 10 à 25 % du rayonnement solaire en énergie électrique. Au final, en tenant compte des pertes dues aux onduleurs, à la connectique et au câblage, le rendement global d'une installation photovoltaïque se situe entre 8 et 10%, et dépend de chaque configuration technique.

⁴³ Source : Swissolar, *Chaleur et électricité par la force du soleil*, 2015, p. 12

⁴⁴ L'albédo est le pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport de l'énergie lumineuse réfléchie à l'énergie lumineuse incidente.

2.2.5 Facteurs technologiques favorables et défavorables

Si la fabrication des cellules photovoltaïques est technologiquement complexe, la mise en œuvre du PV est relativement simple et sa productivité effective facile à vérifier. L'injection dans le réseau, qui permet de dimensionner les installations photovoltaïques indépendamment des besoins propres, a permis de développer un marché de masse.

Secteur industriel très spécialisé, avec une dimension internationale, le photovoltaïque est soumis à une forte concurrence, qui favorise une production à grande échelle, une diminution des coûts et la stimulation à la recherche de solutions innovantes. Le principal atout du solaire photovoltaïque est sans nul doute la large palette de produits sur le marché, avec un choix significatif de produits intégrés dans des éléments de construction (tuiles solaires, éléments de couverture, éléments de façade), de plus en plus adaptables, à des coûts accessibles ainsi que l'indépendance des lieux de production et de consommation. Cet engouement pour l'électricité solaire s'est également traduit par la vente de petites installations clés en main par des enseignes commerciales inattendues⁴⁵.

L'amélioration du rendement des cellules photovoltaïques représente un enjeu majeur et il faut espérer qu'on puisse rapidement et largement dépasser l'actuel seuil de 10 – 25%.⁴⁶ Pour ce qui concerne les composants photovoltaïques (onduleurs, commutateurs, câblage) il faudrait encourager la mise en place de codes et standards qui facilitent la maintenance des installations dans le temps et qui favorisent l'intégration du photovoltaïque en tant qu'élément architectural.

Les panneaux solaires photovoltaïques sont composés en grande majorité de verre (80% à 90%), de métaux ferreux, de métaux non ferreux et de plastiques (10% à 19%), ainsi que de métaux semi-conducteurs (1% à 2%). La très grande majorité d'entre eux est composée de cellules à base de silicium cristallin. Comme tous les autres déchets, ils doivent être éliminés dans le respect de l'environnement et valorisés autant que possible en fin de vie. Les technologies actuelles permettent d'en traiter tous les composants et d'en réutiliser près de 80% comme matières premières.

En Europe, le recyclage des panneaux solaires photovoltaïques est prévu par la directive 2002/96/CE relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques. PV CYCLE⁴⁷ est le prestataire de services au niveau européen pour le recyclage de modules PV conforme à la loi. Sur les modules qui sont livrés en Suisse, l'organisation ne prélève plus de redevances pour le traitement des déchets. Ceci est fait uniquement par SENS eRecycling, le partenaire national de Swissolar et PV CYCLE. La Suisse dispose de deux points de collecte pour la reprise des panneaux en fin de vie et des panneaux neufs endommagés. Actuellement à la charge des détenteurs, les coûts d'élimination des panneaux usagés devraient faire l'objet d'une prochaine réglementation de paiement anticipé, sur le même modèle que les appareils électriques.⁴⁸

2.2.6 Facteurs économiques favorables et défavorables

Bien qu'en continue évolution technologique, les capteurs solaires photovoltaïques disponibles sur le marché (même ceux en service depuis plus de 20 ans et qui continuent à fonctionner au-delà des prévisions) prouvent que la technologie est fiable. La durée de vie des panneaux PV actuels est d'au moins 30 ans ; ils ne demandent pas d'entretien.

D'une manière générale, depuis quelques années, le marché de l'électricité photovoltaïque, fort de son succès, est particulièrement mouvant tant au niveau international qu'au niveau national. En Suisse aujourd'hui, en dehors des très grandes installations, le détenteur d'une installation solaire photovoltaïque a financièrement intérêt à maximiser son autoconsommation (par exemple dans le cas de bâtiments industriels qui présentent une part importante de consommation propre), en raison du tarif de rachat peu incitatif du courant solaire injecté dans le réseau, que les services industriels rachètent à un prix bien

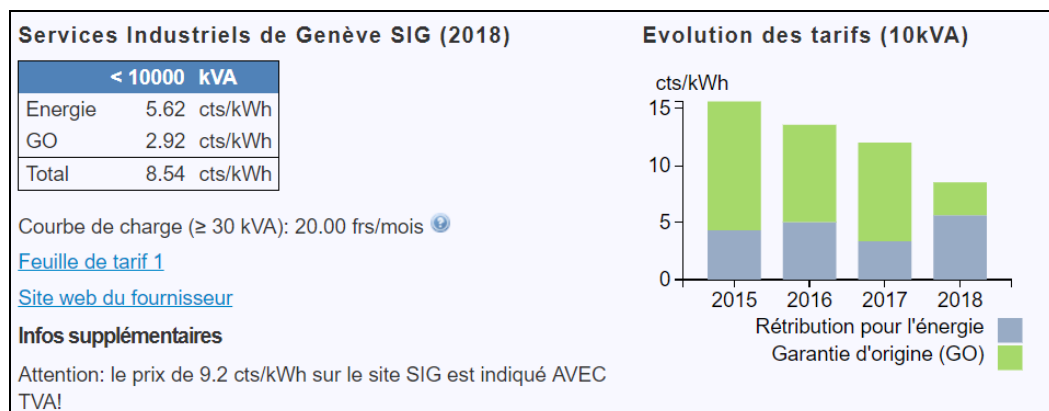
⁴⁵ Par exemple IKEA : https://www.ikea.com/ms/fr_CH/campaigns/solar/index.html (consulté le 25.04.2018)

⁴⁶ <https://www.csem.ch/Page.aspx?pid=47016> (consulté le 25.04.2018)

⁴⁷ <http://www.pvcycle.org/fr/> (consulté le 25.04.2018)

⁴⁸ http://www.parlament.ch/f/suche/pages/geschaefte.aspx?gesch_id=20123611 (consulté le 25.04.2018)

inférieur à celui du courant qu'ils vendent.⁴⁹ Il est possible de connaître les tarifs de rétribution de toutes les entreprises électriques de Suisse pour l'énergie solaire injecté sur le réseau, sur le site de l'Association des producteurs d'énergie indépendants – VESE.⁵⁰



Tarif de rétribution du courant solaire par les Services industriels de Genève – SIG = 8.54 cts/kWh (HT).⁵¹

Au niveau du prix des modules PV, la tendance est à la baisse grâce à une demande soutenue et l'amélioration des processus de fabrication. Il en est de même pour les autres principaux composants de l'installation.

Les ordres de grandeurs des coûts suivants sont donnés à titre indicatif et ne tiennent pas compte des aides et subventions étatiques disponibles lors de la construction d'une installation solaire.⁵²

Maison individuelle (4 personnes)

Immeuble d'habitation (23 personnes)

Objet - Installation photovoltaïque rapportée d'une puissance de 5 kWc et de 29 m ² de panneaux	Objet - Installation photovoltaïque intégrée au toit d'une puissance de 29 kWc et de 171 m ² de panneaux
Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 18'960.-	Coût estimé de l'installation clé en main (HT) CHF 56'985.-
Soit environ CHF 654.-/m ²	Soit environ CHF 334.-/m ²

Pour les particuliers, le coût moyen d'un kilowattheure d'électricité solaire est de 14,5 cts/kWh⁵³. À relever également que dans la plupart des cantons, les investissements pour l'installation solaire sont fiscalement déductibles.

Suisse énergie met à disposition un calculateur solaire en ligne qui permet de connaître approximativement la production énergétique, le coût total et la durée d'amortissement d'une installation solaire photovoltaïque⁵⁴ ou thermique.

Parmi les défis à venir, on trouve le développement de nouveaux modèles d'affaires adaptés au marché de l'électricité, qui sont centrés autour de technologies plus efficaces et sur la gestion intelligente de l'énergie.⁵⁵ Il existe aussi un grand potentiel économique dans le développement de solutions technologiques pour l'autoconsommation (dispositifs de stockage, véhicules électriques, systèmes de

⁴⁹ Pour plus de détails voir le site de l'Office fédéral de l'énergie.

<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=fr&msg-id=52243> (consulté le 25.04.2018)

⁵⁰ <http://www.vese.ch/fr/pvtarif-apps/> (consulté le 25.04.2018)

⁵¹ <http://www.vese.ch/fr/pvtarif-apps/> (consulté le 25.04.2018). Le tarif appliqué par les SIG aux particuliers s'élevait en 2018 à 22.23 cts/kWh (HT), tarif profil simple (Tarifs électricité SIG 2018, p. 9).

⁵² <https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/coût-dune-installation> (consulté le 23/04/2018)

⁵³ Swissolar, Electricité solaire, Branchen Faktenblatt, juillet 2017

⁵⁴ <https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/calculateur-solaire> (consulté le 23/04/2018)

⁵⁵ Renewables 2016. Global Status Report. REN 21 Renewable Energy Policy Network, Becquerel Institute, PVSEC 2016

recharge, gestion intelligente des consommations).⁵⁶ Cette transition vers des systèmes à grande échelle et l'autoconsommation dans les secteurs de l'habitation, des commerces et de l'industrie contribue à abaisser les coûts.

Les incertitudes autour des mécanismes de soutien, qui peuvent changer dans des délais relativement courts, peuvent constituer des freins à la mise en place d'installations photovoltaïques.

L'engouement pour le PV et particulièrement pour les petites installations photovoltaïques, qui ont bénéficié de forts soutiens financiers publics dans les années passées, a eu pour effet que beaucoup d'entreprises d'électricité, locales ou non, se sont improvisées spécialistes du solaire sans toutefois disposer de l'ensemble des compétences indispensables pour proposer aux clients la meilleure efficacité de production ni les meilleurs conseils en matière d'intégration esthétique. La mise en œuvre, en apparence simple, doit être réalisée par des entreprises aux références solides.

2.2.7 Facteurs sociaux favorables et défavorables

Relativement facile à comprendre du point de vue de son fonctionnement, le solaire photovoltaïque est devenu le *référentiel pédagogique* pour sensibiliser l'opinion publique aux enjeux de diversification de la production de l'énergie électrique et aussi de substitution à l'énergie nucléaire (effet Fukushima). Le passage à la technologie LED dans le domaine de l'éclairage et l'essor de la mobilité électrique (vélo, voiture) viennent renforcer cet intérêt croissant pour cette électricité d'origine renouvelable, où la recherche de nouveaux produits plus performants relègue au second plan quelques questions de fond, comme la raréfaction de certaines matières premières ou l'élimination des déchets.

Le solaire photovoltaïque suscite un grand nombre d'initiatives collaboratives, comme celles où des jeunes participent à la pose de capteurs photovoltaïques, par exemple sur le toit de l'école ou lors de camps d'été.⁵⁷ On voit aussi émerger différentes formes de financement solidaire d'installations photovoltaïques, à l'exemple de OptimaSolar.⁵⁸ Les collectivités locales peuvent appuyer ce type d'initiatives par la mise à disposition de surfaces de toiture, le développement de bourses solaires ou la diffusion d'informations grand public. Il en est de même pour ce qui concerne les initiatives d'achat groupé spécialement dans le cas de propriétaires de maisons individuelles à l'exemple du Groupe d'achat solaire Generoso.⁵⁹ Une autre forme de mobilisation en faveur de la promotion de l'énergie solaire sont les associations qui encouragent la production durable d'énergie par le biais de plateformes web régionales qui facilitent grandement le franchissement du premier pas, à l'instar de la Solarplatform du Seeland.⁶⁰

2.2.8 Technologies PV futures : orientations et enjeux

Le contexte du marché et la demande croissante d'électricité de sources renouvelables a fortement dynamisé la recherche et l'innovation dans le solaire photovoltaïque provoquant un très fort ralentissement de la recherche autour du solaire thermique. Appliquées au secteur de la construction, elles concernent en priorité les deux domaines porteurs suivants :

- l'amélioration du rendement des cellules PV conjointement à une réduction des coûts de fabrication,
- l'amélioration des solutions disponibles en matière de systèmes intégrés afin que les surfaces de captage soient de plus en plus en symbiose avec l'expression architecturale des bâtiments et des lieux.

L'intérêt premier du graphique suivant est celui de permettre de se rendre compte visuellement du dynamisme et de la progression de la recherche en matière de nouvelles technologies de cellules

⁵⁶ Solar Energy Report, avril 2014. Politecnico di Milano

⁵⁷ <https://www.greenpeace.ch/themen/jugendsolar/> (consulté le 25.04.2018) et ⁵⁷

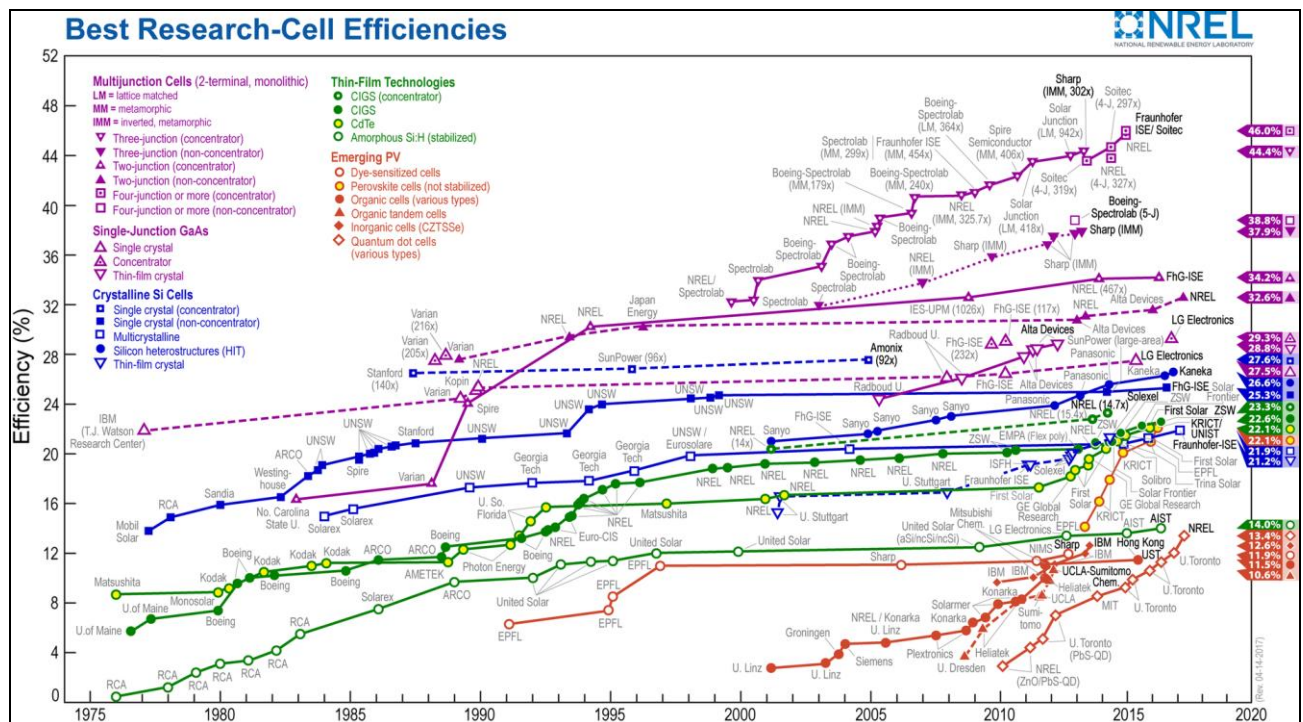
https://www.solaragentur.ch/sites/default/files/q-15-09-02_pfadi_und_heimverein_falkenstein_0.pdf (consulté le 25.04.2018)

⁵⁸ <https://www.optimasolar-fr.ch/informations/> (consulté le 25.04.2018). Voir 4.4.1.3

⁵⁹ https://www.solaragentur.ch/sites/default/files/q-14-10-03_regione_generoso_solpreiskatinst.pdf (consulté le 25.04.2018). Voir 4.4.1.3

⁶⁰ <http://www.solarplattformseeland.ch/fr/portrait/> (consulté le 25.04.2018)

photovoltaïques. Parmi les technologies émergentes (en rouge), on trouve les cellules à pérovskites, un minéral qui permet de remplacer le silicium et obtenir des coûts de production faibles. C'est la technologie solaire avec le développement le plus rapide de l'histoire (le rendement est passé de 3,8 % en 2009 à 22,1 % en 2016) et le csem⁶¹ occupe une position de leader dans ce domaine, à travers le projet CHEOPS. Il y a fort à parier qu'à ce rythme le prix de revient de l'électricité produite va fortement baisser pour se rapprocher de celui des combustibles fossiles, poussé par la perspective d'un marché colossal.



Évolution temporelle des rendements selon le NREL.⁶² En violet les technologies multi-jonction, en bleu le silicium cristallin, en vert les couches minces, en rouge les technologies émergentes.

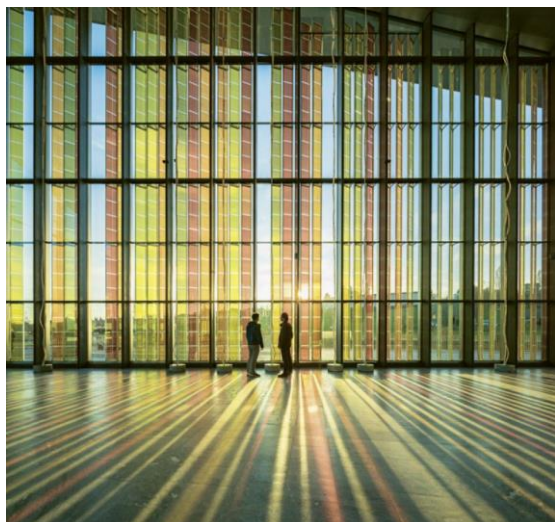
La recherche s'intéresse aussi à proposer des solutions qui répondent à des demandes du marché en lien avec les aspects esthétiques et d'intégration en relation avec les modes de construction en vigueur, comme par exemple la commercialisation récente de cellules solaires translucides à base de pigments photosensibles (dye-sensitized PV cell, DSC connues aussi sous le nom de son concepteur, le Suisse Michael Grätzel). Elles trouvent des applications à grande taille et offrent aux architectes la possibilité de combiner transparence, couleur et production d'électricité solaire à partir d'un élément intégré au design du projet, à l'exemple du Swiss Tech Convention Center⁶³ à Ecublens ou des passerelles à la place de la Navigation, à Lausanne.⁶⁴

⁶¹ <https://www.csem.ch/Page.aspx?pid=38873> (consulté le 27.04.2018)

⁶² National Renewable Energy Laboratory, Etats Unis. <http://www.nrel.gov/>

⁶³ <https://actu.epfl.ch/news/un-vitrage-photovoltaïque-première-mondiale-sur-le/> (consulté le 25.04.2018)

⁶⁴ <http://www.si-ren.ch/cellules-solaires-a-colorant-a-ouchy/> (consulté le 25.04.2018)



Swiss Tech Convention Center, Ecublens⁶⁵



Passerelles Pl. de la Navigation, Lausanne⁶⁶

Les aspects suivants sont au centre des intérêts des acteurs du monde de la construction :

- les modules et systèmes multifonctions, faciles à installer, où le dispositif solaire devient un constituant de l'enveloppe et est intégré au concept énergétique de l'ensemble du bâtiment,
- les systèmes constructifs modulaires et préfabriqués, permettant de réunir de façon optimale les modules PV intégrés avec la construction / sous-construction ,
- la normalisation au niveau des possibilités de raccordement des composants techniques et électriques.

Très souvent les industriels de produits de construction (exemple les façadiers, les spécialistes de la sous-construction, les fabricants de fenêtres, les serruriers) sont les moteurs de ces développements qui leur permettent d'être présents sur ce nouveau marché qu'est l'intégration systématique de l'énergie solaire dans les bâtiments, dont l'essor est soutenu par les évolutions de la politique énergétique (Stratégie énergétique 2050). En particulier, l'objectif stratégique Nearly Zero Energy Building (NZEB), qui vise à terme des nouveaux bâtiments à énergie quasi nulle, impose aux architectes de s'approprier les solutions à disposition, voire de réclamer des propositions plus innovantes pour pouvoir réaliser des projets de qualité.

En dehors du secteur de la construction proprement dit, la thématique du stockage de l'énergie solaire en général et du photovoltaïque en particulier fait l'objet de très nombreux projets de recherche au niveau international et national. En Suisse, dans le cadre des Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER), pôles de compétence interuniversitaires en recherche, c'est le pôle « stockage de chaleur et d'électricité »⁶⁷ qui travaille sur des solutions de stockage.

L'objectif du stockage est de pouvoir gérer le phénomène de l'intermittence spécifique à l'énergie solaire mais aussi celui de l'éolien et de l'hydraulique, notamment le décalage journalier entre pic de production et demande. Le principe du stockage permet aussi d'augmenter le facteur d'autoconsommation et donc la rentabilité de l'installation, pour autant que le système de stockage ne soit pas plus onéreux que la différence entre le coût de production de l'énergie solaire et la rétribution de l'injection.

Le stockage en batteries correspond à la pratique classique connue depuis très longtemps. Les recherches portent sur la conception de batteries à forte densité énergétique, avec de grandes capacités de stockage, peu coûteuses à la production, résistantes aux très nombreux cycles de charge/décharge, nécessitant peu ou pas de recourir à des matériaux rares ou impossibles à recycler. Ces nombreux aspects compliquent et retardent la mise au point de solutions viables. On met souvent en avant le concept qui consiste à utiliser la batterie de la voiture électrique privée comme élément tampon de stockage in/out sur un Smart Grid ; or la technologie de batterie en mesure de supporter une grande fréquence de charges/décharges sans

⁶⁵ © Richter Dahl Rocha & Associés architectes SA, Lausanne

⁶⁶ © SI-REN SA, Lausanne

⁶⁷ <http://www.sccer-hae.ch> (consulté le 25.04.2018)

drastiquement en limiter la durée de vie n'existe pas encore. Tesla fait la promotion du Powerwall⁶⁸, avec un module de stockage d'une puissance continue de 5 kW et d'une capacité de 13,5 kWh vendu autour de CHF 8'500.-, auxquels il faut rajouter environ CHF 12'000.- à 15'000.- pour l'installation solaire. D'une autre dimension, citons le projet en cours en partenariat entre Romande énergie, Leclanché et l'EPFL sur une batterie *Lithium-ion titanate* intégrée dans le réseau électrique.⁶⁹

Le Power to gas (P2G) est un procédé de stockage et valorisation de l'électricité excédentaire qui consiste en la conversion de l'électricité en gaz méthane à partir du principe d'électrolyse d'eau par de l'électricité. Le gaz produit est utilisé sur place ou injecté dans les réseaux existants (de distribution ou de transport de gaz naturel) permettant ainsi leur stockage, leur transport et leur valorisation par mélange avec le gaz naturel. Ce procédé a atteint un stade mûr de développement et des installations pilotes sont en cours de test, notamment en France.

Le stockage chimique consiste à utiliser les propriétés électrochimiques de certains matériaux qui peuvent emmagasiner l'énergie photonique du soleil dans une liaison chimique et la restituer sous forme de chaleur par l'ajout d'un matériaux catalyseur.⁷⁰ Au stade d'expérimentation en laboratoire, les recherches progressent. Le stockage d'énergie solaire sous forme d'hydrogène est une technique très prometteuse pour envisager l'utilisation systématique d'énergies renouvelables. Les panneaux solaires traditionnels peuvent en effet être utilisés pour générer un courant électrique capable de diviser les molécules d'eau en oxygène et hydrogène, ce dernier étant considéré comme une forme de combustible solaire. Les recherches en cours à l'EPFL ont donné des résultats très prometteurs au niveau d'un nouveau procédé très efficace de séparation de l'hydrogène.⁷¹

Les barrages de retenue, très nombreux en Suisse, constituent d'immenses capacités de stockage, le principe étant, à partir du réseau électrique interconnecté, d'utiliser l'équivalent d'énergie solaire injectée sur le réseau pour faire fonctionner des pompes qui relèvent l'eau jusqu'au bassin de retenue (principe du pompage/turbinage), ce qui permettrait d'éviter d'avoir recours à de l'énergie d'origine nucléaire ou des centrales à charbon. Le secteur suisse de l'électricité devrait s'intéresser à cette variante solaire du principe de pompage/turbinage avec un œil un peu plus averti, notamment en matière de bilan environnemental.

2.3 ALTERNATIVES AUX TECHNOLOGIES SOLAIRES

Dans le cas de périmètres qui ne sont pas propices à l'utilisation de l'énergie solaire active, d'autres formes d'exploitation d'énergies renouvelables ou de valorisation de ressources, telles que les rejets de chaleur, peuvent être envisagées en compensation.

Les sources énergétiques les plus facilement accessibles sont :

- la chaleur naturelle à basse température : géothermie (chaleur terrestre, nappes, cours d'eau, infrastructures urbaines – ex. tunnels), hydrothermie (chaleur des lacs et rivières) et l'aérothermie (chaleur de l'air),
- l'eau industrielle (réseaux urbains ad hoc),
- la chaleur perdue (issue de processus industriels, usines d'incinération, réseaux d'eaux usées, machines de froid, excédents de chaleur – ex. parking),
- la biomasse (bois énergie, biogaz, déchets agricoles).

La valorisation de toutes ces différentes formes d'énergie doit se faire par l'intermédiaire de processus de transformation nécessitant des infrastructures plus ou moins importantes selon les cas, avant de pouvoir être utilisés dans les bâtiments pour du chauffage et/ou de l'eau chaude sanitaire. Pour une grande partie

⁶⁸ https://www.tesla.com/fr_CH/powerwall (consulté le 26.04.2018)

⁶⁹ <https://www.romande-energie.ch/solution-inedite-pour-stocker-l-energie-solaire> (consulté le 26.04.2018)

⁷⁰ Exploring the potential of a hybrid device combining solar water heating and molecular solar thermal energy storage. Moth-Pulsen Karl & all. in *Energy & Environmental Science* 03/2017.

⁷¹ <https://actu.epfl.ch/news/vers-un-stockage-de-l-energie-solaire-plus-efficace/> (consulté le 26.04.2018)

des cas, c'est la technique de la pompe à chaleur (PAC) qui est mise en œuvre, elle-même nécessitant une énergie d'appoint pour pouvoir fonctionner, très souvent de l'électricité. Selon le projet, produire cette électricité avec de l'énergie solaire permet d'augmenter la part d'autoconsommation et d'améliorer la rentabilité économique et technique de l'ensemble du système énergétique.

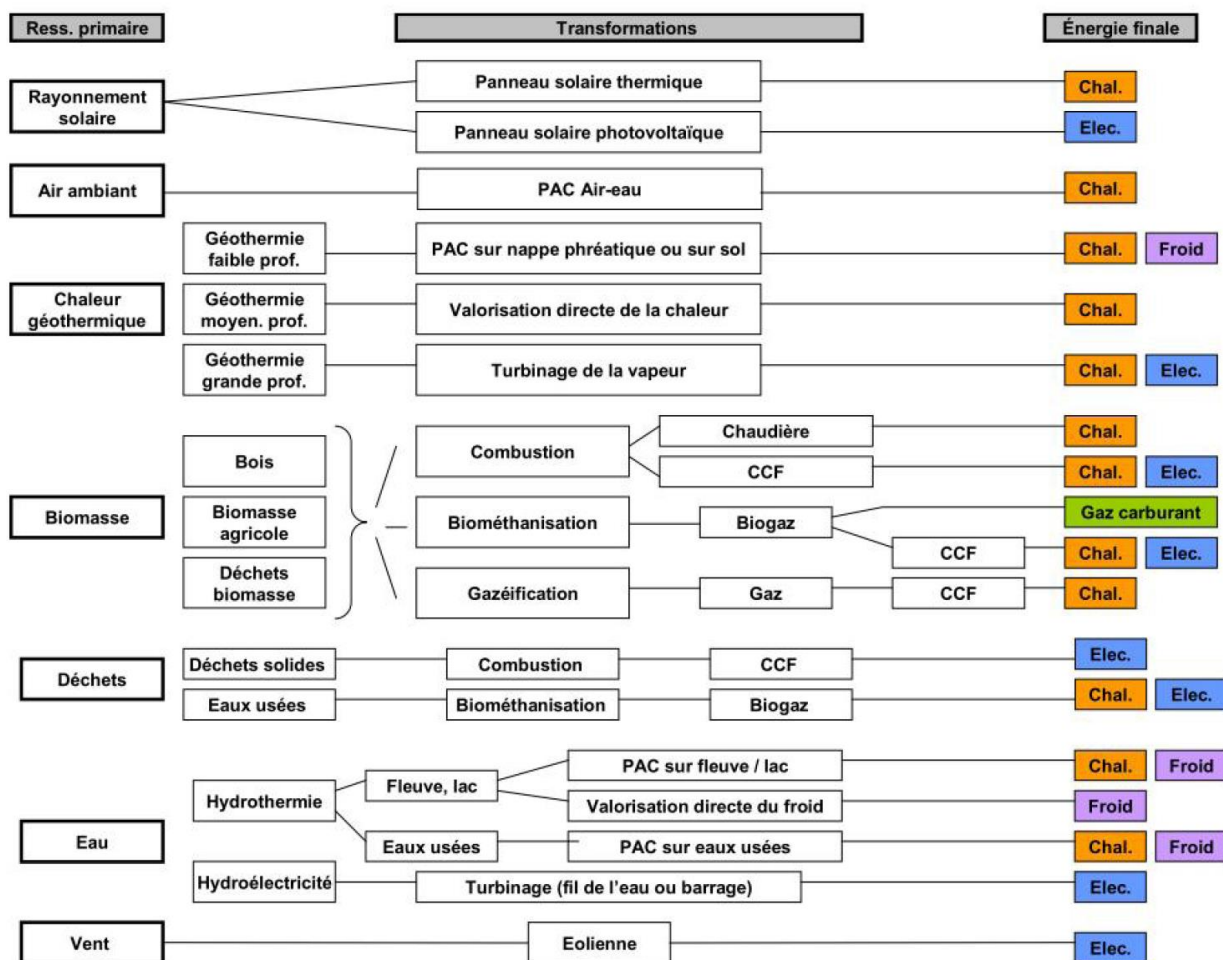
La géothermie à grande profondeur permet d'obtenir de l'eau chaude à température suffisamment élevée pour faire fonctionner une turbine à vapeur qui, couplée à une génératrice, produit de l'électricité.

La valorisation de la biomasse, par des procédés de gazéification ou de méthanisation, permet également de générer de la chaleur utilisable pour produire de l'électricité, par exemple par cogénération (couplage chaleur force).

Ce sont les conditions locales particulières qui déterminent en premier lieu l'éventail des possibilités envisageables. Par exemple le bois, une énergie renouvelable, ne peut pas être utilisé dans les zones où l'air est déjà particulièrement pollué par la présence excessive d'oxydes d'azote (NOx) et de particules fines. Pour ce qui concerne la géothermie, les forages dans le sol sont tributaires du lieu et des lois sur la protection des nappes souterraines. Il en est de même pour ce qui concerne l'exploitation de la chaleur des eaux des rivières et des lacs.

Tout comme les technologies solaires, la pertinence de la plupart de ces alternatives est d'autant plus grande si leur mise en œuvre est envisagée non seulement à l'échelle d'un bâtiment mais à l'échelle d'un îlot, d'un quartier, d'un territoire. Cette transition intellectuelle (passer d'une vision par objet à une vision territoriale) doit être développée et portée par les pouvoirs politiques cantonaux et communaux.

Le canton de Genève a par exemple introduit dans sa loi sur l'énergie l'obligation d'élaborer des concepts énergétiques territoriaux (CET) qui doivent permettre l'abandon des énergies fossiles et l'émergence d'infrastructures énergétiques performantes basées sur une analyse mutualisée des flux énergétiques. Ces concepts viennent s'inscrire dans les plans directeurs communaux, dans les plans localisés de quartier (PLQ) ainsi que dans le développement des zones industrielles et zones agricoles. (→ chap. 8.3)



Exemples de filières énergétiques renouvelables / CCF = couplage chaleur-force⁷²

2.4 INTÉGRATION URBAINE ET ARCHITECTURALE DES INSTALLATIONS SOLAIRES

Pour une culture du bâti de qualité dans les villes, villages et hameaux de Suisse, il faut veiller à une bonne intégration urbaine et architecturale des installations solaires, une question qui se pose de façon très différente dans un quartier en projet ou dans un quartier existant.

Dans un quartier en projet, les technologies solaires (et de manière générale les technologies énergétiques) peuvent être prises facilement en considération dès la conception urbanistique et architecturale, pour être mises en œuvre de manière efficiente et visuellement satisfaisante, de façon à créer un environnement bâti contemporain témoignant d'une culture du bâti de qualité.

Dans un cadre bâti existant, l'intégration des capteurs solaires peuvent constituer un défi majeur. Ces installations techniques apportent des matières et des géométries nouvelles aux bâtiments, modifiant leur expression architecturale et leur substance. Elles introduisent des formes et des matériaux inédits, qui peuvent transformer de façon profonde le paysage historique des villes, villages et hameaux et affecter l'identité et la qualité de périmètres construits et de paysages entiers de Suisse.

La matérialité des panneaux solaires majoritairement mis en œuvre – surfaces vitrées à fond noir pour le TH, à fond brillant et bleuté pour le PV, tous deux souvent insérés dans des cadres en aluminium réfléchissants – leur procure une visibilité qui peut être gênante. Les matériaux remplaçant ou se superposant à la couverture d'origine (en tuiles, ardoises, etc. et marquée par la patine de l'âge) et le mode de pose (géométries irrégulières, matériaux et couleurs très différents, reflets des surfaces vitrées et en

⁷² Étude énergétique stratégique Carouge-Arve, 02.2012, Amstein +Walter ingénieurs

métal) peuvent constituer des éléments fortement perturbateurs et porter atteinte à la culture du bâti. Il faut toutefois souligner que le marché propose des solutions de plus en plus perfectionnées pour répondre à des critères d'intégration plus satisfaisants, à un coût qui est toutefois encore supérieur aux dispositifs les plus facilement disponibles.

2.4.1 Facteurs urbanistiques favorables et défavorables

À l'échelle urbaine, la morphologie et la densité du tissu bâti, les distances entre constructions, la dimension et le profil des rues, les vues, l'irradiation, constituent autant de facteurs susceptibles d'influencer la production solaire. En règle générale, dans un tissu bâti existant, les installations solaires seront plus fréquemment et plus facilement posées en toiture, pour différentes raisons : pas d'autorisation de construire requise pour la plus grande partie des bâtiments si les règles en vigueur sont respectées, intégration plus facile dans une toiture que dans une façade.

Les zones industrielles et artisanales, qui présentent souvent de grandes surfaces sans ouverture, permettent une intégration plus simple de systèmes solaires de façade. Dans les périmètres en mutation, la valorisation du potentiel solaire en façade doit faire l'objet d'un projet architectural particulier et obtenir une autorisation de construire.

L'orientation et la géométrie des bâtiments ont une incidence sur la performance d'une installation solaire, un facteur à relativiser dans le cas des toitures plates, où les installations peuvent souvent être posées selon la meilleure orientation, indépendamment de la position du bâtiment.

La densité, faible ou élevée, et le développement horizontal ou vertical du tissu bâti définissent l'espace disponible et la technologie à mettre en œuvre, alors que la distance entre les bâtiments, leur hauteur, les porte-à-faux, les découpes et les redents, influencent l'intégrabilité architecturale et le rendement.

Les formes bâties fermées, de type cluster ou îlot, avec des constructions hétérogènes au niveau des façades et des toitures, présentent des orientations doubles, tant favorables que défavorables. Les ombres portées par la végétation et l'arborisation proches ont également une incidence.

Avec de grandes surfaces de toiture et de façade, les centres commerciaux périphériques et les zones industrielles et artisanales offrent un potentiel important et favorable à l'intégration de capteurs présentant moins de problèmes d'intégration architecturale.

En dehors des surfaces liées aux bâtiments, existants ou projetées, l'espace public présente des opportunités pour la valorisation du potentiel solaire, notamment sur le mobilier urbain (éclairage, édicules de service, abribus, abris pour vélos, etc.). La mise en valeur de ce potentiel est particulièrement intéressant dans les périmètres en mutation, où il peut faire l'objet d'un projet d'ensemble cohérent. Ces considérations concernent également les espaces non bâtis privés, tels les parkings de centres commerciaux.

Enfin, la réalisation de quartiers nouveaux offre l'opportunité de concevoir une intégration de qualité des technologies solaire dès les premières phases de planification.

2.4.2 Facteurs favorables et défavorables du point de vue du patrimoine

Du point de vue du patrimoine, les facteurs favorables ou défavorables à la pose d'installations solaires sont à mettre en relation avec la qualité du bâtiment concerné, l'impact de la pose sur celui-ci, sa possible atteinte et la visibilité de l'intervention.

Parmi les facteurs favorables du point de vue du patrimoine, qui rendent plus faciles une bonne intégration des capteurs solaires, citons :

- une grande toiture, plate ou à faible pente, non découpée, sans chiens-assis, lucarnes, cheminées etc.,
- une couverture dont la matérialité ne constitue pas un enjeu majeur,
- une visibilité limitée de l'installation depuis l'espace public.

Dans le cas d'un bâtiment ou d'un ensemble présentant des enjeux patrimoniaux, la présence d'une construction secondaire (dépendance, garage, etc.) ou, cas échéant, d'une partie de toit secondaire ou moins visible peut constituer un facteur favorable facilitant une intégration de qualité.

Les facteurs défavorables sont tous ceux qui présentent des contraintes rendant difficile, voire impossible, une intégration de qualité :

- une toiture de petite dimension, très articulée et architecturalement expressive, avec chiens-assis, lucarnes, cheminées etc.,
- un bâtiment de qualité architecturale et/ou patrimoniale élevée,
- une couverture dont la matérialité est importante, voire essentielle,
- une visibilité forte de l'installation depuis l'espace public,
- un site avec un paysage des toitures remarquable.

2.4.3 Modes d'intervention

La pose d'installations solaires doit être l'occasion de mener une réflexion sur la configuration de cette cinquième façade qu'est la toiture. À l'échelle du bâtiment, la confrontation entre les contraintes du solaire et celles de l'architecture est directe. Orientation, géométrie et hauteur des constructions, rapport entre ouvertures et murs (opacité et transparence), forme de la toiture, type de couverture ou d'enveloppe des façades (légère, lourde, isolée, etc.), matériaux, sont autant de critères qui déterminent la production potentielle d'énergie solaire, l'opportunité d'une installation et sa configuration. Intégration architecturale et esthétique ne signifie donc pas forcément toujours mimétisme, mais bien plus une relation raisonnée avec l'architecture du bâtiment sur lequel elle trouve place et son contexte.

La voie préconisée pour les installations solaires dans un tissu bâti est celle de l'insertion des panneaux dans la toiture (comme en façade), comme le meilleur moyen de préserver les qualités intrinsèques et reconnues d'un site, d'un ensemble bâti ou d'un bâtiment. Pour préserver une culture du bâti de qualité, il faut partir du principe que c'est le site, l'ensemble bâti ou le bâtiment, et non le confort de pose, qui commandent la façon dont on installe les capteurs en termes d'orientation, de géométrie et de couleur ainsi que le niveau d'intégration architecturale et esthétique requis.

Les interventions sur les constructions neuves offrent la possibilité d'intégrer les installations solaires dès le début du projet architectural, avec une productivité optimale. Dans la perspective de maintenir et d'améliorer la qualité du site, des projets urbanistiques et architecturaux bien réfléchis présentent l'opportunité de montrer diverses solutions techniques qui visent la meilleure intégration.

2.4.3.1 Toitures en pente

Du point de vue architectural, les solutions adoptées pour les installations solaires sur des toits en pente dépendent largement de la configuration de la couverture, du type de revêtement, de la couleur, de la présence d'éléments et de la nature de ces derniers. Plus une toiture est une composante importante de l'architecture du bâtiment, plus l'ajout de panneaux solaires s'avérera complexe et devra faire l'objet d'un projet particulier. Dans tous les cas, la visibilité constitue un facteur à prendre en considération.

Les toitures en pente peuvent recevoir une installation rapportée, posée sur la couverture existante, ou un revêtement intégré, discontinu (couvrant partiellement la surface du pan de toiture) ou continu (couvrant totalement la surface du pan de toiture). Les panneaux intégrés dans le pan de toiture remplacent la couverture originale. La solution la plus économique actuellement est celle qui consiste à poser les panneaux sur la couverture existante, l'épaisseur de l'installation variant entre 15 et 20 cm. Dans certains cas, les modules sont installés sur un support incliné pour obtenir une meilleure orientation, un choix qui perturbe la lecture de la toiture. Les systèmes mettant en œuvre des tuiles solaires, de petite ou de grande taille, utilisent la même structure portante qu'une toiture en tuiles conventionnelle.

Dans le cas de toitures en pente, il peut arriver que les pans n'aient pas l'angle optimal de pose prévu pour le champ de capteurs ; dans une certaine mesure et dans les limites dimensionnelles de la toiture, cette perte de productivité peut être compensée par une augmentation de la surface de capteurs.

Les toitures en pente se caractérisent souvent par la présence de lucarnes, chien-assis, pare-neige, ventilations primaires, cheminées, discontinuités constructives, qui empêchent d'obtenir des surfaces libres continues facilitant une pose des capteurs « géométriquement » harmonieuse à l'œil et architecturalement bien intégrée. Pour les capteurs thermiques cela est encore plus fâcheux dans la mesure où ils sont reliés entre eux par des tuyaux, ce qui complique la mise en œuvre.



Système de pose rapportée sur support incliné ⁷³

L'installation thermique ou/et photovoltaïque est posée sur un support sur le pan de toiture



Système de pose rapportée ⁷⁴

L'installation thermique ou/et photovoltaïque est posée sur un support dans le plan de toiture

⁷³ www.lepanneausolaire.net/integration-surimposition-capteurs-toiture.php

⁷⁴ www.camif-habitat.fr/renovation/energetique/energie-solaire/



Système de pose intégrée⁷⁵

L'installation solaire constitue la couverture de la toiture.

2.4.3.2 Toitures plates

Les toitures plates se prêtent généralement à l'accueil de systèmes solaires, pour autant qu'elles ne soient pas affectées à d'autres usages (toiture terrasse) ou que leur encombrement par des dispositifs techniques (ventilation, etc.) ne limite pas outre mesure la surface disponible. Les installations solaires peuvent être posées à plat ou, le plus souvent, montées sur un support incliné, pour une orientation optimale.

Dans le cas d'une toiture plate pas trop encombrée, il est en principe plus facile d'optimiser la mise en place des panneaux pour une productivité optimale (orientation et inclinaison). De plus, une pose en retrait des bords du toit ou la présence d'un acrotère permet plus aisément de limiter la visibilité de l'installation depuis la rue.

Les toitures plates ou incurvées peuvent accueillir soit des plaques ou dalles solaires ou des collecteurs tubulaires, superposés à la couverture du bâtiment, soit des dispositifs souples qui peuvent se fixer sur les membranes d'imperméabilisation ou sur des panneaux métalliques, ou encore des absorbeurs qui forment la couverture.

Dans le cas de couvertures vitrées semi-transparentes, le vitrage peut être remplacé par des modules solaires, dont on peut choisir le degré de transparence pour un meilleur contrôle de l'ensoleillement et de la lumière; ce dispositif est utilisé pour les lucarnes et vitrages dans les toits plats, dans les toitures en pente et parfois aussi dans la partie supérieure de la façade.

Dans les systèmes de couverture intégrés, l'élément solaire (PV ou TH) remplace le matériau de couverture (systèmes pour toitures chaudes ou toitures ventilées froides), avec des solutions opaques ou transparentes.

La visibilité de l'installation dépend largement de la morphologie du tissu bâti ainsi que de la topographie. La hauteur du bâtiment entre également en compte, avec une visibilité depuis des bâtiments voisins de plus haut gabarit ou depuis les hauteurs environnantes.

⁷⁵ Immeuble d'habitation, 3672 Oberdiessbach (BE). Source: Prix Solaire Suisse 2014



Système de pose rapportée⁷⁶

L'installation thermique ou/et photovoltaïque est posée sur le toit, dans le respect de critères de pose qui préservent par exemple une distance du bord de la toiture (> 50 cm), une hauteur (< 120 cm) ou qui créent un motif cohérent en cas de vue plongeante sur la toiture.



Système de pose intégré⁷⁷

L'installation photovoltaïque est composée de panneaux souples intégrés dans le plan de toiture.

2.4.3.3 Systèmes de façade

Sur un bâtiment, les panneaux solaires – thermiques ou photovoltaïques – sont le plus souvent installés en toiture. Les dispositifs en façade commencent à se diffuser, surtout pour les constructions neuves ou dans le cadre d'une rénovation.

Dans un tissu bâti existant, la pose d'installations solaires en façade s'avère plus difficile à réussir de façon convaincante, tant du point de vue architectural que de celui de la performance énergétique. Une telle pose doit être exclue sur des façades de facture traditionnelle (maçonnerie de pierre ou de briques, visible ou crépie, présentant ou non des éléments décoratifs tels que cordons), où elle porte atteinte à la substance bâtie et constitue un élément fortement perturbateur. Elle peut entrer en considération pour

⁷⁶ Bâtiment Cavigelli Ingenieure, 7130 Ilanz (GR). Source: Prix Solaire Suisse 2015

⁷⁷ Salle communale de Saint-Héand (France). <http://www.saint-heand.fr/Le-generateur-photovoltaïque-de-la.html>

des bâtiments de facture moderne, avec des revêtements de façade rapportés, principalement dans le cadre d'un assainissement thermique (« rhabillage »), sous réserve de contraintes particulières. La visibilité de l'intervention est d'autant plus grande que la façade est bien exposée. Du point de vue architectural, cela correspond à une redéfinition stylistique du bâtiment concerné. Un « rhabillage », loin d'être anodin, doit être exceptionnel et faire l'objet d'un projet architectural.

Dans les systèmes de façade, l'élément TH ou PV peut être fixé sur la façade existante ou complètement intégré. Dans ce cas, il remplace le matériau de revêtement des façades (systèmes pour façades froides ou façades continues, chaudes), avec des solutions opaques ou transparentes.

Les solutions techniques pour façade froide opaque sont soit un revêtement superposé, réversible, installé de préférence sur un bâtiment existant, soit une façade ventilée, non réversible, sur des édifices neufs ou à rénover, qui assure toutes les fonctions de protection de l'enveloppe.

Dans le cas des façades continues chaudes et semi-transparentes, le dispositif solaire peut s'intégrer à un élément semi-transparent (vitrage solaire) ou opaque avec un panneau de revêtement isolant.

Relevons encore le cas particulier des façades innovantes, interactives ou animées (ou "smart media façade"), qui font usage des technologies solaires, digitales et médiatiques interactives.



Système de façade⁷⁸

Ces deux bâtiments à usage résidentiel et commercial à Zurich possèdent des capteurs solaires thermiques intégrés dans la façade sud-ouest.

⁷⁸ Immeuble d'habitation et de bureaux à Zurich, arch. Beat Kämpfen. Source : Prix solaire suisse 2013



Système de façade⁷⁹

Ce bâtiment résidentiel à Zurich propose une solution innovante avec l'installation en façade de modules photovoltaïques en silicium amorphe avec une finition mate.

2.4.3.4 Systèmes additionnels

Dans les systèmes additionnels et préfabriqués pour façade et toit, le module solaire remplace un élément constructif fonctionnel généralement placé dans des éléments accessoires extérieurs à l'enveloppe. Cette catégorie comprend notamment les dispositifs de protection solaire et les dispositifs intégrés aux garde-corps des balcons. Elle inclut les systèmes préfabriqués, qui consistent en un élément unique intégrant plusieurs fonctions.

Des systèmes solaires préfabriqués pour toits et façades (éléments monobloc) peuvent assumer des fonctions supplémentaires, thermiques, acoustiques ou d'installations pour le bâtiment.



Système additionnel⁸⁰

Dans le bâtiment résidentiel Sunny Woods à Zurich-Höngg, qui a obtenu le Prix solaire européen 2002, les collecteurs tubulaires sous vide remplacent la barrière du balcon.

⁷⁹Rénovation immeuble d'habitation à Zurich, arch. Viridén + Partner AG. Source : Prix solaire suisse 2017

⁸⁰ Source: bipv.ch



Système additionnel⁸¹

Dans cet immeuble résidentiel, boulevard de la Chapelle à Paris (FR), le système solaire thermique intégré dans la façade contribue à la protection solaire.⁸²

⁸¹ Source: bipv.ch

⁸² Source: bieberusa.com

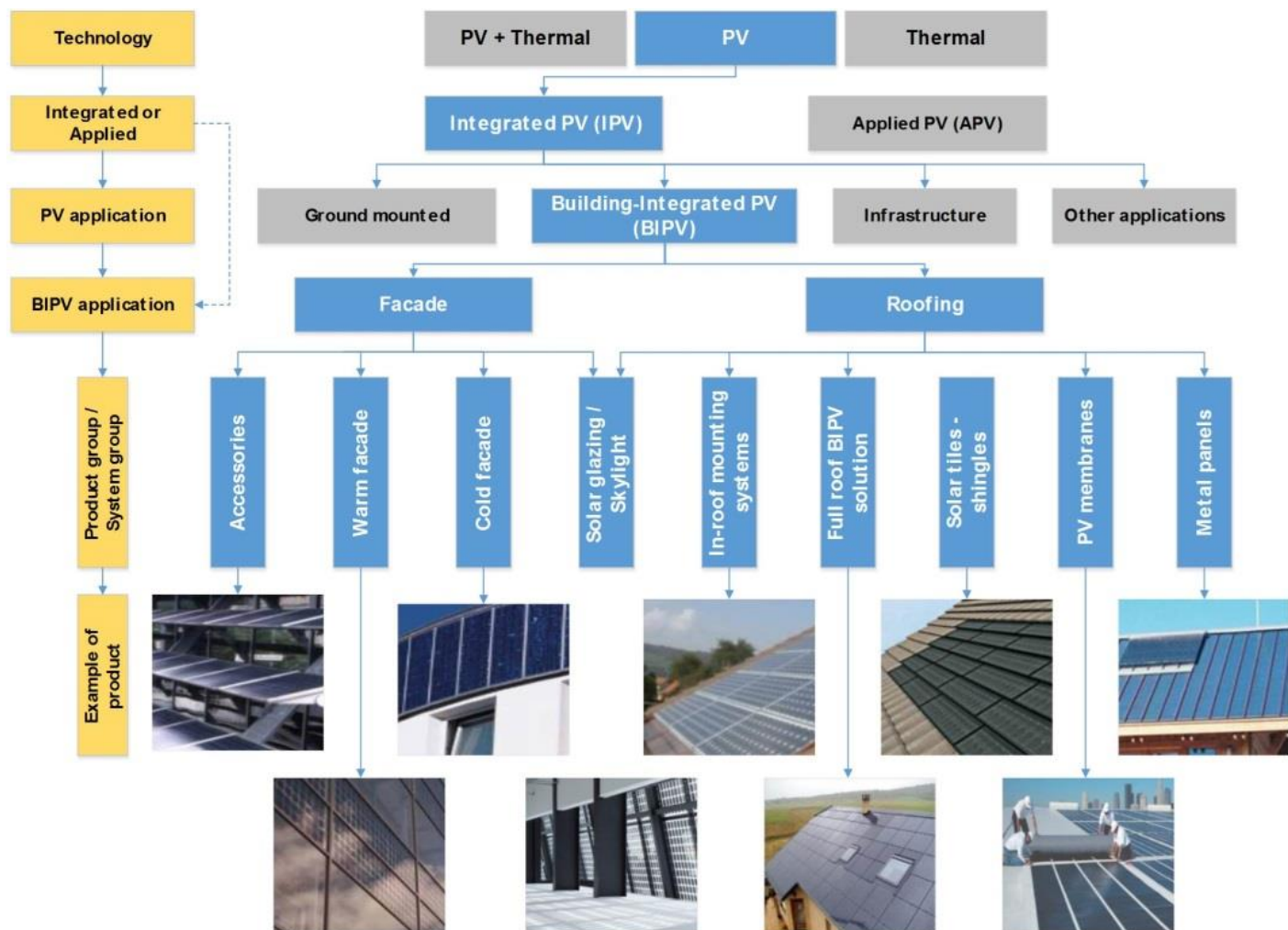


Tableau synoptique des paramètres et critères de classification des technologies solaires, à l'exemple du photovoltaïque⁸³
 Cette grille de lecture fait le point sur les différents modes d'intervention et les technologies existantes, en distinguant entre les systèmes de façade, les systèmes de couverture (toit) et les systèmes additionnels et préfabriqués.⁸⁴

2.4.4 Modes d'intervention dans l'espace public

À l'échelle urbaine, des modules solaires peuvent être intégrés à des éléments d'éclairage urbain, au mobilier urbain, à des barrières anti-bruit ou phono-absorbantes.



Garde-corps photovoltaïques⁸⁵



Lampadaire solaire⁸⁶



Abribus solaire⁸⁷

⁸³ Source: bipv.ch

⁸⁴ <http://www.bipv.ch/index.php/en/>. Le Swiss BIPV Competence Center de la Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) gère depuis plusieurs années une base de données en ligne où sont consignés les différents produits photovoltaïques disponibles sur le marché.

⁸⁵ © SI-REN SA, Lausanne

⁸⁶ Image : https://fr.wikipedia.org/wiki/Lampadaire_solaire

2.5 DIRECTIVES FÉDÉRALES ET CANTONALES POUR LA POSE DE PANNEAUX SOLAIRES

2.5.1.1 À l'échelle du bâtiment

Au niveau fédéral, l'article 18a de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT) stipule dans son alinéa 1 que, dans les zones à bâtir et les zones agricoles, les installations solaires suffisamment adaptées aux toits ne nécessitent en règle générale pas d'autorisation de construire, mais doivent seulement être annoncées aux autorités compétentes. L'article 32a, alinéa 1 de l'Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) précise les conditions à réunir pour que les installations solaires soient considérées comme suffisamment adaptées aux toits. Ces conditions sont réunies pour les installations solaires si:

- a) elles ne dépassent pas les pans du toit perpendiculairement de plus de 20 cm,
- b) elles ne dépassent pas les pans du toit, vu de face et du dessus,
- c) elles sont peu réfléchissantes selon l'état des connaissances techniques,
- d) elles constituent une surface d'un seul tenant.

Ces dispositions légales fédérales constituent la règle de base – a minima – pour la pose d'installations solaires sur des bâtiments. Cantons et communes peuvent édicter des directives spécifiques.

2.5.1.2 À l'échelle d'un périmètre

Ces règles ne s'appliquent toutefois qu'à des bâtiments individuels, plus rarement à des ensembles, et ne prennent pas en considération l'échelle urbaine, ni les conséquences d'une multiplication des installations solaires dans un tissu bâti existant. Si l'attention se concentre uniquement sur le bâtiment individuel, il y a danger de perdre de vue le site, le quartier et le tissu bâti dans son ensemble, qui peuvent présenter d'autres besoins et d'autres enjeux tant énergétiques qu'esthétiques.

La préservation du patrimoine en particulier, au sens des dispositions de la LAT et de l'OAT, impliquent de définir les notions d'intégration urbanistique, architecturale et paysagère, et donc de disposer d'une vision globale pour le solaire qui dépasse le bâtiment individuel.

La loi fédérale donne aux cantons et, par leur intermédiaire, aux communes la possibilité de planifier les interventions dans le domaine du solaire, avec des dispositions plus libérales ou plus restrictives. L'alinéa 2 de l'article 18a de la LAT stipule ainsi que le droit cantonal peut :

- a) désigner des types déterminés de zones à bâtir où l'aspect esthétique est mineur, dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation,
- b) prévoir une obligation d'autorisation dans des types précisément définis de zones à protéger.⁸⁸

Cette disposition ouvre une marge de manœuvre à une échelle territoriale, en accord avec la préservation d'une culture du bâti de haute qualité qui dépasse nécessairement l'échelle du bâtiment individuel. Cantons et communes disposent de larges compétences en matière d'énergie, d'aménagement, de culture et de protection du patrimoine qui leur permettent de prendre les mesures adéquates pour favoriser la production d'énergie solaire avec des objectifs élevés pour la culture du bâti.

Le canton de Berne – par exemple – a ainsi déterminé que « les communes sont [...] habilitées à édicter des prescriptions pour les projets d'installations de production d'énergies renouvelables non soumis à l'octroi d'un permis de construire ou à interdire exceptionnellement de telles installations dans des périmètres

⁸⁷ Image : solairebox.com

⁸⁸ LAT art. 18a alinéa 2

concernés par la protection des sites et du paysage ou dans les plans de quartier, par exemple dans la vieille ville de Berne (art. 69, al. 3 LC et art. 17 LCEn⁵). »⁸⁹

2.5.2 Enjeux patrimoniaux et prescriptions légales

L'alinéa 3 de l'article 18a LAT énonce que

« les installations solaires sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale sont toujours soumises à une autorisation de construire. Elles ne doivent pas porter d'atteinte majeure à ces biens ou sites. »⁹⁰

La notion d'« atteinte majeure » d'un bien culturel d'importance cantonale ou nationale par une installation solaire doit être mise en regard de la réglementation de la Loi fédérale de protection de la nature et du paysage (LPN) : il y a atteinte majeure

« si l'installation solaire représente une atteinte grave à un élément central du bien à protéger en raison des circonstances particulières ou qui compromettrait les buts visés par la protection du bien en question. »⁹¹

On dispose aujourd'hui de plusieurs arrêts du Tribunal fédéral qui précisent cette notion.⁹² Le Tribunal fédéral a considéré que les installations solaires ne doivent pas modifier le bâtiment de façon à ce que la protection du bien (bâtiment ou ensemble plus grand) n'est plus garantie, les critères d'évaluation étant les objectifs de protection fixés pour le monument ou ensemble historique concerné.

L'article 32b de l'OAT indique quels sont les biens culturels qui sont considérés d'importance cantonale ou nationale au sens de l'article 18a, alinéa 3 de la LAT. Les cantons ont la possibilité de désigner d'autres objets ou sites.⁹³

La présence d'enjeux patrimoniaux ne rend pas impossible une installation, mais elle demande un projet soigné et une intégration architecturale de qualité supérieure. Le droit cantonal étant déterminant en la matière, il est recommandé de prendre contact suffisamment tôt avec les services cantonaux de conservation du patrimoine afin de discuter du projet d'installation. Ces services disposent de l'expertise nécessaire pour offrir des conseils et des aides pour une réussite du projet. Parfois il ne s'agit que de détails à ajuster, d'autre fois l'effort d'intégration est plus important et complexe.

La planification solaire globale à l'échelle d'une commune doit permettre de concilier les enjeux liés à la stratégie énergétique et les enjeux relevant de la culture du bâti. Le chapitre suivant propose une méthodologie pour la mise en place d'une telle planification, qui valorise le potentiel solaire dans les périmètres les mieux adaptés tout en maintenant une culture du bâti de qualité.

⁸⁹ Directives – Installations de production d'énergies renouvelables non soumises au régime du permis de construire. Conseil-exécutif du canton de Berne, janvier 2015, p. 8

⁹⁰ LAT art. 18a alinéa 3

⁹¹ Suisse énergie, *Guide pratique des installations solaires (version longue)*, 2^e édition, juillet 2017, p.23

⁹² Ibid. L'annexe 3 du *Guide pratique de Suisse énergie* présente des extraits de quatre arrêts du Tribunal fédéral rendus sur la base de la version en vigueur de l'art. 18a LAT (Arrêt du Tribunal fédéral 1C_311/2012 du 28 août 2013 ; Arrêt du Tribunal fédéral 1C_345/2014 du 17 juin 2015 ; Arrêts du TF 1C_179/2015 et 180/2015 du 11 mai 2016 ; Arrêt du Tribunal fédéral 1C_26/2016 du 16 novembre 2016). L'annexe 4 de ce Guide présente un aperçu de la jurisprudence cantonale dans l'application du même article.

⁹³ Cf. chapitre 3, 3.1.1 et 3.24

3. LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE AU SERVICE DE LA CULTURE DU BÂTI DE QUALITÉ

À travers la mise en place d'une planification solaire globale, la présente étude se donne pour objectif de permettre une intégration optimale des installations solaires dans le tissu bâti existant et futur, qui préserve et crée une culture du bâti de qualité. La définition et la compréhension du concept de « culture du bâti » sous-jacente à cette étude est conforme à celle présentée par l'Office fédéral de la culture (OFC) sur son site web et dans la « Déclaration de Davos 2018 » :

« Constitutive de l'identité et de la diversité culturelle, la culture du bâti englobe toutes les activités humaines qui transforment notre espace de vie. À la différence de l'art de la construction, elle appréhende l'environnement bâti dans sa globalité et comprend aussi bien l'architecture et la conception des bâtiments et des ouvrages de génie civil que l'urbanisation et l'aménagement du territoire et du paysage. Tout aménagement futur de notre environnement ne peut que se référer au tissu bâti existant. Un aménagement réfléchi, concerté et de qualité de tous les témoins de notre environnement construit est l'idéal auquel tend la culture du bâti.

La culture du bâti s'articule autour des trois postulats suivants :

1. La conservation du patrimoine bâti historique et la création contemporaine ne sont pas dissociables.
2. La culture du bâti est l'expression de l'ensemble des activités ayant des répercussions sur l'environnement, elle s'intéresse aussi bien au détail artisanal qu'à la planification et à la réalisation de grandes infrastructures.
3. La culture du bâti ne concerne pas que les aménagements existants mais prend également en compte les processus de planification et de conception. »⁹⁴

La vision d'une culture du bâti de qualité implique une conception réfléchie et concertée des activités de construction et d'aménagement du paysage, une approche qui accorde une place centrale aux valeurs culturelles. Pour ce qui concerne plus spécifiquement les technologies solaires, une conception réfléchie et concertée de leur mise en œuvre dans un environnement bâti signifie qu'il faut dépasser l'échelle du bâtiment individuel pour considérer le contexte dans lequel ce bâtiment s'inscrit.

Par son approche territoriale, la planification solaire globale permet à une commune de produire de l'énergie solaire par le déploiement judicieux et raisonné des installations solaires, dans le respect de ses caractéristiques urbaines, architecturales et paysagères et de ses enjeux patrimoniaux. La planification solaire globale doit également s'efforcer de promouvoir des solutions esthétiquement convaincantes dans les réalisations futures et les quartiers en projet, pour contribuer à une culture du bâti de qualité. En encourageant les démarches collectives, moins coûteuses et plus performantes en termes de potentiel, la planification solaire globale permet de dépasser les démarches individuelles, dont la multiplication est susceptible de porter atteinte à l'environnement bâti.

La planification solaire globale d'une commune s'organise en quatre étapes consécutives :

La première étape (→ chapitre 3.1) est celle de la définition de périmètres cohérents du point de vue urbanistique, afin de pouvoir préciser le rôle des différentes parties du territoire de la commune dans une planification globale. Elle distingue en particulier

- les périmètres stables et
- les périmètres en mutation.

⁹⁴ Site web OFC « Culture contemporaine du bâti » : <https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/culture-contemporaine-du-bati.html>. « Déclaration de Davos 2018 » : <https://davosdeclaration2018.ch/>

La deuxième étape (→ chapitre 3.2) relève de la culture du bâti et permet d'évaluer la capacité de chacun des périmètres à accueillir des installations solaires sans préjudice pour la culture du bâti (adaptabilité). Cette évaluation se fait sur la base d'une analyse fine des caractéristiques urbaines et des qualités architecturales de chaque périmètre, d'une part, et de l'identification des enjeux patrimoniaux présents, d'autre part. Elle permet une classification en

- périmètres non adaptés,
- périmètres adaptés sous conditions,
- périmètres adaptés,
- périmètres très adaptés.

à la pose d'installations thermiques et / ou photovoltaïques.

La troisième étape (→ chapitre 3.3) concerne le potentiel solaire de chaque périmètre. Elle fait le point sur l'irradiation et évalue le potentiel solaire mobilisable (thermique et photovoltaïque) dans chaque périmètre. Elle aboutit à une distinction en

- périmètres à fort potentiel solaire,
- périmètres à potentiel moyen,
- périmètres à faible potentiel.

La quatrième étape (→ chapitre 3.4) définit le « statut » de chaque périmètre dans la planification solaire globale, les classant selon leur priorité pour la valorisation de l'énergie solaire en fonction de l'indice de disponibilité des toitures, de leur potentiel énergétique et de la couverture des besoins ainsi que de leur adaptabilité à la pose d'installations solaires et des enjeux patrimoniaux présents:

- priorité élevée***
- priorité moyenne**
- priorité faible*
- non prioritaire.

3.1 DÉFINITION DE PÉRIMÈTRES

La première étape de la planification solaire globale consiste à découper le territoire communal en périmètres les plus cohérents possibles. Ce découpage se fait selon des clés de lecture complémentaires, articulant l'histoire de l'urbanisation de la commune avec les règles d'aménagement en vigueur. Il met également en évidence les projets de transformation majeurs.

Les périmètres correspondent souvent à des unités connues, tels que quartiers ou secteurs statistiques. Il convient donc en premier lieu de vérifier dans quelle mesure les découpages usuellement utilisés par la commune sont pertinents pour l'étude ou s'il faut les adapter.

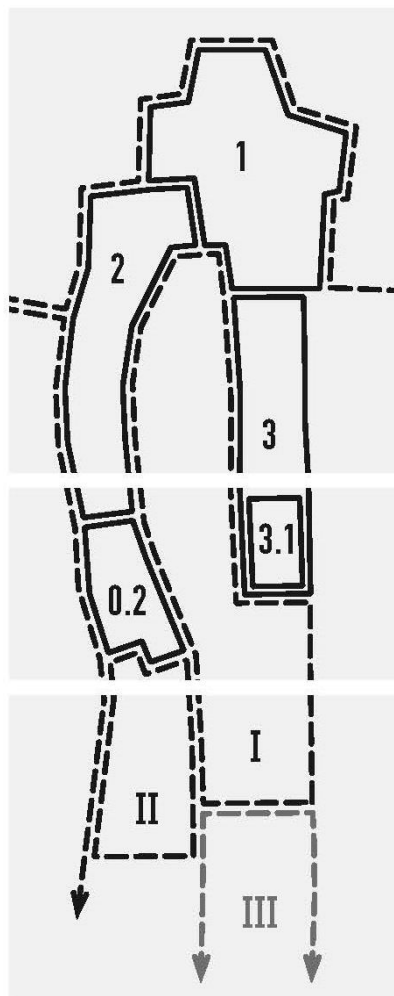
3.1.1 Mode d'urbanisation et règles d'aménagement

Le processus historique de formation urbaine de la commune permet de mettre en évidence des entités distinctes, qui ne sont pas nécessairement homogènes du point de vue morphologique. À cet égard, *l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS*,⁹⁵ instrument de connaissance et d'aide à la planification à l'échelle de l'ensemble de la Suisse, offre un outil unique pour aborder ce découpage.

⁹⁵ www.isos.ch

Aujourd'hui unique inventaire des sites construits au monde à porter sur l'ensemble du territoire d'un État, l'ISOS comprend à ce jour 1274 sites d'importance nationale⁹⁶ et forme une base documentaire commune à l'échelle de la Suisse. Tous les sites inscrits à l'ISOS ont fait l'objet d'une évaluation comparative effectuée en fonction du type d'agglomération (ville, petite ville/bourg, village urbanisé, village, hameau, cas particulier) au niveau cantonal et régional.

L'ISOS analyse les qualités topographiques, spatiales et historico-architecturales d'un site et l'évalue dans sa globalité, en fonction des relations que les bâtiments entretiennent entre eux, de la qualité de l'espace entre les bâtiments et de la relation entre l'espace construit et l'environnement proche ou lointain.



L'inventaire décompose le site en périmètres et en ensembles construits, en périmètres environnants et en échappées dans l'environnement. Les critères retenus portent sur les qualités historiques et spatiales du tissu, ainsi que sur l'état, la signification et l'objectif de sauvegarde de chacune des composantes du site.

Les périmètres et les ensembles se différencient par leur taille, mais souvent également par la prégnance et l'intensité de leur cohésion spatiale ou historique.

Périmètre P

Composante bâtie de taille honorable, pouvant être perçue comme entité de par ses caractéristiques historico-architecturales et spatiales ou de par sa spécificité régionale, par ex. vieille ville médiévale, quartier de la gare, ancien noyau du village, quartier industriel.

Un ensemble construit peut être intégré à un périmètre construit ou se situer en dehors.

Ensemble E

Composante bâtie de petite taille, pouvant être perçue comme entité de par ses caractéristiques historico-architecturales et spatiales ou de par sa spécificité régionale, mais aussi pour ses contrastes prononcés, p. ex. place de la cathédrale, enfilade de ruelles, maisons groupées autour d'un moulin.

Les environnements sont des aires construites ou non, indispensables à la cohésion des périmètres et des ensembles et qui, de ce fait, font partie intégrante du site construit.

Périmètre environnant PE

Aire limitée dans son extension, en général en rapport étroit avec les constructions à protéger ; espaces verts, p. ex. verger, pré ou surface herbeuse, coteau viticole, parc, terrain rattaché à un bâtiment public.

Echappée dans l'environnement EE

Aire ne présentant pas de limites clairement définies, mais jouant un rôle important dans le rapport entre espaces construits et paysage, p. ex. premier plan/arrière-plan, terrains agricoles attenants, versant de colline, rives, espace fluvial, nouveaux quartiers.

L'inventaire fournit également les indications suivantes, nécessaires à la compréhension du site construit à protéger. Les éléments individuels, les observations et les perturbations peuvent se situer dans n'importe quelle composante du site.



Elément individuel EI

La plus petite composante du site construit ; valeur intrinsèque et importance prépondérante de par son image, p. ex. moulin.



Observation

Indication de thèmes ou d'éléments qualitativement neutres qui nécessitent une localisation dans le site.



Perturbation

Indication d'un préjudice grave ou d'une menace mettant en péril le site construit ou l'une de ses composantes.

*Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS. Descriptif des catégories et classifications*⁹⁷

⁹⁶ En principe des agglomérations habitées en permanence qui comptent au moins dix bâtiments principaux sur la première édition de la carte Siegfried et sont indiquées sur la carte nationale.

⁹⁷ https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/isos---inventaire-federal-des-sites-construits-dimportance-natio/_isos-en-resume.html

À l'Inventaire fédéral vient s'ajouter une liste des sites construits d'importance régionale et locale; ces sites ont été inventoriés selon la méthode ISOS dans le cadre du premier recensement. Ils ne font pas partie de l'Inventaire fédéral et n'ont par conséquent pas de valeur juridique au sens de la LPN. Certains cantons les ont par contre inscrits dans le droit cantonal.⁹⁸ Considérant les agglomérations historiques et leurs périmètres environnants, l'ISOS ne couvre toutefois pas l'ensemble du territoire d'une commune ; il faudra donc intégrer d'autres critères.

L'analyse des données à disposition de la commune (statistiques, cartographiques, documents traitant de l'histoire de l'urbanisation et de l'évolution de la commune, recensements patrimoniaux, etc.) donne des indications sur les différents secteurs qui composent le territoire : leur situation dans le contexte global de la commune (centrale, péricentrale, périurbaine, etc.), leur densité (très forte, forte, moyenne, faible), leur affectation principale (fonctions diversifiées, résidentielle, industrielle, ...), les règles d'aménagement en vigueur (gabarit, distances, ...) et leurs ensembles et éléments patrimoniaux.

On peut ainsi distinguer :

- les noyaux villageois,
- les centres historiques, qui possèdent généralement une densité forte à très forte,
- les quartiers urbains centraux, qui regroupent les zones centrales historiques à forte densité,
- les quartiers résidentiels, qui définissent des zones péricentrales – plus éloignées du centre historique – à densité forte ou moyenne, selon les agglomérations,
- les quartiers de villas, qui sont des zones périurbaines à faible densité,
- les zones industrielles et artisanales,
- les zones d'activités économiques ou touristiques,
- les zones liées aux grandes infrastructures de transport et zones aéroportuaires,
- les zones particulières (secteurs d'équipements publics, sportifs ou de loisirs).

Cette catégorisation recouvre le découpage des zones d'affectation généralement adopté dans les cantons.⁹⁹ Les différences locales, notamment pour ce qui concerne les indices de densité et les gabarits, peuvent avoir un impact sur la forme bâtie et conduire à un ajustement de ces catégories.

3.1.2 Périmètres stables et périmètres en mutation

Dans une commune, il est important d'établir un état des lieux des projets d'aménagement à court et moyen terme connus au moment de l'étude. Selon l'ampleur des projets envisagés, et donc de la transformation de l'état existant, la définition d'un périmètre et en particulier son adaptabilité à la pose d'installations solaires peut complètement changer.

Il s'agit donc de distinguer

- les périmètres stables, où les transformations futures sont marginales, et
- les périmètres en mutation forte ou partielle.

Dans les périmètres en mutation forte (quartiers entiers à construire ou reconstruire à neuf), l'intégration des technologies solaires est censée faire partie des caractéristiques et qualités architecturales des futures constructions. Ces périmètres doivent donc être considérés d'emblée comme très adaptés (→ fiche D5 PAV Grosselin. chapitre 7).

Dans les périmètres en mutation partielle, avec des transformations du tissu bâti existant qui ne touchent que certains bâtiments ou ensembles de bâtiments, le degré d'adaptabilité devra être évalué au cas par cas, selon la nature des projets d'aménagement envisagés (→ fiche C3 Moraines Théâtre, chapitre 7).

⁹⁸ Les relevés des sites d'importance régionale et locale ne sont pas actualisés dans le cadre de la révision de l'Inventaire fédéral.

⁹⁹ Ce découpage s'inspire du Descriptif des zones d'affectation simplifiée [sInd] produit par la direction générale de l'aménagement du canton de Genève dans le cadre du projet d'agglomération franco-valdo-genevois.

http://ge.ch/geodata/SITG/CATALOGUE/INFORMATIONS_COMPLEMENTAIRES/ZONES_AFFECTATIONS_SIMPLIFIEES.pdf

3.2 ADAPTABILITÉ DES PÉRIMÈTRES À LA POSE D'INSTALLATIONS SOLAIRES

Cette deuxième étape de la planification globale examine un ensemble de facteurs influençant la possibilité d'accueillir des installations solaires sans porter atteinte à la culture du bâti. Elle analyse les caractéristiques urbanistiques du périmètre et ses qualités architecturales, les contraintes en termes de visibilité et de sensibilité du voisinage et définit les enjeux patrimoniaux.

L'ensemble de ces facteurs contribue à déterminer la capacité de chaque périmètre à accueillir des systèmes de production solaire, permettant de distinguer quatre types de périmètres, en fonction de leur adaptabilité à la pose d'installations solaires : non adaptés, adaptés sous conditions, adaptés, très adaptés. Compte tenu de la variété de situations qu'offrent les communes de Suisse et de la diversité dans l'expression de la culture du bâti, ces facteurs constituent une orientation. Aucun n'est prédominant pour l'ensemble des périmètres mais, à l'inverse, il peut y avoir un facteur prépondérant dans la définition d'un périmètre donné. En cela, cet exercice est le reflet de la complexité du tissu bâti.

3.2.1 Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

Les aspects de la culture du bâti pertinents pour la problématique de l'étude sont multiples et croisés. Le périmètre est inscrit dans le temps à travers son histoire et les perspectives plus ou moins grandes et fortes de transformation. Il possède une identité spécifique qui se traduit dans sa morphologie urbaine et ses caractéristiques architecturales.

Dans un tissu bâti homogène, expression d'un projet d'ensemble ou d'une période de constitution, l'installation de panneaux solaires devra donc tenir compte de critères d'intégration qui favorisent le maintien de l'identité spécifique du périmètre par des géométries et des emplacements étudiés, avec de préférence des solutions unifiées. Dans certains cas, c'est l'espace public (rues, places, squares, etc.) qui confère une certaine cohérence urbanistique à des périmètres où les bâtiments peuvent appartenir à des époques et/ou à des traditions architecturales variées.

Il est toutefois plus fréquent que le tissu bâti existant se distingue par son hétérogénéité, mais ceci ne veut pas dire qu'il ne puisse pas être de qualité et que les installations solaires ne doivent pas remplir des critères élevés d'intégration.

Les qualités architecturales présentes dans un périmètre constituent un des facteurs déterminant la capacité des bâtiments existants à accueillir facilement, difficilement, très difficilement ou pas du tout des installations solaires, sans porter atteinte à leur identité et à leur valeur esthétique, historique et/ou patrimoniale.

Plus la qualité architecturale d'un bâtiment ancien ou moderne est élevée, plus le projet d'installation de panneaux devra être de qualité supérieure, proposer une intégration parfaite et faire l'objet de règles spécifiques. Dans un bâtiment à l'expression architecturale traditionnelle (formes, matériaux etc.) et/ou dont la toiture est partie intégrante du projet (5^{ème} façade), l'intégration du solaire sera plus difficile et complexe. Dans tous les cas, la pose de panneaux solaires transforme l'aspect d'un bâtiment et constitue une perte du matériau original de la couverture de la toiture.

Il s'agit donc d'évaluer l'importance du matériau et de l'aspect originaux de la toiture et donc l'impact de ce changement et de cette perte. Si la pose de panneaux porte une atteinte majeure à la culture du bâti du site et/ou au monument historique, il faut envisager une intégration meilleure des installations solaires ou trouver d'autres solutions de production d'énergies renouvelables.

3.2.2 Visibilité et sensibilité du voisinage

Selon le type de pose adopté, les panneaux solaires introduisent une rupture dans la perception du tissu bâti existant. En forte relation avec les caractéristiques du tissu bâti et avec les qualités architecturales

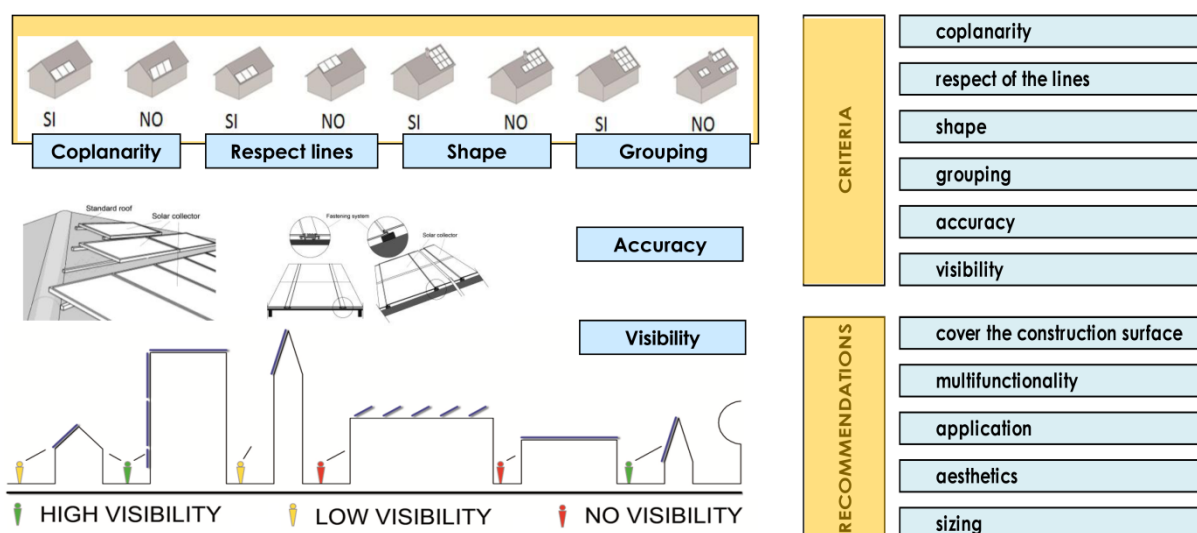
présentes dans le périmètre, le critère de la visibilité – proche ou lointaine, depuis la rue ou du haut d’une colline ou tour – constitue donc un critère important pour évaluer l’adaptabilité d’un périmètre à la pose d’installations solaires.

La visibilité lointaine s’inscrit dans une perspective paysagère et dépend de la situation topographique du périmètre. Des installations solaires peuvent fortement perturber la vue sur un ensemble bâti. Ceci concerne notamment les entités historiques dont l’inscription dans le paysage constitue une valeur en soi.

La visibilité proche, depuis la rue, dépend de la morphologie urbaine et des formes bâties présentes. Plus le périmètre présente un tissu bâti homogène, plus la visibilité devient un enjeu: des panneaux très visibles, posés sans considération pour le caractère d’ensemble, ont un impact négatif plus grand que les mêmes panneaux posés dans un tissu bâti hétérogène.

La structure du tissu bâti a également un impact sur la visibilité proche. Un tissu bâti organisé autour de larges voies de circulation et qui offre des perspectives diverses et des vues lointaines, présente des enjeux de visibilité plus importants qu’un tissu bâti serré, organisé autour de rues et ruelles étroites.

Enfin, selon leur situation dans le tissu bâti et/ou leurs qualités architecturales, la visibilité d’un bâtiment ou d’un ensemble de bâtiments au sein d’un périmètre constitue également un facteur potentiellement déterminant.



Critères et recommandations pour l'intégration de modules solaires dans des tissus bâtis historiques: coplanarité, respect des lignes, respect des formes, regroupement, précision des détails, visibilité depuis les édifices et les espaces voisins.¹⁰⁰

Le critère de la sensibilité du voisinage vise à évaluer l’impact d’une installation solaire sur un périmètre voisin ou environnant. Si ce périmètre voisin est un site construit d’importance nationale, par exemple, les installations solaires sont censées ne pas porter atteinte à des qualités urbanistiques présentes.

3.2.3 Enjeux patrimoniaux

L’identification des enjeux patrimoniaux constitue une étape clé pour la détermination de l’adaptabilité d’un périmètre à la pose d’installations solaires. Ces enjeux ne concernent pas uniquement les sites et bâtiments bénéficiant de mesures de protection fédérales ou cantonales, mais intègrent tous les sites et objets jugés dignes de protection, de conservation ou documentés ou indiqués sur des listes ou recensés par les services de conservation cantonaux ou communaux. Même s’ils ne sont pas ou pas encore protégés formellement, ils contribuent à la qualité d’ensemble du tissu bâti existant et font partie intégrante d’une culture du bâti de qualité d’une commune et d’un périmètre.

¹⁰⁰ Polo Lopez, C.S. Interational Research Seminar. « Quality and quantity of visual perception : recent ICT improvements for tridimensional visibility analysis ». Politecnico di Milano, Italie, novembre 2015.

L'ensemble des différents inventaires fédéraux, cantonaux et communaux ainsi que les différents recensements, listes et autres moyens de définition de valeurs et/ou de protections patrimoniales, qui ont des bases légales diverses, avec des champs d'application variés, doivent être pris en considération pour l'identification des enjeux patrimoniaux.

Pour la Confédération ce sont au minimum :

- l'*Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS*,
- l'*Inventaire fédéral des voies de communication historiques de la Suisse IVS*,
- l'*Inventaire suisse des biens culturels d'importance nationale et régionale PBC*,
- les objets sous protection fédérale,
- l'*Inventaire suisse des installations à câbles*,
- l'*Inventaire des ouvrages de combat et de commandement ADAB*,
- l'*Inventaire des constructions militaires HOBIM*,
- l'inventaire des constructions et installations à protéger des CFF (en cours de révision).¹⁰¹

Dans le contexte de l'étude, l'*ISOS* joue un rôle de premier plan, dans la mesure où un site construit d'importance nationale requiert une intégration particulièrement soignée des installations solaires.

Pour les cantons et les communes, les situations se présentent très différemment d'un canton à l'autre. De façon générale, il faut prendre en considération:

- les plans directeurs cantonaux contenant périmètres, zones, ensembles, objets individuels protégés ou de valeur patrimoniale,
- les plans directeurs ou d'affectation communaux contenant périmètres, zones, ensembles, objets individuels protégés ou de valeur patrimoniale,
- les inventaires, recensements, listes cantonaux et communaux contenant périmètres, zones, ensembles, objets individuels protégés ou de valeur patrimoniale.

Les plans directeurs cantonaux et communaux sont disponibles auprès des départements d'aménagement du territoire des cantons et des services communaux concernés.

Pour ce qui concerne les éléments patrimoniaux à prendre en compte pour une planification solaire globale, il faut se référer au service du patrimoine du canton, respectivement de la commune. Le site internet de l'OFC les a rassemblés sous le lien dans la note.¹⁰²

3.2.4 Classement des périmètres en quatre types

Le croisement des différents facteurs relatifs à la culture du bâti (3.2.1 et 3.2.2) permet de classer les périmètres formant le territoire communal en quatre types, en fonction de leur adaptabilité à la pose d'installations solaires.

A périmètre non adapté

Cette catégorie concerne des périmètres stables, avec une sensibilité élevée du voisinage, où la problématique de la visibilité joue un rôle prépondérant.

¹⁰¹ Ces inventaires et les objets sous protection fédérale sont répertoriés sur le site internet de l'Office fédéral de la culture (OFC) avec leurs liens respectifs. Inventaires fédéraux : <https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/bases/inventaires-federaux.html>

Autres inventaires :

<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/bases/autres-inventaires.html>

Liste des objets nationaux :

<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/bases/liste-des-monuments--ensembles-et-sites-archeologiques-dimportant.html>

¹⁰² La liste des services cantonaux du patrimoine est disponible sur le site de l'OFC.

<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/services-cantonaux-et-communaux-competents-en-matiere-de-conserv.html>

Le périmètre se distingue par des qualités urbanistiques et architecturales élevées.

Il présente des enjeux patrimoniaux importants, avec des objectifs de sauvegarde prioritaires et peu compatibles avec la pose d'installations.

Une intégration supérieure nécessaire des panneaux est très difficile à obtenir voire même impossible à réaliser à des coûts et avec une efficacité raisonnables.

Dans ce type de périmètre, la planification préconise un recours prioritaire à d'autres formes d'énergies renouvelables, sans effet sur la substance/le matériau original et/ou l'aspect original du bâti existant. (→fiche A1 Vieux Carouge, chapitre 7).

B périmètre adapté sous conditions

Cette catégorie concerne prioritairement des périmètres stables, avec une sensibilité du voisinage moyenne à élevée, où la problématique de la visibilité est présente.

Le périmètre est caractérisé par un tissu urbain homogène ou hétérogène, avec une qualité architecturale moyenne à élevée.

Il présente des enjeux patrimoniaux, avec des objectifs de sauvegarde ciblés.

Dans ce type de périmètre, la pose d'installations doit répondre à des conditions spécifiques, allant au-delà des règles cantonales en vigueur pour garantir leur intégration architecturale optimale et préserver une haute culture du bâti. Ces conditions peuvent s'appliquer à l'ensemble du périmètre, à des alignements de bâtiments identiques, à des groupes d'habitation formant un ensemble ou à certains bâtiments particuliers (→fiche B3 Pervenches, chapitre 7).

C périmètre adapté

Cette catégorie concerne aussi bien des périmètres stables que des périmètres en mutation partielle, sans voisinage sensible ni enjeux liés à la visibilité.

Le périmètre ne présente pas de qualités urbanistiques et architecturales particulières.

Les enjeux patrimoniaux sont faibles (→fiche C3 Moraines Théâtre, chapitre 7).

Ce type de périmètre se prête à une pose libre d'installations solaires dans le respect des règles en vigueur (LAT 18a, OAT 32a et b et directives cantonales). (→chapitre 2.6.1)

D périmètre très adapté

Cette catégorie concerne les périmètres en mutation forte, sans voisinage sensible ni enjeux liés à la visibilité.

Le périmètre ne présente pas de qualités urbanistiques et architecturales particulières.

Les enjeux patrimoniaux sont faibles, voire inexistants.

La valorisation de l'énergie solaire doit être partie intégrante de la planification urbaine et des projets architecturaux, afin d'obtenir une intégration parfaite des technologies solaires et une qualité supérieure de culture du bâti dans ces périmètres en forte mutation (→fiche D5 PAV Grosselin, chapitre 7).

3.3 POTENTIEL SOLAIRE DES PÉRIMÈTRES

La troisième étape de la planification globale traite du potentiel solaire de chaque périmètre. Elle fait le point sur l'irradiation et évalue le potentiel solaire mobilisable (thermique et photovoltaïque). Elle aboutit à une distinction en périmètres à fort potentiel solaire / périmètres à potentiel moyen / périmètres à faible potentiel.

Pour tenir compte des projets d'aménagement à court et moyen terme connus et tenir compte de leur potentiel, les calculs sont réalisés à un horizon temporel maîtrisable, par exemple celui du plan directeur communal en vigueur ou en révision.

3.3.1 Solaire thermique et solaire photovoltaïque

En préalable à l'évaluation du potentiel solaire effectif par périmètre, il convient de préciser les hypothèses de travail quant aux parts respectives du solaire thermique et du solaire photovoltaïque.

En général, les cadastres solaires considèrent séparément d'une part la production potentielle maximale d'énergie thermique (sur toute la toiture à concurrence d'un rendement acceptable), d'autre part la production potentielle maximale d'énergie électrique (sur toute la surface exploitable de toiture). Un arbitrage est donc nécessaire, en tenant compte notamment des dispositifs légaux en vigueur dans les différents cantons.

Dans le cas des bâtiments de logement, avec des besoins élevés d'eau chaude sanitaire, une production mixte peut être proposée dans l'analyse du potentiel solaire : répondre aux besoins d'ECS et couvrir le reste des toitures avec du PV. Dans le cas de bâtiments chauffés par l'intermédiaire des pompes à chaleur électriques ou raccordés à un chauffage à distance, le PV devra être privilégié.

3.3.2 Données de base du cadastre solaire

Le cadastre solaire comprend les données de base par bâtiment suivantes¹⁰³ :

- couche géoréférencée des bâtiments (mise à disposition par le cadastre cantonal et/ou communal),
- adresse du bâtiment et identifiant EGID,¹⁰⁴
- typologie : époque de construction et type d'affectation,
- données énergétiques : surface de référence énergétique (m^2), besoins thermiques pour l'ECS et électriques pour les équipements (kWh/an),
- surface réelle des toitures (m^2) en tenant compte de la pente,
- surface des parties exploitables des toitures (m^2) avec irradiation utile moyenne (kWh/ m^2 /an),¹⁰⁵
- surface des panneaux pouvant potentiellement être installés (m^2). Sur les toitures plates il faut tenir compte d'un espacement nécessaire entre les modules ou prévoir des capteurs à tube sous vide,
- production thermique potentielle théorique maximale : production annuelle (kWh/an) potentielle pour l'ECS selon un rendement acceptable (relatif à maximum 1.5 m^2 /habitant) pour une technologie standard (type capteur vitré),
- production électrique potentielle théorique maximale: puissance installable (kWc), production annuelle (kWh/an) avec une technologie standard (type polycristallin ou monocristallin).

3.3.3 Constitution d'un cadastre solaire « enrichi »

Dans le contexte d'une planification solaire globale à l'échelle d'une commune, les données usuelles d'un cadastre solaire doivent être complétées par les informations relevant de la culture du bâti, qui ont été identifiées dans les étapes précédentes.

3.3.3.1 Prise en compte des enjeux patrimoniaux

¹⁰³ La condition préalable est de disposer d'une couche géoréférencée des bâtiments de la commune et d'un cadastre solaire au niveau de la commune ou du canton sur laquelle se situe la commune. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) met certes à disposition un cadastre solaire à l'échelle nationale (certaines régions restant à couvrir). Cependant, il s'agit de données consultables en ligne par bâtiment mais non disponibles pour les exploiter dans un GIS à l'échelle de toute une commune.

¹⁰⁴ EGID: numéro fédéral d'un bâtiment

¹⁰⁵ Les parties exploitables comprennent toutes les parties de toiture bien irradiées et peu ombragées selon un seuil à déterminer (par exemple $>1000 \text{ kWh}/m^2/\text{an}$).

La part solaire des bâtiments avec enjeux patrimoniaux relevés dans chaque périmètre doit être définie et calculée séparément, afin de permettre une approche fine et différenciée de ces composantes essentielles de la culture du bâti et limiter les interventions négatives sur des bâtiments historiques et de qualité architecturale et/ou patrimoniale élevée, dans un contexte sensible, de visibilité élevée.

3.3.3.2 Prise en compte des projets urbains

Pour une planification réaliste et utile, il faut compléter le cadastre solaire avec les informations sur les constructions en projet qui offrent a priori des surfaces de toiture, voire de façades, très adaptées à l'énergie solaire (toitures plates et peu encombrées) et donc un potentiel solaire futur à prendre en considération à un horizon temporel à définir.

Les données suivantes doivent être collectées : emprise au sol des constructions à venir, hauteur de chaque bâtiment ou partie de bâtiment (si hauteurs différenciées), surfaces par type d'affectation (en particulier distinguant logements et activités) par bâtiment futur.¹⁰⁶

Ces données permettent de créer un modèle numérique de surface (3D) des constructions futures sur la base de leur empreinte au sol et de leur hauteur, de remplacer le potentiel solaire des bâtiments existants et de calculer le potentiel solaire des nouvelles constructions et intégrer les résultats dans le cadastre solaire.

3.3.3.3 Données complémentaires relatives aux façades

En règle générale, les cadastres solaires ne considèrent que les toitures. Le potentiel solaire PV des façades peut être significatif sur les constructions neuves et sur des constructions existantes spécifiques, en particulier dans les zones artisanales et industrielles où il y a un plus grand nombre de bâtiments avec des façades peu ou non découpées, avec moins de contraintes créées par les ombres portées des volumes en saillie ou des qualités architecturales et patrimoniales à sauvegarder.

Contrairement aux installations en toiture, les installations en façade doivent toujours faire l'objet d'une autorisation de construire.

En l'absence d'informations facilement quantifiables sur les surfaces exploitables des façades (par soustraction des vitrages, retraits de façade, etc.), une première approche consiste à admettre un taux moyen de surfaces opaques de 50% des façades et à fixer un seuil minimal d'irradiation solaire (> 750 kWh/m²/an) pour considérer une installation solaire.

L'obtention des données relatives aux façades implique les opérations suivantes :

- modélisation des façades en 3D (sur la base des modèles numériques de surface et de terrain),
- calcul de l'irradiation brute sur les façades,
- détermination des surfaces de façade valorisables selon les critères retenus.

3.3.4 Synthèse du potentiel solaire effectif sur le territoire de la commune

Après intégration de toutes les contraintes (irradiation utile, dimension de la toiture, encombrement, lucarnes, cheminées, installations techniques, formes complexes et fragmentées, aspect original, etc.), les résultats relatifs au potentiel solaire effectif permettent de classer chaque périmètre selon sa contribution au bilan énergétique de la commune, en périmètre à fort potentiel, périmètre à potentiel moyen, périmètre à faible potentiel.

Selon les choix faits en amont, la synthèse distinguera le solaire thermique et photovoltaïque.

3.3.4.1 Solaire thermique : critères relatifs au potentiel solaire

¹⁰⁶ Sources: projets d'aménagement (et projets d'architecture, si connus), auprès de la commune, respectivement du canton, ou des opérateurs privés.

1. Périètre à fort potentiel: quantité d'énergie thermique potentielle très élevée pour produire de l'eau chaude sanitaire, larges toitures disponibles au niveau des périètres de logement ; généralement des projets de constructions neuves se prêtent très bien à ce type d'intervention.
2. Périètre à potentiel moyen : quantité d'énergie thermique potentielle moins élevée pour produire de l'eau chaude sanitaire, surfaces de toiture de taille moyenne ; généralement des périètres de logements existants avec peu ou pas de contraintes patrimoniales ou autres.
3. Périètre à faible potentiel : quantité d'énergie thermique potentielle faible couvrant très peu les besoins d'ECS, toitures peu disponibles et/ou encombrées, petites installations individuelles, enjeux patrimoniaux ; comprenant de façon prépondérante des bâtiments d'activités, avec des besoins limités en ECS.

3.3.4.2 Solaire photovoltaïque : critères relatifs au potentiel solaire

1. Périètre à fort potentiel : puissance totale installable élevée en absolu, grandes surfaces de toiture à disposition. Généralement des projets de constructions neuves et/ou en zone industrielle/artisanale se prêtent très bien à ce type d'intervention.
2. Périètre à potentiel moyen : puissance totale installable moins élevée, surfaces de toiture de taille moyenne. Généralement des périètres de tous les types d'affectation avec des bâtiments existants avec peu ou pas de contraintes patrimoniales ou autres.
3. Périètre à faible potentiel : puissance totale installable faible, toitures peu disponibles et/ou encombrées, surfaces réduites, enjeux patrimoniaux.

3.3.5 Critère relatif aux affectations

Le critère lié aux affectations, qui évalue la part de surfaces brutes de plancher affectée aux logements (individuels et collectifs) et aux activités de natures diverses (tertiaire, restauration, commerces, équipements publics, hôpitaux, artisanat et industrie, centres sportifs), permet cas échéant d'accorder la priorité au solaire thermique (avec le PV en complément), respectivement au solaire PV uniquement, selon les hypothèses de départ.¹⁰⁷ Cette différenciation peut aussi avoir une incidence quant au mode de valorisation et au modèle technico-économique choisi, car les acteurs sont différents selon que l'on se trouve dans un quartier résidentiel ou dans un site d'activités.

3.3.6 Critère relatif au régime de propriété

Dans une perspective de valorisation du potentiel solaire effectif, il est intéressant de mettre en évidence les bâtiments propriétés d'entités publiques (canton, commune) ou parapublique (fondations, institutions hospitalières, de formation, ...). La présence d'équipements publics offrant de larges surfaces de toiture, dans des périètres à fort potentiel, facilite le montage de projets lorsque les acteurs publics sont parties prenantes ou mettent à disposition leurs toitures (obligation d'exemplarité, facilitateurs, etc.).

3.3.7 Résultats

Sur la base du cadastre solaire « enrichi » et de l'hypothèse retenue pour la répartition entre TH et PV, le potentiel solaire est calculé bâtiment par bâtiment au sein de chaque périètre.

Les valeurs calculées pour chaque périètre sont :

- valeurs de potentiel, globales et effectives par périètre – déduction faite des bâtiments à enjeux patrimoniaux et des installations existantes, dans le cadre d'une production mixte entre TH et PV,
- valeurs spécifiques de potentiel TH : besoins totaux (ECS), total des surfaces de capteurs et de production énergétique au niveau des installations existantes, potentiel des bâtiments sans

¹⁰⁷ À Genève, l'obligation de couvrir 30% des besoins d'ECS par du solaire thermique rend cette différenciation indispensable (→chapitre 5.2).

contrainte, potentiel des bâtiments avec enjeux patrimoniaux, part manquante pour satisfaire la totalité des besoins,

- valeurs spécifiques de potentiel PV : besoins totaux (électricité), total des surfaces de capteurs et de production énergétique au niveau des installations existantes, potentiel des bâtiments sans contrainte, potentiel des bâtiments avec enjeux patrimoniaux, part manquante pour satisfaire la totalité des besoins,
- valeurs relatives aux façades : surfaces de façade valorisables, production énergétique estimée, taux de couverture des besoins électriques (en complément des panneaux solaires PV en toiture).

Ces résultats sont consignés dans un tableau récapitulatif des analyses du potentiel solaire effectif par périmètre (→ chap. 6.3.4) et dans une carte (→ annexe 1, carte 6 potentiel solaire)

3.4 STATUT DES PÉRIMÈTRES DANS LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE

Le croisement de la classification des périmètres en fonction de leur adaptabilité à la pose d'installations solaires et des enjeux patrimoniaux présents (critères relatifs à la culture du bâti) et celle qui découle de leur potentiel solaire effectif (critères techniques et d'irradiation), permet d'établir le statut de chacun d'entre eux dans la planification solaire globale de la commune. Ce résultat n'est pas l'aboutissement d'une évaluation multicritères « objective », mais est spécifique à chaque commune, en fonction du contexte particulier dans lequel elle s'inscrit et de sa sensibilité propre.

Le « statut » du périmètre désigne sa capacité à contribuer de façon économique, efficace, effective et simple à la production d'énergie solaire sur le territoire communal.

On distingue :

- les périmètres à priorité élevée***
- les périmètres à priorité moyenne**
- les périmètres à priorité faible*
- les périmètres non prioritaires pour la pose d'installations solaires / sans installations solaires.

L'identification du statut de chaque périmètre permet d'établir des stratégies de mise en œuvre sur mesure, en fonction des spécificités reconnues et des potentiels identifiés. Plus la priorité d'un périmètre est élevée, plus la nécessité d'une démarche concertée et planifiée entre les différents acteurs concernés s'impose, avec une ambition portée par les collectivités publiques.

3.4.1 Périmètres à priorité élevée*** pour la valorisation de l'énergie solaire

Du point de vue de la culture du bâti, les périmètres à priorité élevée sont des périmètres C adaptés, voire des périmètres D très adaptés à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un fort potentiel solaire TH et/ou PV.

Les enjeux patrimoniaux sont faibles.

On y retrouve :

- des secteurs urbains en mutation (forte ou partielle),
- des secteurs à urbaniser,
- des zones industrielles, artisanales et commerciales,

- des secteurs d'équipements publics, sportifs et de loisirs,
- des zones liées aux grandes infrastructures de transport (hors centres historiques) et zone aéroportuaire.

En règle générale, ces périmètres – tout particulièrement les périmètres en forte mutation - représentent proportionnellement une part importante du potentiel solaire global de la commune.

3.4.2 Périmètres à priorité moyenne pour la valorisation de l'énergie solaire**

Du point de vue de la culture du bâti, les périmètres à priorité moyenne sont des périmètres C adaptés ou des périmètres B adaptés sous conditions à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un potentiel solaire TH et/ou PV moyen.

Les enjeux patrimoniaux sont moyens.

On y retrouve :

- des noyaux villageois et des quartiers urbains historiques,
- des quartiers résidentiels à faible densité,
- des quartiers de villas.

Ces périmètres représentent proportionnellement une part significative du potentiel solaire global de la commune.

Les opportunités de valorisation de l'énergie solaire y sont plus ponctuelles, sur certaines toitures avec des capacités intéressantes (équipements publics, toitures plates). Ces dernières peuvent offrir l'opportunité d'une mutualisation au sein du périmètre.

3.4.3 Périmètres à priorité faible* pour la valorisation de l'énergie solaire

Du point de vue de la culture du bâti, les périmètres à priorité faible sont des périmètres B adaptés sous conditions ou C adaptés à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un faible potentiel TH et/ou PV.

On y retrouve :

- des noyaux villageois et des quartiers urbains de qualité architecturale élevée et/ou aux enjeux patrimoniaux significatifs,
- des quartiers résidentiels à faible densité et/ou avec des enjeux patrimoniaux significatifs,
- des quartiers de villas et/ou avec des enjeux patrimoniaux significatifs.

Ces périmètres représentent proportionnellement une part réduite du potentiel solaire global de la commune.

Dans ce type de périmètre, en présence d'enjeux patrimoniaux significatifs, le potentiel solaire est à prévoir sur des bâtiments ou des annexes sans enjeux, où les propriétaires devraient avoir la possibilité d'investir dans une centrale solaire ailleurs sur le territoire communal (investissement participatif) ou dans une autre source d'énergie renouvelable pour leurs bâtiments.

3.4.4 Périmètres non prioritaires pour la valorisation de l'énergie solaire

Les périmètres non prioritaires pour la valorisation de l'énergie solaire sont des périmètres A non adaptés à la pose d'installations solaires, en raison de leurs qualités urbanistiques, architecturales et patrimoniales élevées et des objectifs de sauvegarde prioritaires. Ils possèdent en règle générale un faible potentiel TH et/ou PV.

On y retrouve :

- des noyaux villageois et urbains historiques de qualité architecturale et patrimoniale très élevée (p. ex. site construit d'importance nationale à protéger ISOS)¹⁰⁸,
- des ensembles bâtis de qualité patrimoniale élevée.

Ces périmètres représentent proportionnellement une part très réduite, voire insignifiante du potentiel solaire global d'une commune. Les objectifs de sauvegarde présents exigent une intégration de qualité supérieure, avec une rentabilité des installations peu intéressante.

Dans ce type de périmètre, les propriétaires devraient se voir proposer par le canton, respectivement la commune, l'opportunité d'investir dans une centrale solaire ailleurs sur le territoire communal (investissement participatif) ou dans une autre source d'énergie renouvelable pour leurs bâtiments.

¹⁰⁸ <https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/isos---inventaire-federal-des-sites-construits-dimportance-natio.html>

4. VALORISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE À L'ÉCHELLE DE LA COMMUNE

La planification globale à l'échelle de la commune doit permettre une valorisation optimale du potentiel solaire identifié, dans le respect de la culture du bâti présente et future.

Dans le cadre de la présente étude, valoriser le potentiel solaire signifie couvrir le mieux possible les besoins en chaleur et en électricité d'une population donnée, celle de la commune. Ce potentiel solaire étant inégalement réparti sur le territoire communal, il s'agit de mettre en place une stratégie de mutualisation / compensation entre périmètres « exportateurs » (à fort potentiel TH et/ou PV) et périmètres « demandeurs » (à potentiel TH et/ou PV faible).

Cette stratégie consiste à développer dans les périmètres à priorité élevée une offre « excédentaire », c'est-à-dire qui dépasse les exigences légales et réglementaires, pour produire un surplus à mutualiser.¹⁰⁹ Elle implique une mutualisation de l'effort, notamment financier, pour encourager cette production et des dispositions réglementaires obligatoires dans les plans sectoriels.

Dans les périmètres intermédiaires (à potentiel TH et/ou PV moyen), l'effort devrait porter sur la meilleure couverture possible des besoins identifiés.

4.1 MESURES D'INCITATION ET OBLIGATIONS FÉDÉRALES ET CANTONALES

4.1.1 Mesures d'incitation pour le solaire thermique au niveau fédéral et cantonal

Le *Programme Bâtiments*¹¹⁰ est la mesure d'incitation de référence, coordonnée entre la Confédération et les cantons, dont le but est de faire chuter la consommation d'énergie du parc immobilier suisse et de réduire les émissions de CO₂. Le *Programme Bâtiments* soutient les mesures permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des biens immobiliers, comme l'isolation des toits et des façades, la récupération des rejets de chaleur, l'optimisation des installations techniques et l'utilisation des énergies renouvelables, dont le solaire thermique.

Chaque canton définit de manière individuelle les mesures exactes qu'il souhaite soutenir et à quelles conditions, en se basant sur le *Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa 2015)*¹¹¹ qui est devenu la base unique pour tous les cantons depuis 2017 et qui tient compte des propositions figurant dans le *Programme Bâtiment*.

Concernant le solaire thermique, la mesure M-08 du ModEnHa définit précisément les conditions d'octroi des contributions d'encouragement actuelles (état avril 2018). Sont soutenues les nouvelles installations solaires thermiques ou l'extension d'installations existantes respectant un certain nombre de conditions techniques (ex. garantie de performance, seuil minimum de puissance installée). Dans ces conditions, le taux d'encouragement minimal est composé d'un montant de base de CHF 1'200.- auquel s'ajoutent CHF 500.-/kW.

Les cantons peuvent augmenter ce taux d'encouragement selon leurs ressources financières ainsi que de leurs propres priorités en matière de promotion, par exemple avec l'introduction d'un bonus si l'installation solaire thermique est complétée par des interventions d'amélioration de l'enveloppe.

¹⁰⁹ Le canton de Genève, par exemple, impose le recours à du solaire thermique pour couvrir 30% des besoins en ECS (→ chapitre 5.2)

¹¹⁰ <http://www.dasgebaeudeprogramm.ch/index.php/fr/>. Consulté le 19.04.2018

¹¹¹ https://www.endk.ch/fr/ablage_fr/documentation/hfm2015-f-1-1.pdf (consulté le 19.04.2018)

Le canton de Vaud¹¹², par exemple, a augmenté l'encouragement minimal de la façon suivante :

P < 3 kW ou eau chaude sanitaire, habitat individuel	P > 3 kW
CHF 4'000.- forfaitaire, montant doublé (+CHF 4'000.-) selon conditions ci-dessous	CHF 2'500.- + 500.-/kW, montant doublé (+CHF 2'500.- + 500.-/kW) selon conditions ci-dessous
Les montants ci-dessus sont doublés en cas : - d'assainissement énergétique simultané du toit (mesure M01) faisant l'objet d'une décision positive, - de remplacement de l'installation de production de chaleur existante par une pompe à chaleur, une chaudière à bois ou une cogénération domestique. Le doublement est unique même en cas de réalisation des deux mesures précitées.	

Les communes ont également la possibilité d'octroyer des subventions, comme le fait par exemple la Ville de Lausanne¹¹³.

Un bon point de départ pour connaître les mesures d'incitation est fourni par le site du *Programme Bâtiment*, qui oriente ensuite sur chaque canton. À l'échelle communale, il faut s'adresser directement à l'autorité communale compétente.

4.1.2 Mesures d'incitation pour le solaire photovoltaïque au niveau fédéral et cantonal

Lors de la votation populaire du 21 mai 2017, le peuple suisse a accepté le premier paquet de mesures de la *Stratégie énergétique 2050*¹¹⁴ et donc la *Loi sur l'énergie (LEne)*¹¹⁵ du 30 septembre 2016. La nouvelle *LEne* est entrée en vigueur le 1er janvier 2018 et les programmes d'encouragement dans le domaine de la production d'électricité provenant d'énergies renouvelables ont été actualisés.

Le solaire photovoltaïque est encouragé par la Confédération, à travers le Système de rétribution de l'injection (SRI) et la Rétribution unique (RU) pour petites installations (PRU) ou pour grandes installations (GRU). Depuis 2017, le PV ne fait plus partie du *Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa)*¹¹⁶ dont le principe a été présenté ci-dessus en lien avec le thermique.

Le SRI s'applique pour les installations à partir de 100 kWc et consiste à payer le courant injecté avec un tarif de rétribution calculé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) sur la base d'installations de référence par technologie et classe de puissance. La durée de rétribution dans le SRI est en général de 15 ans pour une mise en service après le 1^{er} janvier 2018, avec une adaptation régulière des taux de rétribution prévue par l'OFEN pour répondre aux progrès technologiques prévisibles et à la généralisation de la technologie photovoltaïque.

La RU est une contribution d'investissement unique servant à promouvoir la production d'électricité à partir de petites installations photovoltaïques (PRU, puissance comprise entre 2 et 100 kWc¹¹⁷) ou de grandes installations (GRU, puissance de plus de 100 kWc).

¹¹² <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/subventions/solaire-thermique/> (consulté le 19.04.2018)

¹¹³ <http://www.lausanne.ch/thematiques/services-industriels/particuliers/efficacite-energetique/solaire/solaire-thermique.html> (consulté le 19.04.2018)

¹¹⁴ <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/index.html?lang=fr>

¹¹⁵ Loi sur l'énergie (LEne ; RS 730.0)

¹¹⁶ ¹¹⁶ https://www.endk.ch/fr/ablage_fr/documentation/hfm2015-f-1-1.pdf,p.8 (consulté le 19.04.2018)

¹¹⁷ kWc : kilowatt-crête. Dans le domaine du photovoltaïque ça représente la puissance maximale que peut délivrer un panneau PV dans des conditions d'ensoleillement et température normalisées (1000 W/m² et 25 °C)

	PRU (Petite Retribution Unique)	GRU (Grande Retribution Unique)	SRI (Système de Rétribution de l'Injection)
Technologies	Photovoltaïque	Photovoltaïque	Toutes les technologies
Puissance	2 kWc à 99 kWc	100 kWc à 50 MWc	Plus de 100 kWc pour l'énergie photovoltaïque
Fréquence de la rétribution	Aide unique à l'investissement	Aide unique à l'investissement	Chaque trimestre sur la base de la quantité d'électricité injectée dans le réseau
Montant de la rétribution	Environ 30% de l'investissement pour une installation de référence	Environ 30% de l'investissement pour une installation de référence	Environ 80% – 90% des coûts de revient
Moment de la rétribution	Le temps d'attente est d'environ 2 ans après la réception de l' avis de mise en service complet	L'intégration dans la GRU se fait sur la base de contingents annuels . Le temps d'attente est d'au moins 6 ans après la réception de la demande de GRU	L'intégration dans le SRI se fait sur la base de contingents annuels . Dans la perspective actuelle, la liste d'attente devrait pouvoir être résorbée seulement jusqu'aux demandes de rétribution déposées avant le 30 juin 2012.

Tableau de synthèse des mesures et modalités d'encouragement du photovoltaïque¹¹⁸

La directive européenne 2010/31/UE1, qui promeut les bâtiments à « énergie presque zéro » (Nearly Zero Energy Building [NZEB]), est portée en Suisse par la *Stratégie énergétique 2050*, avec des instruments spécifiques en cours de développement au niveau des cantons et de la Confédération. Ainsi, le nouveau *Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC)*¹¹⁹ introduit à l'article 1.27 l'obligation d'installer au moins 10 watts de solaire photovoltaïque par mètre carré de surface de référence énergétique (SRE)¹²⁰ dans les nouvelles constructions, ce qui se fait aujourd'hui sur une base volontaire. Les experts considèrent que cela va provoquer un recours accru aux systèmes en façade pour satisfaire la demande quand la surface de toiture n'est pas suffisante. Certains cantons et fournisseurs d'électricité proposent des subventions à l'investissement ou des rétributions cantonales du courant injecté. Dans les cantons de Vaud et de Thurgovie, les systèmes de batteries pour stocker le courant solaire sont aussi subventionnés.¹²¹

4.2 VALORISATION IN SITU OU EN RÉSEAU

L'énergie solaire peut être valorisée localement, sur le lieu de production, ou être délocalisée, par injection dans un réseau. L'alternative autoconsommation / injection se présente surtout pour le solaire photovoltaïque, mais gagnerait à être développée également pour le solaire thermique.

Le choix du mode de consommation de la chaleur et de l'électricité solaires – in situ ou par l'intermédiaire d'un réseau – a des incidences sur la valorisation de l'énergie solaire, principalement sur les modalités de sa mise en œuvre.

In situ, le taux d'autoconsommation est influencé par divers facteurs, notamment le comportement des utilisateurs et la gestion de la consommation. Pour le PV, il se situe entre 30 et 70% de l'électricité produite, le surplus étant injecté dans le réseau.¹²² Selon le tarif de rachat pratiqué, les propriétaires – producteurs disposant de surfaces exploitables importantes au sein d'un périmètre à potentiel PV fort ou moyen ont plus ou moins intérêt à augmenter leur production électrique solaire pour produire un surplus et contribuer à couvrir les besoins de bâtiments ou périmètres demandeurs.

4.2.1 Solaire thermique

La chaleur solaire est presque exclusivement autoconsommée, toutefois, des solutions permettant d'introduire le solaire thermique dans des réseaux de chaleur existent. Le réseau de chaleur de Marstal (île d'Ærø, Danemark) est alimenté par la plus grande installation solaire thermique du monde. Environ 18'300

¹¹⁸ Pronovo AG, <https://pronovo.ch/fr/financement/4395-2/> (consulté le 29.06.2018)

¹¹⁹ <https://www.endk.ch/fr/politique-energetique/mopec>.

¹²⁰ La surface de référence énergétique (SRE) est la somme de toutes les surfaces de plancher des étages et des sous-sols qui sont inclus dans l'enveloppe thermique, soit les surfaces brutes de plancher, mesurées par l'extérieur du plan de l'enveloppe thermique du bâtiment. www.citedelenergie.ch/fileadmin/user.../Energiesstadt/.../HelpFile_AE_SIA_380_F.pdf

¹²¹ <https://www.swissolar.ch/fr/pour-maitres-douvrage/promotion/>

¹²² www.vese.ch/wp-content/uploads/VESE_Manuel_optimiser_l_autoconsommation.pdf

m² de panneaux solaires fournissent ainsi 40% de la chaleur des 1500 usagers du réseau, le reste étant assuré par une chaudière à biomasse (pellet et paille) et mazout.¹²³ A Drake Landing, dans l'État d'Alberta au Canada, un réseau d'énergie de quartier collecte, stocke et redistribue l'énergie pour alimenter en chauffage et eau chaude sanitaire un ensemble de 52 maisons individuelles.¹²⁴ Si l'exemple danois relève de la production industrielle, le modèle diffus canadien pourrait être intéressant dans le cadre d'un projet d'ensemble d'habitations individuelles ou de petits immeubles. À Bennau SZ, le bâtiment à énergie positive « Kraftwerk B », qui produit plus de chaleur et d'électricité que ses habitants n'en consomment, vend 10'000 kWh/an d'eau chaude au bâtiment voisin.¹²⁵ Enfin, rien n'empêche de récupérer et valoriser des surplus solaires thermiques en les injectant dans un réseau de chaleur existant ou à créer.

Si les besoins de chauffage baissent régulièrement avec la construction d'immeubles répondant à des standards de (très) haute performance énergétique et avec la rénovation de l'enveloppe des bâtiments existants, les besoins d'eau chaude sanitaire restent constants. Le solaire thermique demeure donc une solution très intéressante pour répondre à ces besoins, tant sur le plan environnemental, avec une réduction significative de la consommation d'énergies fossiles, que sur le plan économique, le solaire thermique n'étant pas soumis à la taxe CO₂ et échappant à l'augmentation des coûts des énergies fossiles.¹²⁶

On constate aussi que plus l'installation est grande, plus les coûts diminuent, ce qui plaide en faveur d'une mutualisation entre bâtiments voisins, qui à son tour implique une démarche concertée de la part de leurs propriétaires.

4.2.2 Solaire photovoltaïque

Selon la loi fédérale, l'électricité de sources renouvelables, dont le PV, peut être utilisée in situ par l'entité qui la produit ou peut être injectée dans le réseau.

4.2.2.1 Injection dans le réseau

L'injection dans le réseau bénéficie d'un tarif de rachat censé encourager la production, soit le Système de rétribution à l'injection (SRI) au niveau fédéral. Le distributeur qui est tenu de reprendre ce courant peut s'y retrouver à travers un tarif plus élevé facturé aux consommateurs finaux. Actuellement, les tarifs de reprise pratiqués par les différents distributeurs suisses varient énormément. Une comparaison des 30 plus grandes entreprises d'électricité du pays, qui alimentent 65% de la population, fait apparaître pour 2018 des tarifs de rachat allant de 4,75 cts/ kWh pour les Sankt Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG, à 23 cts/kWh pour les Industrielle Werke Basel, celui des Services industriels de Genève se situant à 8,54 cts/kWh, en forte diminution depuis 2015, où il était à 15,65 cts/kWh.¹²⁷

Dans le cadre d'une planification solaire globale, ce tarif de rachat constitue un levier important pour encourager la production d'électricité dans les périmètres à priorité élevée « exportateurs » vers des périmètres à faible priorité ou non prioritaires « demandeurs ». Le canton, respectivement la commune pourraient imposer à leurs services industriels un tarif de rachat incitatif, ou assumer le manque à gagner pour des projets spécifiques.

4.2.2.2 Autoconsommation

L'autoconsommation est intéressante car le coût du courant solaire est généralement inférieur au prix de l'électricité fournie par le réseau. Cette option est possible pour un seul ou plusieurs consommateurs finaux qui doivent former une communauté de consommation propre.¹²⁸ L'énergie produite et consommée sur le

¹²³ <https://reseauchaleur.wordpress.com/2010/11/08/marstal-le-plus-grand-reseau-de-chaleur-solaire-du-monde/>

¹²⁴ <https://www.dlsc.ca/index.htm>

¹²⁵ <https://www.solaragentur.ch/.../G-09-08-20%20Bennau.pdf>

¹²⁶ Selon swissolar, 1m² de capteur = 500 à 700 kWh (selon l'orientation) = 55 à 80 l de mazout = 55 à 80 m³ de gaz.
<https://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/solaire-thermique/application-du-solaire-thermique/>

¹²⁷ <http://www.vese.ch/fr/pvtarif-apps/#ChartTitl>

¹²⁸ <https://www.ebm.ch/fr/communaute-dautoconsommation>

lieu de production ne paie ni rétribution pour l'utilisation du réseau, ni supplément pour la rétribution à prix coûtant, ni redevances et prestations à la commune et au canton. Le distributeur est tenu de reprendre le surplus d'énergie non consommée et de fournir l'énergie supplémentaire nécessaire. L'autoconsommation implique d'installer des compteurs pour le décompte de l'énergie et l'utilisation du réseau.

Le droit de l'énergie fixe les conditions-cadres de cette autoconsommation ou « regroupement dans le cadre de la consommation propre » et les relations entre le propriétaire foncier, l'exploitant de l'installation, les éventuels locataires et fermiers et la relation avec le gestionnaire de réseau et définit le périmètre sur lequel l'autoconsommation peut se déployer :

« Outre la propriété sur laquelle se situe l'installation de production, les terrains environnants sont considérés comme lieu de la production. Pour se (sic) faire, ils doivent être contigus et l'un d'entre eux au moins doit être adjacent à la propriété sur laquelle se trouve l'installation de production. Un regroupement ne peut donc pas s'étendre par-dessus un terrain public (p. ex. une route) ou par-dessus un terrain privé dont le propriétaire foncier ne veut pas participer au regroupement. L'électricité entre l'installation et les autoconsommateurs ne doit pas passer par le réseau de distribution du gestionnaire de réseau. Les autoconsommateurs des terrains environnants disposent d'un point de mesure unique, ce qui signifie en règle générale qu'ils doivent être raccordés au même point de raccordement du réseau. »¹²⁹

La constitution d'une communauté d'autoconsommation représente un outil performant pour la mutualisation de la production d'énergie au sein d'un périmètre ou entre périmètres voisins. Les bases légales actuelles ne permettent pas de définir des communautés d'autoconsommation correspondant à des périmètres identifiés dans le cadre d'une planification globale à l'échelle communale. Il serait donc utile de faire évoluer la législation fédérale pour permettre le déploiement de projets d'autoconsommation à l'échelle de périmètres identifiés par une planification solaire globale.

4.3 ACTEURS DE LA VALORISATION

De la production à la consommation, la valorisation du potentiel solaire en milieu bâti implique différents acteurs, dont le rôle conditionne fortement les stratégies de mise en œuvre. Un même acteur peut cumuler plusieurs rôles.

4.3.1 Qui fixe le cadre ?

Comme exposé au chapitre 1, la Confédération définit le cadre légal et réglementaire dans lequel s'inscrit la valorisation de l'énergie solaire et plus généralement les politiques publiques relatives à la protection des biens culturels et à la mise en œuvre de la stratégie énergétique fédérale. Elle fixe également les mesures d'incitation de base.

Chargés de la mise en œuvre de la législation, des obligations et mesures d'incitation fédérales, les cantons peuvent se donner un cadre législatif et réglementaire plus ambitieux pour les politiques publiques cantonales, traduit dans la législation cantonale, dans les outils de planification tels que le plan directeur cantonal de l'aménagement ou le plan directeur cantonal de l'énergie et dans les instruments de mise en œuvre.

La planification solaire globale place les communes au cœur du dispositif pour la valorisation de l'énergie solaire dans le respect de la culture du bâti. Les instances communales – conseil municipal, exécutif municipal, services concernés – appliquent la législation cantonale, les obligations et mesures d'incitation cantonales. Dans le système fédéral helvétique, les communes disposent d'une large marge d'autonomie

¹²⁹ Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Office fédéral de l'énergie (OFEN), *Principales nouveautés du droit de l'énergie à partir de 2018*, 02.11.2017
<https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiqués.msg-id-68637.html>

pour définir des politiques publiques communales, notamment à travers le plan directeur communal, et contrôler leur mise en œuvre.¹³⁰ Elles peuvent ainsi désigner des périmètres prioritaires où développer le solaire et des périmètres d'exclusion dans lesquels les enjeux patrimoniaux et une culture du bâti de qualité rendent difficile et coûteuse une intégration optimale.

Toutes les collectivités publiques – Confédération, cantons et communes – ont un devoir d'exemplarité pour leur propre maîtrise d'ouvrage et la réalisation de leurs projets. Cette considération peut également s'étendre aux institutions parapubliques (fondations immobilières de droit public, établissements hospitaliers ou de formation, caisses de pension publiques, etc.).

4.3.2 Qui est propriétaire des surfaces exploitables ?

Le profil du propriétaire des surfaces exploitables est un facteur important dans la valorisation de l'énergie solaire. A priori, chaque propriétaire est amené à accorder sa volonté de contribuer au développement des énergies renouvelables et des considérations d'ordre économique avec sa sensibilité à la culture du bâti. La planification solaire constitue à cet égard un précieux outil d'aide à la décision pour agir en respectant des critères allant au-delà des intérêts et démarches individuels.

L'analyse du potentiel solaire doit mettre en évidence les surfaces exploitables relevant de propriétaires publics et parapublics, pour lesquels le devoir d'exemplarité pour la mise en œuvre des politiques publiques est un critère déterminant. Leur mobilisation dans la valorisation du potentiel solaire doit être prioritaire.

La diversité des propriétaires privés (particuliers, entreprises, sociétés immobilières, coopératives d'habitation, caisses de pension privées, ...) se traduit aussi par une diversité des attitudes vis-à-vis de la valorisation de l'énergie solaire, du strict respect des obligations légales à une démarche volontaire et proactive. Leur mobilisation peut sembler plus complexe que celles des propriétaires publics et parapublics, mais ils disposent souvent d'une réactivité et d'une capacité financière plus grandes que les collectivités publiques.

4.3.3 Qui finance / possède les installations ?

Pour ce qui concerne le financement des installations solaires, il est nécessaire de distinguer TH et PV. La consommation de la chaleur solaire thermique se faisant généralement in situ, les installations de production seront financées par le propriétaire des surfaces exploitables et le montant de l'investissement intégré au plan financier du bâtiment concerné. En revanche, le financement – privé ou public – d'un réseau de chaleur dans lequel injecter l'énergie solaire thermique est plus lourd et complexe, et peut s'apparenter à celui du solaire photovoltaïque.

Le PV offre une plus large palette de modes de financement, dans la mesure où la production et la vente d'électricité solaire sont devenues un marché dynamique.

On peut distinguer :

- les propriétaires des surfaces exploitables (privés, publics et parapublics) qui financent leurs propres installations,
- les entreprises d'électricité (services industriels relevant de collectivités publiques, compagnies d'électricité privées, ...), dont une des missions est d'assurer l'approvisionnement en énergie et pour lesquelles le solaire constitue un investissement dans les énergies renouvelables, au même titre que l'hydroélectrique ou l'éolien,

¹³⁰ Dans le canton de Genève l'autonomie communale est plus restreinte, le canton assumant la majeure partie des décisions

- les entreprises de développement solaire, qui trouvent des surfaces pour y installer des panneaux et font appel à des investisseurs pour financer les opérations ; elles revendent l'énergie produite au distributeur local,
- les purs financiers, pour lesquels le marché de l'énergie solaire est un placement comme un autre,
- les particuliers (entreprises, individus, groupes d'habitants, coopératives solaires, ...), non propriétaires de surfaces exploitables mais désireux de contribuer au développement du solaire, notamment par le biais du financement participatif qui permet d'élargir l'accès à la production d'énergie.

4.3.4 Qui monte et gère l'opération ?

Les compétences nécessaires au montage d'une opération de valorisation de l'énergie solaire, à sa réalisation et à sa gestion sur la durée constituent également un critère important. Ces opérations sont d'autant plus complexes que les installations impliquent un nombre important d'intervenants et de consommateurs.

Sur le marché du solaire thermique, moins dynamique que celui du PV, on s'intéresse depuis peu à l'efficacité de la mise en place de réseaux de chaleur à basse température à anergie¹³¹, avec le solaire thermique comme agent énergétique permettant de recharger des sondes géothermiques durant l'été. Ces concepts doivent être proposés aux promoteurs suffisamment tôt par les bureaux d'ingénieurs afin qu'ils puissent être partie intégrante du projet. Des formes de « contracting » sont envisageables avec une société tierce (tiers investisseur, services industriels) qui réalise et exploite le réseau anergie. Des installations pilote sont en phase de réalisation¹³².

Pour le PV, un choix fréquent est de faire appel aux services industriels locaux, dont la plupart proposent un service de développement et de gestion d'installations solaires photovoltaïques et éventuellement thermiques. L'entreprise investit, entretient et exploite une installation solaire sur le toit d'un tiers, qui consomme tout ou partie de la production à un prix compétitif, dans une logique d'« offre tout compris », avec de l'électricité 100% solaire. Ce modèle de « contracting solaire » s'adresse en priorité à des propriétaires possédant des bâtiments avec des surfaces exploitables d'une certaine taille (collectivités publiques, entreprises, propriétaires immobiliers).

Une alternative en plein essor est celle proposée par les entreprises de développement solaire indépendantes des collectivités publiques et des services industriels. La forme juridique de ces entreprises peut varier, de la société anonyme à la coopérative solaire.

Les coopératives solaires se distinguent par un engagement plus grand de leurs coopérateurs-investisseurs et par un ancrage plus local, donc a priori une connaissance du terrain et de ses enjeux plus fine que celle d'entreprises de développement solaire intervenant à une échelle plus grande, sur plusieurs pays. Elles offrent un soutien à la mise en place de projets d'autoconsommation et une assistance à maîtrise d'ouvrage pour les propriétaires.

4.3.5 Qui installe ?

La pose d'une installation solaire thermique implique un nombre relativement important de corps de métiers. Le plus souvent, c'est le fournisseur des panneaux solaires thermiques qui s'occupe de leur pose. Soit il dispose du personnel qualifié maîtrisant les travaux de couverture et ferblanterie, soit il faut avoir recours à une entreprise locale pour assumer ces travaux tant au niveau préparatoire (dépose de la

¹³¹ Ce type de réseau tire parti de l'« anergie », littéralement des « énergies perdues » inhérentes au fonctionnement quotidien des bâtiments — chaleur fatale des installations industrielles, rejets thermiques issus de la climatisation, énergie solaire reçue par les façades et les toitures, etc. — en les captant, les stockant et les redistribuant à travers des réseaux locaux

<http://blog-fr.amstein-walthert.ch/anergie-le-reseau-dechange-thermique-intelligent-et-renouvelable/#.WxFEsoouDIU>

¹³² http://www.lsta.lt/files/events/2016-04-18_EHPkonfer/Pranesimai/Stadtekongress/T.Gautschi.pdf

couverture, préparation du support, sous couverture pour le cas de bâtiments existants) qu'au niveau des finitions une fois les capteurs posés et raccordés entre eux. L'entreprise de chauffage s'occupe des raccordements hydrauliques à l'installation principale (chauffe-eau solaire, générateur de chaleur auxiliaire), des aspects de régulation et de la mise en service.

Pour les installations photovoltaïques, la configuration est assez semblable, sauf pour les petites installations. Dans ce cas, la simplicité de mise en œuvre et de raccordement du champ de capteurs et la standardisation des pièces de fixation sur la couverture existante signifient que c'est souvent l'entreprise électrique locale qui s'occupe de la fourniture, de la pose et du montage des panneaux en toiture si ces derniers sont rapportés et non pas intégrés dans la couverture. Dans d'autre cas de figure la présence d'un couvreur/ferblantier local sera nécessaire. L'entreprise électrique est chargée du raccordement de l'onduleur et de la mise en place du système de comptage. Ces dernières années, le subventionnement important des installations PV a vu l'éclosion de nombreuses entreprises sur ce marché profitable, qui ne disposaient de loin pas toutes du savoir-faire nécessaire. Vu la facilité d'approvisionnement de panneaux PV, qui peuvent même être achetés en kit prêt à l'installation, il y a un enjeu de sensibilisation et de qualité important à faire valoir par les services cantonaux et communaux concernés, tant auprès des propriétaires que des associations professionnelles (architectes, ingénieurs, installateurs).

Ces considérations sont valables pour les installations les plus basiques, en pose rapportée ou intégrée simple. Les installations dont l'intégration doit faire l'objet d'un soin particulier et, a fortiori, les installations sur mesure, doivent faire appel à des spécialistes qui maîtrisent les codes et règles de qualité de l'architecture. Sur les monuments historiques, la pose de panneaux solaires, soumise à autorisation et suivie par les services des monuments historiques, est particulièrement délicate et le montage assuré par des professionnels habitués à ces contraintes.

4.3.6 Qui consomme ?

Les consommateurs finaux de la chaleur solaire thermique sont le plus souvent des ménages privés occupant des maisons individuelles ou des immeubles de logement collectifs ainsi que l'industrie, avec la production de chaleur pour processus industriels. L'utilisation de la chaleur solaire pour la climatisation connaît un développement intéressant. Les installations destinées aux piscines sont l'exploitation la plus rentable de l'énergie solaire thermique, par rapport à la simplicité de l'installation et au service rendu. Dans plusieurs cantons, le recours aux énergies renouvelables est devenu obligatoire pour le chauffage des piscines en plein air.

L'électricité photovoltaïque est consommée par tous, mais le recours à une production d'origine solaire (plus généralement basée sur des ressources renouvelables) peut être l'objet d'un choix tant de la part des collectivités publiques (équipements, écoles, ...) que des entreprises (industries, services, ...) que des ménages privés. Favorisé par le canton et/ou la commune, ce choix peut être proposé par les services industriels locaux, l'origine de cette électricité « verte », vendue à un tarif supérieur, étant garantie. Dans le cas de l'autoconsommation, la corrélation entre lieu de production et lieu de consommation est directe, tout comme le choix de cette ressource renouvelable.

4.3.7 Qui reçoit les bénéfices ?

Les propriétaires-investisseurs de maisons individuelles, propriétés par étage, entreprises et bâtiments publics bénéficient de la valorisation de l'énergie solaire sur leurs surfaces exploitables par une réduction des charges des constructions alimentées en chaleur ou électricité solaire, après amortissement des investissements.

L'énergie autoconsommée est meilleur marché, dans la mesure où il n'y a ni frais de transports ni de stockage ni taxes. L'autoconsommation permet un amortissement plus rapide de l'investissement, mais implique un effort et un engagement de la part des acteurs concernés, propriétaire des surfaces exploitables, investisseur, développeur de l'installation et gestionnaire du réseau.

Le tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque injectée variant fortement, ses bénéficiaires sont aussi différents. Un tarif de rachat élevé bénéficie au producteur et constitue de facto une mesure d'encouragement forte, alors qu'un tarif de rachat bas a tendance à limiter la production solaire au minimum obligatoire et pour un niveau d'autoconsommation planifié. Le choix de produire un surplus d'électricité d'origine solaire à mutualiser est donc fortement lié au niveau du tarif de rachat.

L'investissement dans le financement de centrales solaires, que ce soit par l'intermédiaire d'entreprises de développement solaire ou d'un financement participatif porté par une entreprise d'électricité, une collectivité publique ou des privés, offre actuellement un rendement supérieur à celui des comptes bancaires. Ce rendement est obtenu par le différentiel entre le coût de production de l'électricité solaire et son prix de vente aux consommateurs finaux (autoconsommation) ou à l'entreprise d'électricité locale (injection dans le réseau).

4.4 EXEMPLES DE VALORISATION

Les modalités de valorisation de l'énergie solaire peuvent être très diverses, et dépendent de l'environnement dans lequel s'inscrit le projet, des acteurs concernés, du mode de consommation. Les exemples suivants illustrent des expériences réalisées ces dernières années. Nullement exhaustifs, ils témoignent du champ très large des solutions possibles, champ qui est aujourd'hui en pleine ébullition. Ils concernent la valorisation du PV, mais pourraient être adaptés au TH. Dans ce domaine, on voit progressivement émerger des concepts basés sur des principes exploitant au mieux les possibilités de stockage/déphasage¹³³ saisonnier de l'énergie solaire thermique, tant à l'échelle d'un bâtiment qu'à celui d'un quartier.

Certains de ces exemples de valorisation ont pour objectif premier la production d'électricité solaire, et s'adressent à des propriétaires de surfaces exploitables de grande dimension, de dimension moyenne ou de faible dimension, en autoconsommation ou dans une logique d'injection dans le réseau.

D'autres exemples mettent plus l'accent sur la mutualisation de la production solaire ; ils s'adressent en priorité à tous ceux qui souhaitent participer à l'effort de production d'énergie renouvelable, principalement les locataires, mais aussi les propriétaires de bâtiments ne se prêtant pas facilement à la pose de panneaux solaires, en raison d'une intégration architecturale difficile (bâtiment protégé ou situé dans un périmètre non adapté) ou de limitations techniques (mauvaise irradiation, surfaces peu adaptées, toitures encombrées, ...). Ils peuvent aussi intéresser des propriétaires qui ne souhaitent pas se lancer dans ce genre d'opération mais qui reconnaissent l'importance de l'approvisionnement en énergie solaire.

Les exemples mettent également en évidence le rôle moteur de différents acteurs dans la valorisation de l'énergie solaire : la commune, les services industriels locaux, les investisseurs privés, les particuliers.

4.4.1 La commune, moteur de la valorisation de l'énergie solaire

4.4.1.1 Bourse solaire communale de Renens

La commune de Renens a adopté la forme coopérative pour sa Bourse solaire communale et propose à ses habitants de souscrire des parts sociales de la coopérative, afin de financer l'installation de panneaux solaires sur les toitures des bâtiments communaux, dans un premier temps, avant de solliciter celles des entreprises implantées sur le territoire communal.¹³⁴

Cet exemple à initiative communale permet la valorisation des propriétés municipales par l'implication des habitants. Il constitue un modèle intéressant pour enclencher un mouvement participatif et une prise de conscience du potentiel solaire de la commune.

¹³³ Par exemple le système 2SOL, <http://www.2sol.ch/fr> (consulté le 31.5.18)

¹³⁴ <http://www.24heures.ch/vaud-regions/lausanne-region/renens-mise-solaire-mode-participatif/story/21072903>

Dans le cadre d'une planification solaire globale, il peut constituer le premier volet d'une stratégie communale à long terme, qui met en évidence les enjeux relatifs à la culture du bâti, les possibilités de mutualisation et l'existence d'opportunités de valorisation simple et accessible à toutes et à tous.

4.4.1.2 Centrale solaire participative d'Yverdon-les-Bains VD

La centrale solaire participative d'Yverdon-les-Bains, Cité de l'énergie depuis 2010, a pour but de permettre aux particuliers d'investir en toute sécurité et d'augmenter significativement la part d'énergie renouvelable produite localement. La proposition s'adresse aux investisseurs potentiels que sont les locataires, les propriétaires de maisons historiques du centre-ville, les propriétaires en propriété par étage (PPE) et les propriétaires qui ne souhaitent pas avoir les soucis d'une installation solaire propre. La commune, propriétaire de l'installation, passe une première convention avec le propriétaire du bâtiment pour la location de la toiture concernée et une seconde convention avec les investisseurs. La commune joue le rôle d'une plateforme de financement participatif et le capital est souscrit via des parts de CHF 500.-, avec une rétribution en fonction de la production électrique. La propriété de la centrale reste à la commune qui en assure l'exploitation via ses services industriels.¹³⁵

La démarche s'adresse à des propriétaires et des locataires qui ne peuvent ou ne veulent pas s'équiper d'une installation solaire. Cet exemple est un modèle intéressant pour les périmètres non prioritaires ou à priorité faible* pour la valorisation de l'énergie solaire, tels que définis dans le chapitre 3.4. La commune y joue le rôle d'interface entre les propriétaires de surfaces exploitables et les habitants qui désirent participer à l'effort d'augmentation de la part d'énergies renouvelables.

Dans le cadre d'une planification solaire globale, cette démarche devrait fournir une expertise aux propriétaires des surfaces exploitables pour une intégration architecturale de qualité.

4.4.1.3 Groupements d'achat solaire Regione Generoso TI

Quatre communes tessinoises situées sur les pentes du Monte Generoso ont créé deux groupements d'achat de matériel solaire, ce qui a encouragé de nombreux propriétaires de biens immobiliers à réaliser leurs propres installations solaires. Cette opération a permis à fin 2014 la mise en place de 35 installations thermiques (220 m²) et 50 installations photovoltaïques (350kWc), avec des gains d'environ 50% sur le prix du TH et de 15 à 20% pour le PV.¹³⁶

Cet exemple à initiative intercommunale, qui réunit des propriétaires intéressés à s'équiper, permet des économies d'échelle et une réduction des coûts parfois substantielle sur les installations. Le modèle est intéressant pour les périmètres ou parties de périmètres à priorité moyenne** pour la valorisation de l'énergie solaire, quartiers résidentiels à faible densité ou quartiers de villas, avec une majorité de propriétés individuelles ou de copropriétés.

Dans le cadre d'une planification solaire globale, cette démarche groupée devrait comprendre des critères relatifs à la culture du bâti, en proposant aux propriétaires des règles de pose des panneaux solaires permettant une intégration architecturale de qualité.

4.4.1.4 SI REN SA, Lausanne

Société privée aux mains de la Ville de Lausanne, SI-REN SA s'est fixée comme objectif de produire 30 GWh/an, couvrant les besoins d'environ 10'000 ménages consommant chacun 3'000 kWh/an. La démarche se base sur le cadastre solaire lausannois et cible les toits bien orientés, d'une surface de plus de 25 m².¹³⁷

Dans cet exemple, la commune se donne pour objectif d'augmenter la part d'électricité solaire produite sur son territoire, en s'adressant directement aux propriétaires de surfaces exploitables au potentiel

¹³⁵ http://www.adnv.ch/fileadmin/user_upload/Communes_documents/27.11.14_Expose_Thuillard.pdf

¹³⁶ <https://www.solaragentur.ch/fr/node/378>

¹³⁷ <http://www.si-ren.ch/>

intéressant et en finançant les installations par l'intermédiaire de sa société. Le modèle est intéressant pour les périmètres à priorité moyenne** ou faible*, présentant des potentiels bien identifiés.

Dans le cadre d'une planification solaire globale, cette démarche ciblée vis-à-vis des propriétaires de surfaces exploitables devrait fournir une expertise pour une intégration architecturale de qualité.

4.4.2 Les services industriels locaux, moteurs de la valorisation de l'énergie solaire

4.4.2.1 ewz SolarZüri ZH et Ma parcelle solaire ESR VS

Dans le modèle promu par les services industriels de Zurich, l'« achat » par un particulier d'un m² de panneau coûte CHF 250.- et donne droit à 80 kWh/an de courant solaire, ce qui couvre environ 5% de la consommation d'un appartement de 4 pièces. Le prix du courant est fixé pour 20 ans. En cas de déménagement hors de Zurich, le droit peut être transféré à des tiers ou retourné au distributeur. Cette initiative concerne aujourd'hui plus de 2500 ménages.¹³⁸

ESR / énergies sion région, pour sa part, propose à ses clients d'être auto-producteurs en devenant « locataires » de panneaux PV sur l'une des installations de son parc solaire. En 2017, pour CHF 2,20 par mois, on peut louer un m² de « parcelle solaire » qui produira environ 150 kWh/an.

Cette production est directement déduite de la consommation sur la facture d'électricité. Les avantages cités par l'entreprise électrique sont :

- être producteur d'énergie renouvelable, sans souci de maintenance,
- bénéficier d'électricité photovoltaïque au meilleur prix,
- connaître à l'avance le montant à payer,
- pouvoir choisir la taille de la parcelle solaire en fonction des besoins,
- conserver sa production photovoltaïque en cas de déménagement.

Ces démarches proposées à leurs clients par les services industriels locaux leur permettent de financer des installations solaires photovoltaïques tout en gardant le contrôle de la production et de la consommation et en favorisant l'implication citoyenne. Il s'agit d'un modèle de base, sans lien particulier avec le lieu de production, mais qui pourrait être adapté pour la valorisation de périmètres à priorité élevée***, notamment ceux qui sont engagés dans une forte mutation.

4.4.2.2 Autoconsommation avec les Services industriels de Genève SIG GE

Les Services industriels de Genève SIG sont engagés dans des projets de production d'électricité solaire en autoconsommation, en collaboration avec divers propriétaires de grandes surfaces exploitables, publics ou privés.

Les Transports publics genevois (TPG) ont équipé les toitures des bâtiments du siège administratif et centre de maintenance de Lancy d'une centrale solaire photovoltaïque de 5'496 m², mise en service en juillet 2014. La production de la centrale, de 700'000 kWh/an, correspond à la consommation de 175'000 km de parcours de tramway par an. 50% de la production est consommée sur place, permettant une réduction de la facture d'électricité de 10 à 12%, le solde étant revendu aux SIG et injectés dans le réseau. Les panneaux ont été installés par une société privée et le soutien technique pour la connectique a été assuré par SIG.

La reconstruction de la halle industrielle-artisanale « Sablière » à Meyrin a été l'occasion d'y établir une centrale PV de 2'220 m², avec la mise en place d'un groupement d'autoconsommateurs dans un partenariat entre le propriétaire et les SIG. Le taux d'autoconsommation est proche de 45%.

¹³⁸ <https://www.ewz.ch/de/private/energie-produzieren/an-solaranlage-beteiligen.html>

À l'école de la Tambourine, sur la commune de Carouge, le projet d'installation photovoltaïque de 662 m², mise en service en décembre 2013, a été réalisé en collaboration entre la commune et les SIG ; ces derniers sont propriétaires de l'installation pendant 25 ans, la surface est mise à disposition pour un loyer annuel symbolique de 1 CHF; à la fin du contrat de 25 ans, l'installation revient à la ville de Carouge. Les SIG revendent le courant à la Ville de Carouge au tarif de l'électricité 100% solaire, le plus élevé. Le taux d'autoconsommation est de 100% avec un léger excès de production par rapport aux besoins.

Ces exemples montrent l'implication croissante des services industriels locaux dans des projets d'autoconsommation. Ayant dans un premier temps privilégié des opérations d'une certaine ampleur, ils sont de plus en plus amenés à répondre à une demande en constante augmentation, notamment du côté du logement collectif.

Dans le cadre d'une planification solaire globale, la prise en charge de la valorisation du potentiel solaire d'un périmètre à priorité élevée*** pourrait être confiée aux services industriels locaux, dont une des missions est la mise en œuvre de la politique publique de l'énergie. Cette démarche coordonnée en amont avec l'ensemble des acteurs devrait intégrer des critères relatifs à la culture du bâti, en proposant aux propriétaires des règles de pose des panneaux solaires permettant une intégration de qualité, voire des solutions innovantes d'intégration architecturale.

4.4.3 Les investisseurs privés, moteurs de la valorisation de l'énergie solaire

4.4.3.1 PrimeEnergy CleanTech SA

PrimeEnergy CleanTech SA a constitué depuis 2005 un portefeuille énergétique de 52 centrales solaires photovoltaïques en Europe, qui injecte dans le réseau un total de 23 GWh d'énergie par année, principalement en Allemagne. La société propose des investissements par le biais d'obligations. Elle développe de nombreux projets en Suisse, notamment dans des zones industrielles.¹³⁹

Cette entreprise de développement solaire offre un service complet, du financement à la pose et à la gestion de l'installation. Elle s'adresse à des propriétaires de surfaces exploitables de grande dimension, entreprises industrielles, centres commerciaux ou autres, pour lesquels cette démarche peut contribuer à une valorisation de leur image, sans risques, avec une garantie d'expertise et de service. C'est un modèle intéressant pour la valorisation de l'énergie solaire dans des périmètres à priorité élevée*** de zones industrielles, artisanales et commerciales, le modèle d'affaires de l'entreprise de développement solaire consistant précisément à démarcher les propriétaires de ce type de surfaces exploitables.

4.4.4 Les particuliers, moteurs de la valorisation de l'énergie solaire

4.4.4.1 Optima Solar – coopératives solaires SO / BE / FR

La première coopérative Optima Solar a été créée à Soleure en 2011, suivie de près par d'autres coopératives, qui se sont fédérées en 2013 sous l'appellation Fédération des coopératives Optima Solar Suisse. Ses fondements sont de rendre la production d'énergie solaire possible pour tous, de contribuer au développement d'énergies renouvelables, d'augmenter la valeur du capital de la coopérative et de rétribuer les parts sociales par un intérêt raisonnable. Le bénéfice est réinvesti dans de nouvelles installations. Elle compte aujourd'hui trois coopératives locales (Soleure, Worblental et Fribourg) et 28 installations et offre son expérience et ses compétences afin de soutenir la création de coopératives régionales à travers toute la Suisse.¹⁴⁰

La première centrale solaire d'Optima Solar Fribourg est entrée en service au printemps 2017. 85 coopérateurs ont apporté les CHF 240'000.- de capital nécessaire pour financer l'installation de 1000 m² sur le toit d'un bâtiment industriel à Givisiez loué par la coopérative.

¹³⁹ <http://www.prime-energy-cleantech.ch>

¹⁴⁰ <https://www.optimasolar-schweiz.ch/>

Comme de nombreuses autres coopératives solaires, Optima Solar offre une assistance à maîtrise d'ouvrage pour tous ceux, propriétaires de surfaces exploitables et consommateurs, qui privilégient une appropriation citoyenne de l'énergie, tant sur le plan technique que financier et de fonctionnement énergétique global. Ce modèle peut être envisagé dans le cadre d'une valorisation participative du potentiel solaire, notamment celui des surfaces exploitables appartenant à des collectivités publiques ou parapubliques.

4.4.4.2 EnerKo – coopérative d'énergie participative

Formant la première communauté d'autoconsommateurs de Genève dans un immeuble de logements locatifs et coopératifs à très haute performance énergétique, des habitants de l'immeuble de la rue Soubeyran 7 ont également créé la coopérative d'énergie participative EnerKo pour le financement et la gestion de leur installation PV. Si tous les habitants ne sont pas devenus membres d'EnerKo, ils sont tous membres de la communauté d'autoconsommateurs. L'installation a bénéficié d'une subvention fédérale de CHF 16'390.-, pour un coût total de quelque CHF 60'000.-. Le courant est vendu aux autoconsommateurs à 22cts/kWh (HT), soit à un tarif plus bas que celui du courant solaire des Services industriels de Genève.¹⁴¹

Cette démarche proactive, qui implique habitants – consommateurs dans tout le processus, leur donne la maîtrise de leur consommation et plus largement de leur contribution aux objectifs d'une politique de l'énergie qui vise la réduction des besoins et le développement des ressources renouvelables. L'exemple s'applique dans tous les projets de valorisation de l'énergie solaire à forte dimension participative, dans une logique d'autoconsommation.

4.5 STRATÉGIES COMMUNALES DE MISE EN ŒUVRE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE

La mise en place de stratégies de valorisation du potentiel solaire, basées sur une planification globale raisonnée et s'adressant de façon large à tous les acteurs présents dans la commune, permet d'enclencher une dynamique vertueuse préservant les sites bâtis tout en poursuivant des objectifs énergétiques ambitieux.

Pour une commune, l'identification des enjeux et des valeurs liées aux qualités urbanistiques, architecturales et patrimoniales, le calcul du potentiel solaire présent sur son territoire et la définition de périmètres prioritaires pour la valorisation de l'énergie solaire dans le respect de la culture du bâti ne constituent que la première étape d'une planification solaire globale. Ces résultats doivent être transformés en action à travers des stratégies de mise en œuvre à l'initiative de la commune.

En effet, même si elle ne dispose pas forcément de tous les leviers nécessaires à cette mise en œuvre, la commune joue le rôle d'une interface entre tous les acteurs concernés. Disposant d'une connaissance fine de son territoire, des problématiques présentes, des perspectives à court, moyen et long terme, des rapports de force, des opportunités et des points durs, elle est la mieux placée pour mettre en place une telle stratégie, en fonction de son calendrier propre et des priorités qu'elle souhaite se donner. En outre, la commune a un devoir d'exemplarité, par la valorisation optimale des surfaces exploitables dont elle est propriétaire et par la qualité d'intégration architecturale exigée dans ses propres projets.

La planification solaire globale à l'échelle d'une commune permet de dépasser les opérations individuelles, qu'elles soient à l'initiative de propriétaires de toitures ou à celles d'investisseurs, pour mettre l'accent sur les périmètres les plus qualifiés pour une exploitation efficiente et rentable du potentiel solaire, et la plus judicieuse en termes de qualité de la culture du bâti.

La commune a un rôle clé à jouer dans la préservation de son patrimoine, dans le maintien et la création d'une culture du bâti de qualité et dans la promotion des énergies renouvelables sur son territoire,

¹⁴¹ www.habitation.ch/wp-content/uploads/2017/09/sommaire2_2017_3.pdf

notamment à travers la promotion d'installations collectives et de mutualisation de la production sur les périmètres prioritaires.

Par l'intermédiaire de son exécutif et des services concernés, la commune devrait assumer le rôle de chef d'orchestre :

- vis-à-vis du canton, en collaboration avec lequel elle doit adapter les plans d'affectation et mettre en œuvre les décisions de planification,
- vis-à-vis du conseil municipal, qui doit approuver les mesures de mise en œuvre de la planification solaire de la commune et, le cas échéant, en voter le financement,
- vis-à-vis des propriétaires, dont elle est l'interlocutrice privilégiée, et qui sont en première ligne pour la valorisation de l'énergie solaire, soit parce qu'ils possèdent des surfaces exploitables intéressantes, soit parce que leurs bâtiments ne se prêtent pas à la pose d'installations solaires et qu'il faut les informer des alternatives possibles,
- vis-à-vis des habitants de la commune, qu'elle doit sensibiliser aux enjeux de la culture du bâti et de la préservation du patrimoine bâti dans le développement de l'énergie solaire,
- vis-à-vis des professionnels qui interviennent sur les bâtiments et dans les projets d'aménagement, pour obtenir une intégration de haute qualité dans l'environnement bâti existant et futur.

Elle pourrait par exemple :

- présenter les résultats de l'étude de la planification solaire globale, aux acteurs concernés (conseil municipal, propriétaires, population),
- faire connaître le statut des différents périmètres du territoire communal,
- afficher des ambitions et objectifs en termes de production solaire locale (en % de la consommation des habitants de la commune),
- définir une stratégie pour valoriser le potentiel des périmètres selon leur degré de priorité pour la production solaire,
- mettre à disposition les surfaces exploitables adaptées des bâtiments communaux,
- solliciter l'implication des autres propriétaires publics, parapublics et privés avec des mesures ciblées,
- proposer aux habitants de la commune la possibilité de participer à l'effort collectif, à travers un modèle d'investissement participatif.

Au niveau réglementaire, les mesures à prendre dans le cadre d'une stratégie communale de mise en œuvre de la planification solaire globales sont :

- l'intégration des résultats de la planification solaire dans les instruments de planification directrice (plan directeur communal) et dans les études directrices,
- leur traduction dans les instruments de planification impérative (dossiers de construction, autorisation de construire, rénovations, transformations, ...).

Les auteurs de l'étude considèrent que les instruments de planification actuellement à disposition au niveau fédéral, cantonal et communal sont suffisants pour permettre à la planification solaire globale de déployer ses effets et de contribuer à un développement harmonieux de l'énergie solaire et de la culture du bâti. L'apport essentiel d'une planification est de considérer le territoire communal dans son ensemble et de faire entrer en dialogue et en cohérence des considérations – enjeux d'aménagement, valeurs patrimoniales et de culture du bâti, objectifs énergétiques, etc. - qui sont trop souvent évaluées indépendamment les unes des autres.

5. L'ÉTAT DES LIEUX DE L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE

5.1 CONTEXTE POLITIQUE ET LÉGAL ET CONDITIONS CADRE

La *Conception générale de l'énergie (CGE)*, adoptée par le Grand Conseil en septembre 2015, définit les orientations durables de la politique cantonale avec des objectifs en termes d'émissions de CO₂ et de consommation globale d'énergie fossile et électrique pour le canton de Genève. Elle précise les bases sur lesquelles cette politique se fonde : les constitutions fédérale et genevoise, les lois sur l'énergie et le CO₂, les obligations contractées par la Suisse dans le cadre du protocole de Kyoto, les principes du développement durable et la vision à long terme d'une société à 2000 watts sans nucléaire.¹⁴²

Le développement prioritaire des énergies renouvelables et indigènes est inscrit dans l'article 167 de la *Constitution genevoise* du 14 octobre 2012, qui encourage également la recherche dans ce domaine.¹⁴³

Dans la *Conception générale de l'énergie*, le Conseil d'État propose pour Genève¹⁴⁴ les jalons suivants en matière de consommation d'énergie finale. Par rapport au niveau de l'an 2000, il s'agit de :

- réduire la consommation énergétique annuelle moyenne par personne de 15% d'ici 2020 et de 35% d'ici 2035,
- réduire la consommation d'énergie thermique (combustibles et chaleur) par personne de 18% d'ici 2020 et de 37% d'ici 2035,
- réduire la consommation d'électricité par personne de 2% d'ici 2020 et de 9% d'ici 2035.

En matière de production électrique, la *Conception générale de l'énergie* entend doubler la production photovoltaïque tous les 5 ans pour atteindre une production annuelle de 45 GWh en 2020 et de 380 GWh en 2035, ce qui correspondrait à 12% de la consommation actuelle d'électricité, alors qu'en 2012 seul 0,5% de la consommation du canton était couvert par la production solaire. En matière de consommation d'énergie thermique, le Conseil d'État souhaite que le canton contribue de manière substantielle à ce développement des potentiels thermiques indigènes, notamment en multipliant par 10 d'ici 2035 le solaire thermique et en installant de 5'000 à 10'000 m² de capteurs thermiques par an.¹⁴⁵

Le *Plan directeur cantonal de l'énergie* reprend les orientations de la *Conception générale de l'énergie* et les traduit en objectifs chiffrés.¹⁴⁶ Il établit également l'inventaire des actions nécessaires à leur réalisation. Ses priorités sont :

- la maîtrise et la réduction des consommations pour tous les usages, grâce à des bâtiments à haute performance énergétique et des équipements plus efficaces,
- des systèmes de transformation efficaces (p. ex : couplage chaleur-force),
- un usage local des énergies renouvelables et des rejets thermiques,
- un approvisionnement en énergies certifiées de bonne qualité.

¹⁴² RD 986 - Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013 <http://ge.ch/grandconseil/search?search=RD+986> et site de l'Office cantonal de l'énergie : <http://ge.ch/energie/contexte-legal>

¹⁴³ Constitution de la République et canton de Genève du 14 octobre 2012, section 3, article 167

¹⁴⁴ Dans le texte le terme de Genève est régulièrement utilisé pour désigner le canton de Genève

¹⁴⁵ RD 986 - Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013 <http://ge.ch/grandconseil/search?search=RD+986>, pp. 15-18

¹⁴⁶ Le Plan directeur de l'énergie actuellement en vigueur correspond à la législation 2005 – 2009.

http://ge.ch/energie/media/energie/files/fichiers/documents/plan_directeur_cantonal_de_lenergie.pdf (vérifié le 19.06.2018)

Le *Plan directeur cantonal de l'énergie* actuel s'articule autour de 13 programmes d'actions¹⁴⁷ :

- filières énergétiques efficaces et basées sur des sources renouvelables,
- planification énergétique territoriale et développement des réseaux,
- mesures obligatoires : application des prescriptions légales, des procédures de décision, de contrôle et de sanction,
- mesures d'incitations : subventions pour bien construire et bien rénover,
- mesures volontaires : maîtrise de la consommation d'énergie (secteur privé),
- exemplarité de l'État et des collectivités publiques,
- mobilité : mobilité douce, éco-drive, exonération de taxe,
- information et sensibilisation des professionnels et du grand public,
- formation des professionnels et sensibilisation des jeunes,
- révision des textes légaux, mise à jour et élaboration de standards énergétiques,
- développement d'un système d'information et de suivi des mesures de la politique cantonale,
- optimisation de l'utilisation des ressources de l'Office cantonal de l'énergie,
- coordination des politiques publiques et renforcement des réseaux de relations et partenariats.

De son côté, la *Loi cantonale sur l'énergie (LEn 2 30)* prévoit des mesures concernant les constructions neuves mais aussi l'assainissement du parc immobilier existant, afin de diminuer la consommation d'énergie et de remplacer progressivement les sources d'énergie fossiles par des sources d'énergie renouvelables. Chaque projet d'aménagement du territoire doit comporter une étude des ressources énergétiques potentiellement utilisables – en priorité locales et d'origine renouvelable – de la géothermie à la biomasse en passant par les rejets thermiques des industries.

Afin d'atteindre ces objectifs, le législateur renforce les exigences pour les bâtiments neufs et les rénovations, en particulier pour les bâtiments d'importance¹⁴⁸ l'élaboration d'un concept énergétique est obligatoire. Tous les bâtiments neufs doivent être conformes à un standard de haute performance énergétique. La *Loi cantonale sur l'énergie (LEn 2 30)* généralise également l'installation de panneaux solaires thermiques sur toute nouvelle construction et sur les toitures rénovées.

En matière de planification énergétique territoriale, la *Loi cantonale sur l'énergie (LEn 2 30)* exige que les divers plans directeurs communaux soient coordonnés avec la *Conception générale de l'énergie* et le *Plan directeur des énergies de réseau*¹⁴⁹ ; elle impose la réalisation d'un concept énergétique territorial dans tous les plans directeurs localisés (→ chap. 8.3) La *LEn 2 30* établit le principe de l'exemplarité de l'État et des collectivités publiques.

En application de l'art. 18a de la LAT, l'article 1 al. 3 de la *Loi cantonale sur les constructions et installations diverses (LCI)* stipule depuis juin 2015 que

« les installations solaires situées en zone à bâtir et en zone agricole qui sont suffisamment adaptées aux toits, les installations solaires situées en zone à bâtir sur des toits plats et toutes celles qui sont situées en zone industrielle ne sont pas soumises à autorisation de construire. Elles sont obligatoirement annoncées au département. Demeurent réservées les dispositions relatives à la protection du patrimoine applicables à un immeuble ou un site. »¹⁵⁰

Cette disposition est encadrée par une directive cantonale émise par l'Office cantonal de l'énergie (OCEN), présentée plus en détail sous 5.5.

¹⁴⁷ Cf. site de l'Office cantonal de l'énergie de Genève (OCEN) : <http://ge.ch/energie/accueil-loi-sur-lenergie>

¹⁴⁸ LEn 2 30. Art. 6 al. 10 : « bâtiment reconnu comme tel du fait de l'importance de sa surface de référence énergétique ou de la puissance énergétique de ses installations »

¹⁴⁹ Annexe 1 du Plan directeur cantonal de l'énergie 2005-2009

¹⁵⁰ Loi cantonale sur les constructions et installations diverses (LCI) : https://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_l5_05.html

5.2 PRESCRIPTIONS CANTONALES ET MESURES INCITATIVES

La législation cantonale exige que

« tout nouveau bâtiment ou toute extension d'un bâtiment existant [soient] en principe équipés de capteurs solaires thermiques, lesquels couvrent au minimum 30% des besoins de chaleur admissibles pour l'eau chaude sanitaire. »¹⁵¹

La même obligation s'applique aux rénovations de toitures. Le règlement prévoit des exceptions, notamment lorsque les besoins sont couverts par d'autres énergies renouvelables, en cas de toiture mal orientée, ou, pour ce qui concerne les rénovations, de coûts disproportionnés.

Cet objectif de 30% de la couverture des besoins en eau chaude sanitaire représente 3 à 5% des besoins thermiques d'un bâtiment existant avec indice de dépense de chaleur (IDC) moyen, 15% pour un bâtiment neuf.

Pour ce qui concerne les mesures d'incitation spécifiques au solaire thermique en 2018, le canton de Genève¹⁵² applique le *Modèle d'encouragement harmonisé des cantons* (ModEnHa 2015)¹⁵³ devenu la base unique pour tous les cantons depuis 2017 et qui tient compte des propositions figurant dans le *Programme Bâtiment*.

Pour le photovoltaïque, il n'existe dans le canton de Genève aucune prescription ni mesures incitatives en dehors des dispositifs de rétribution du courant définis au niveau fédéral.

5.3 PRODUCTION SOLAIRE THERMIQUE ACTUELLE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE

5.3.1 Production solaire thermique actuelle dans le canton de Genève

5.3.1.1 Sources d'information et méthodologie

Les informations relatives à la production d'énergie solaire thermique proviennent de quatre sources:

- l'Office cantonal de la statistique (OCSTAT),
- l'Office cantonal de l'énergie (OCEN),
- la Ville de Genève,
- les Services industriels de Genève (SIG), programme « Chaleur renouvelable ».

Les données de l'OCSTAT et celles relatives aux subventions attribuées par l'OCEN sont concordantes. Les 3'000 m² des installations de la Ville de Genève, qui n'ont pas fait l'objet de subventions, ont été comptabilisées en sus.

Il est possible que certaines installations qui n'ont pas fait l'objet d'une subvention ne figurent pas dans les calculs. A contrario, certaines installations annoncées ci-dessous ne fonctionnent plus ou seulement en capacité limitée.

5.3.1.2 Situation du solaire thermique à Genève

Sur les 48'000 bâtiments du canton, l'OCSTAT comptabilise en 2014 environ 2'000 bâtiments avec des installations solaires thermiques pour la production de l'eau chaude sanitaire (ECS), totalisant environ

¹⁵¹ Loi cantonale sur l'énergie (L En), art. 15

¹⁵² <http://www.genergie2050.ch> (consulté le 19.04.2018)

¹⁵³ https://www.endk.ch/fr/ablage_fr/documentation/hfm2015-f-1-1.pdf (consulté le 19.04.2018)

43'000 m² de capteurs. Environ 90% des installations sont réalisées sur des bâtiments lors de leur construction à neuf.

La plupart des installations solaires thermiques (1'319) est réalisée sur des villas, mais le total des surfaces installées sur des immeubles résidentiels est plus élevé, tout comme la production.

En considérant une production énergétique de 450 kWh/m²/an d'une installation TH, la production solaire thermique maximale du canton peut être estimée à 19.5 GWh/an (état 2014), soit environ 0.4% de la production d'énergie thermique totale.¹⁵⁴ La marge de progression est donc considérable.

	Catégories (réf. OCSTAT et SIG)	Nb. bâtiments (-)	Surf. capteurs (m2)	production (GWh/a)
bâtiments d'habitation	bâtiments à plusieurs logements	478	23 864	10.7
	villas (bâtiments à un seul logement)	1 319	12 783	5.8
	bâtiments mixtes	119	1 897	0.9
bâtiments non résidentiels	activités	51	3 644	1.6
	équipements collectifs	29	867	0.4
	autres non résidentiels	7	305	0.1
		2 003	43 360	19.5

Tableau récapitulatif du solaire thermique à Genève, 2014 ¹⁵⁵

5.3.2 Production solaire thermique actuelle dans la commune de Carouge

5.3.2.1 Sources d'information et méthodologie

L'identification des installations solaires thermiques existantes sur les toitures à Carouge est effectuée à partir de la base de données cantonale mise à disposition par l'OCEN. Ces données proviennent de deux sources d'information :

- les données relatives aux subventions solaires thermiques octroyées entre 1999 et 2016; les subventions sont automatiques jusqu'en 2010, quand la nouvelle *Loi sur l'énergie* rend obligatoire la couverture d'au moins 30 % des besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) par une source renouvelable, en général du solaire thermique. Dès 2011, les subventions correspondent à des installations qui dépassent le seuil minimum de 30% ,
- les données récoltées dans le cadre des autorisations de construire traitées par l'OCEN entre 2011 et 2016, où l'on retrouve notamment toutes les installations conformes au minimum légal, non subventionnées depuis 2010.

Dans le cas de Carouge, les installations identifiées ont été mises en place entre 2003 et 2015.

Sont répertoriées les surfaces de panneaux solaires installées sur les toitures et, dans certains cas, les types de panneau (capteur vitré, sous-vide) et d'utilisation (ECS, préchauffage). La production énergétique solaire est estimée sur la base des surfaces installées et d'un indice de production d'eau chaude sanitaire de 450 kWh/m²/an (selon www.swissolar.ch pour un capteur plan vitré).

Enfin, les données d'installations par bâtiment sont croisées avec les caractéristiques (affectation, époque de construction) de ces mêmes bâtiments, fournies par le *système d'information du territoire à Genève*¹⁵⁶ (SITG), sur la base d'un identifiant commun (n° EGID). Il convient de rappeler que les installations sont

¹⁵⁴ Production thermique totale basée d'une part sur les données statistiques cantonales de consommation de gaz et de mazout (OCSTAT) à Genève qui s'élevaient à 4'500 GWh en 2014, d'autre part sur une estimation de l'énergie produite par d'autres agents d'environ 700 GWh (réseau CAD basé sur les rejets de l'usine d'incinération, chaudières bois, PAC, solaire) à partir des données du SITG (indice de consommation, cadastre des chaudières), soit une consommation totale cantonale d'environ 5'200 GWh.

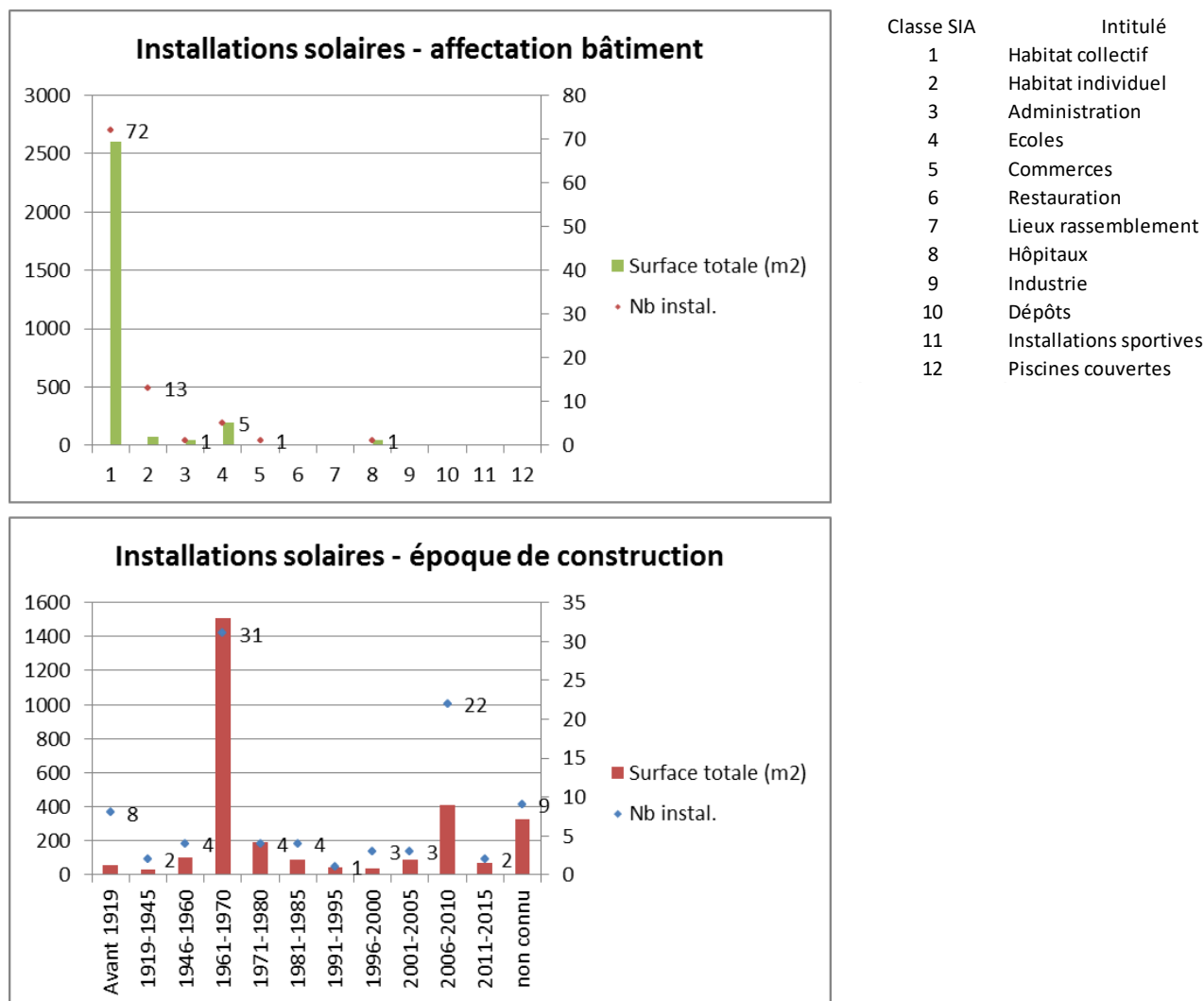
¹⁵⁵ Source : compilation de données collectées auprès de OCSTAT, OCEN, Ville de Genève, SIG

¹⁵⁶ <https://ge.ch/sitg/>

ramenées par bâtiment (ou adresse), ainsi une barre d'immeubles aura autant d'installations que d'entrées.

5.3.2.2 Résultats

En 2015, Carouge comptait 93 installations solaires thermiques pour une surface totale de 2'957 m² et une production estimée à 1.33 GWh/an.¹⁵⁷



Statistiques détaillées des installations solaires thermiques de tout Carouge par type d'affectation des bâtiments (selon les 12 classes SIA) et leur époque de construction¹⁵⁸ (état octobre 2016)

Si l'on détaille le nombre d'installations solaires thermiques par rapport au type d'affectation (selon les types d'affectation fournies par immeuble par le SITG), on constate que 91% d'entre elles concernent des bâtiments de logement, en particulier des ensembles d'habitation collectifs.

Une grande partie des installations se rapporte à des bâtiments de logement des années 1960 à 1980 (selon l'époque de construction définie par la couche bâtiment/SITG) qui ont fait l'objet récemment d'une rénovation partielle ou totale. Il s'agit en particulier de l'ensemble des Tours de Carouge, qui totalise à lui seul 28 installations et 45% de la surface totale installée à Carouge. À noter aussi un nombre significatif d'installations sur des bâtiments plus anciens (construits avant 1960) : 13 au total, dont 9 sur des bâtiments construits avant 1945 (2 installations dans le Vieux Carouge). Il s'agit dans tous les cas de bâtiments de logements (8 collectifs, 5 individuels).

¹⁵⁷ Il s'agit du potentiel thermique maximal calculé par le cadastre solaire genevois en octobre 2016 pour la production d'ECS qui porte uniquement sur les bâtiments actuels existants et qui ne tient pas compte de contraintes possibles. Le potentiel solaire effectif tenant compte du développement territorial et des enjeux patrimoniaux sera traité aux chapitres 6 et 7.

¹⁵⁸ Source: SITG/CAD_BATIMENT_HORS_SOL

En dehors des logements, on trouve 5 installations sur les établissements scolaires de part et d'autre de la route de Drize.

Avec l'entrée en vigueur des subventions solaires thermiques en 1999, les installations se font plus nombreuses à partir de 2006. Toutefois, sur les 15 bâtiments de logement construits à Carouge entre 2011 et 2015, on ne comptabilise que deux bâtiments équipés de panneaux solaires thermiques, alors que la loi impose la couverture d'au moins 30 % des besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) par une source renouvelable. L'hypothèse est que certains de ces bâtiments ont recours à une autre technologie renouvelable (PAC géothermiques, chaudière bois). Même si la base de données fournie par l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) n'est pas complète, comme le montre un bref examen d'une photographie aérienne, elle fournit un constat intéressant sur l'état des lieux du solaire thermique à Carouge, à savoir qu'une part non négligeable du potentiel thermique est déjà exploitée, notamment dans le cadre de rénovations d'ensembles bâtis modernes, en particulier l'ensemble des Tours de Carouge.

5.4 PRODUCTION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ACTUELLE DANS LE CANTON DE GENÈVE ET À CAROUGE

5.4.1 Production solaire PV actuelle dans le canton de Genève

5.4.1.1 Sources d'information et méthodologie

Les données relatives au solaire photovoltaïque dans le canton de Genève proviennent d'une base de données interne aux Services industriels de Genève (SIG) intégrant les demandes de raccordement des auto-producteurs et les informations sur les centrales solaires appartenant aux SIG.

5.4.1.2 Situation du solaire photovoltaïque à Genève

Selon les chiffres dont disposent les SIG, à fin 2015 la puissance de solaire photovoltaïque installée dans le canton était de 35.5 MW, la part des auto-producteurs s'élevant à 70.7%, avec 999 installations recensées pour un total de 25'164 kWc¹⁵⁹, soit 952 installations d'une puissance inférieure à 100 kWc, 47 d'une puissance supérieure à 100 kWc.

Les 40 centrales appartenant aux SIG totalisent pour leur part 10'424 kWc, représentant 29.3% de la puissance produite, la plus grande partie dans des installations de plus de 100 kWc.

Structure du parc PI / SIG raccordés		Réalisé					
(valeurs cumulées)		2010	2011	2012	2013	2014	2015
PI P <= 100 kWc	Puissance kWc	3'265	4'034	5'658	7'107	8'077	10'602
	nb	310	374	492	628	731	952
PI P > 100 kWc	P kWc	1'426	3'438	6'924	9'535	11'820	14'562
	nb	9	16	24	31	39	47
SIG P <= 100 kWc	P kWc	255	646	934	1'033	1'127	1'210
	nb	8	17	21	23	24	25
SIG P > 100 kWc	P kWc	2'216	2'606	7'904	9'066	9'066	9'214
	nb	3	5	10	14	14	15
total	P kWc	7'161	10'723	21'420	26'741	30'090	35'588
part P > 100 kWc		51%	56%	69%	70%	69%	67%
	nb	330	412	547	696	808	1'039
part nb P>100 kWc		4%	5%	6%	6%	7%	6%

PI = Centrales appartenant aux Producteurs indépendants - TOTAL : 25' 164 kWc

SIG = Centrales appartenant aux SIG - TOTAL : 10'424 kWc

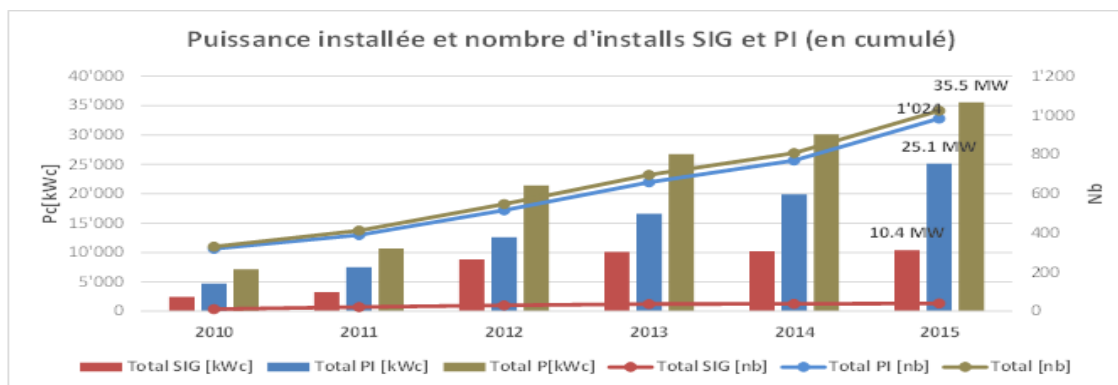
laire photovoltaïque : puissance installée à Genève à fin 2015¹⁶⁰

So

¹⁵⁹ Dans une installation photovoltaïque, kWc correspond à la puissance électrique maximale pouvant être fournie dans des conditions standards.

¹⁶⁰ Source : interne SIG

On constate une augmentation très significative de la puissance installée, qui a été multipliée par 5 entre 2010 et 2015. Cette augmentation est particulièrement marquée pour les centrales de plus de 100 kWc appartenant à des producteurs indépendants.



Fin 2015:

- >35 MW installés (tout compris, y compris installations passées à Swissgrid)
- >1000 installations
- ~30% de la puissance installée sont des installations SIG...
- ...correspondant à ~5% du parc solaire en nombre

Parc solaire photovoltaïque dans le canton de Genève à fin 2015¹⁶¹

En 2016 l'accroissement de la puissance apporté par de nouvelles installations PV a été de 8 MW permettant d'atteindre une production de 43 GWh fin 2016. Le solaire photovoltaïque dans le canton de Genève progresse de façon régulière, mais il devra plus que doubler tous les 5 ans pour atteindre l'objectif cantonal de 380 GWh fixé pour 2035 dans la *Conception générale de l'énergie 2013*¹⁶².

Les chapitres à suivre visent à définir le potentiel solaire global de Carouge et, surtout, les périmètres prioritaires où porter l'effort de développement du solaire thermique et photovoltaïque en maintenant intacte la culture du bâti du site.

5.4.2 Production solaire PV actuelle dans la commune de Carouge

5.4.2.1 Sources d'information et méthodologie

Comme indiqué ci-dessus (5.4.1) pour la situation du solaire PV dans le canton de Genève, les données relatives aux installations solaires à Carouge proviennent d'une base de données interne aux SIG intégrant les demandes de raccordement des auto-producteurs et les informations sur les centrales solaires appartenant aux SIG. Ces données concernent les surfaces de panneau, les puissances (kW) installées et la production moyenne annuelle d'électricité (kWh).

Comme pour le solaire thermique, les statistiques sont calculées sur l'ensemble de la commune, pour le périmètre du Vieux Carouge et les périmètres des projets d'aménagement (selon état à octobre 2016).

5.4.2.2 Résultats

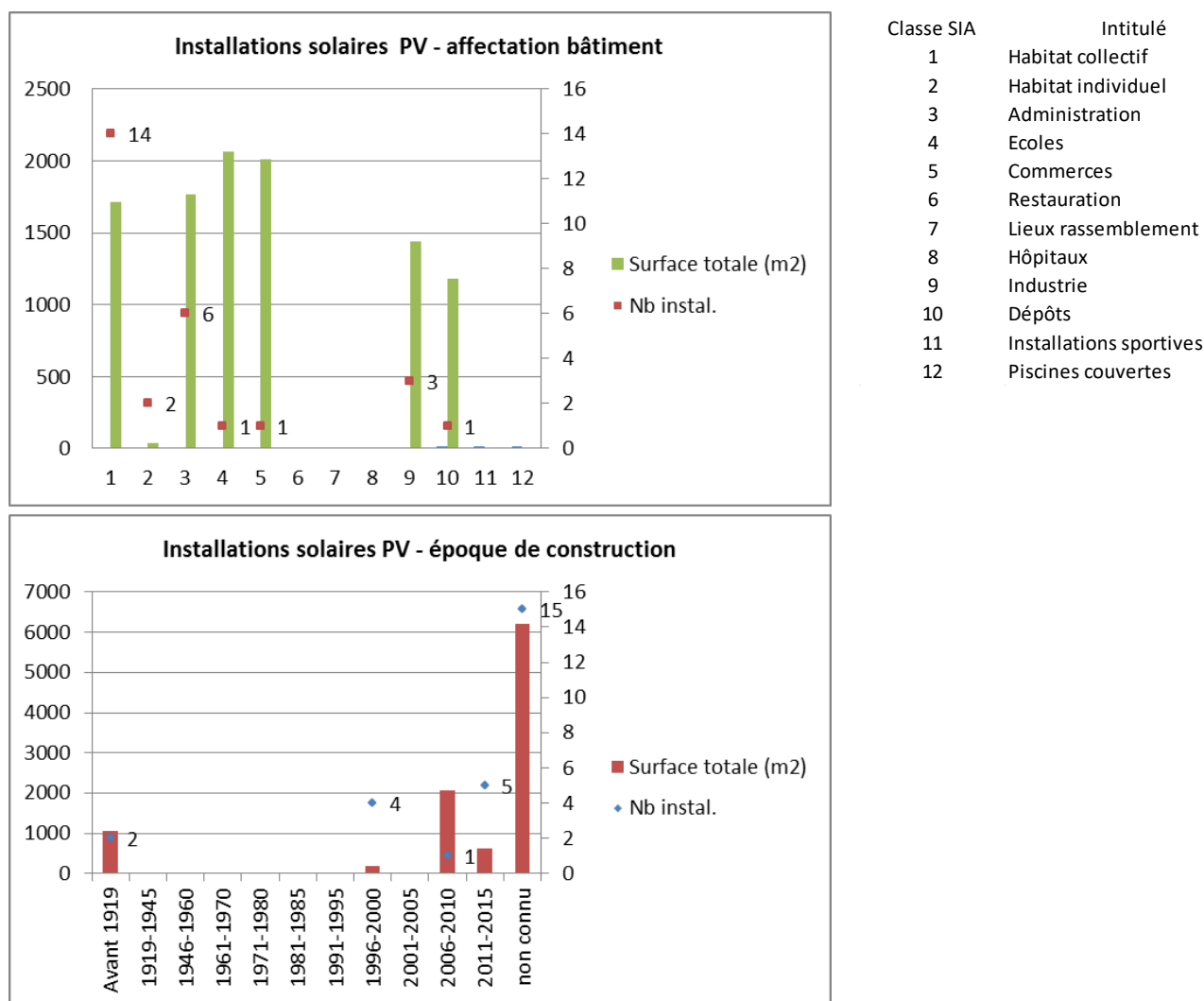
Carouge compte 28 installations solaires photovoltaïques pour une surface totale de 10'214 m² et une production estimée à 1.45 GWh/an (état 2016).

Les bâtiments dotés d'installations solaires photovoltaïques se situent aussi bien en dehors qu'à l'intérieur des périmètres des projets d'aménagement. Il n'y a aucune installation dans le périmètre du Vieux Carouge. Sept installations PV (sur 28 au total) se situent dans les périmètres d'aménagement et représentent environ la moitié de la production sur l'ensemble des installations situées sur la commune. Ceci révèle une

¹⁶¹ Source : interne SIG

¹⁶² RD 986 - Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013. <http://ge.ch/grandconseil/search?search=RD+986>, p. 16 (consulté le 22.06.2018)

tendance récente et positive de privilégier les installations de taille importante. Cependant, l'avenir de certaines de ces installations, comme celle du M-Parc, est incertain, car elles sont situées dans un secteur engagé dans une mutation forte qui pourtant peut donner lieu à de nouvelles installations bien plus importantes encore.



Statistiques détaillées des installations photovoltaïques par type d'affectation des bâtiments (selon les 12 classes SIA) et leur époque de construction¹⁶³

Les installations se répartissent à parts à peu près égales entre bâtiments de logements collectifs et bâtiments d'activités, pour l'essentiel de construction récente. En revanche, les surfaces et puissances installées les plus importantes se situent dans les bâtiments d'activités ; les plus grandes installations photovoltaïques à Carouge ont été réalisées sur le collège de Drize, au M-Parc, sur le centre Emmaüs, sur les bâtiments de l'UBS et au parking de l'Etoile.

Comme pour le solaire thermique, la dispersion des données disponibles ne permet pas d'avoir une image qui correspond avec exactitude au total réel des installations PV présentes sur le territoire de la commune.

5.5 DIRECTIVE CANTONALE POUR LA POSE DE PANNEAUX SOLAIRES

La Directive relative à l'installation de panneaux solaires¹⁶⁴, adoptée par le canton de Genève en décembre 2015, en application de l'article 1 alinéa 3 de la Loi sur les constructions et installations diverses L 5 05

¹⁶³ Source: SITG/CAD_BATIMENT_HORS_SOL

¹⁶⁴ Directive relative à l'installation de panneaux solaires, du 15 décembre 2015, Office cantonal de l'énergie

favorisant les installations solaires, a explicitement pour objet « la préservation des sites bâtis dans le cadre de la pose d'installations solaires sur les bâtiments et biens-fonds du canton ». Elle rappelle les dispositions de la LAT / OAT, notamment les critères déterminants si une installation solaire est suffisamment adaptée au toit et la procédure d'autorisation à laquelle tous les « bâtiments d'importance culturelle cantonale ou nationale » sont soumis.

La *Directive* intègre la liste des « biens protégés » genevois concernés et présente la démarche à suivre pour déposer un dossier de requête.

Pour ce qui concerne le cas d'installations aménagées sur « des biens qui ne sont pas protégés » et qui ne sont pas d'importance cantonale ou nationale, la *Directive* précise que tout propriétaire souhaitant poser des installations solaires sur son bâtiment ou sur son terrain doit remplir un formulaire d'ouverture de chantier auprès de la direction des autorisations de construire, en précisant s'il s'agit d'une rénovation de la toiture ou non.

Les recommandations concernent les toitures, plus particulièrement les toitures en pente. Elles relèvent la nécessité de préserver la silhouette d'un village et du paysage des toitures, qui exige que la pose de l'installation solaire tienne compte « de la qualité architecturale et de l'ancienneté du bâtiment tout comme de son environnement ».

Cette attention au contexte sous point 5.6 de la *Directive* veut que :

- l'homogénéité d'un ensemble bâti est une qualité à conserver, alors qu'un site bâti hétérogène permet une insertion plus facile de nouvelles structures,
- plus la valeur architecturale d'un bâtiment ou d'un site est élevée, plus il est important de préserver son intégrité,
- les installations de captage doivent être étudiées avec le même soin que les autres détails d'un bâtiment,
- les matériaux de fabrication et leur mise en œuvre évoluent rapidement dans un marché en plein développement.



Images tirées de la Directive relative à l'installation de panneaux solaires¹⁶⁵

Exemple de bonne intégration présenté dans la Directive. La légende précise que « la pose de panneaux solaires photovoltaïques sur un pan entier d'un toit peut être envisagée lorsque la recherche d'intégration architecturale est particulièrement étudiée ».



Images tirées de la Directive relative à l'installation de panneaux solaires¹⁶⁶

¹⁶⁵ Directive relative à l'installation de panneaux solaires. OCEN, 12.2005 (<https://www.ge.ch/document/directive-relative-installation-panneaux-solaires/telecharger>. Consulté le 21.06.2018)

Exemples de bonne et mauvaise intégration présentés dans la Directive.

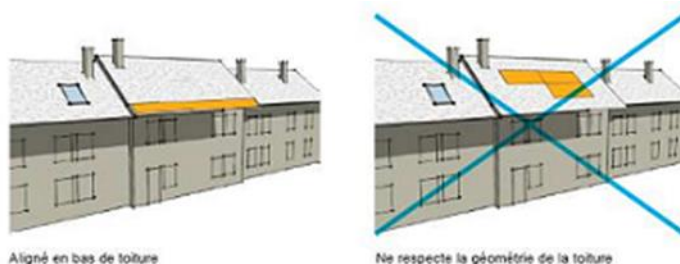
À gauche, un exemple de bonne intégration avec le détail d'une pose affleurée dans une toiture de tuiles : « L'impact visuel est diminué par la lecture du seul pan de toiture ».

À droite, un exemple de mauvaise intégration, car la pose en adjonction des installations de panneau solaire sur console a un impact visuel important, pour un gain d'efficacité très faible, une disposition défavorable à l'entretien et un dépassement de 20cm de la toiture qui rend nécessaire une autorisation de construire.

La Directive genevoise précise sous le point 5.7 les règles relatives à des installations solaires qui sont « suffisamment adaptées au toit ». Il s'agit de :

- « Prendre en considération le degré d'exposition aux vues des constructions et toitures environnantes. En conséquence, choisir un pan de toit peu visible.
- Étudier la possibilité de placer les panneaux sur des annexes (garage, appentis, etc.) plutôt que sur le bâtiment principal.
- Sur un toit plat, placer les panneaux en retrait des façades et veiller à ce qu'ils ne soient pas trop hauts (la structure qui dépasserait d'une hauteur de l'ordre de 2 m la toiture plate ou qui sortirait du gabarit des constructions, soit 35°, est soumise à autorisation de construire). Les capteurs à tubes peuvent aussi être envisagés pour une pose à plat.
- Regrouper les éléments, préférer une forme rectangulaire, les aligner, généralement, sur le bas de la toiture.
- Respecter les contours du bâtiment, le parallélisme des lignes.
- Composer avec les éléments existants : cheminées, lucarnes, etc.
- Encastrer les capteurs dans les éléments bâtis favorise une meilleure intégration visuelle.
- Reconduire les matériaux et teintes déjà existants en toiture et ne pas ajouter d'autre couleur que le noir de l'absorbeur.
- Analyser les éléments de détails, matériaux, teinte et mise en œuvre. »

La Directive présente également des schémas de pose.



Les schémas demandent de respecter le contour des bâtiments et le parallélisme des lignes, par exemple par un alignement en bas de toiture.

¹⁶⁶ Directive relative à l'installation de panneaux solaires. OCEN, 12.2005 (<https://www.ge.ch/document/directive-relative-installation-panneaux-solaires/telecharger>). Consulté le 21.06.2018)



Sur le toit du bâtiment annexe



Sur le toit plat d'un garage



Sur le toit d'une véranda



Les schémas demandent de tenir compte de l'ensemble bâti pour le positionnement des installations de panneaux solaires, indiquant qu'il est préférable de les placer sur des bâtiments annexes, comme illustré.

Les schémas présentés à titre de recommandation font référence à des structures bâties de type rural. Il y aurait lieu de les compléter pour présenter un éventail plus large de dispositifs, applicables également dans un contexte urbain, à l'exemple des directives dans d'autres cantons en Suisse.

6. LA CULTURE DU BÂTI ET LE POTENTIEL SOLAIRE À CAROUGE

Site construit d'importance nationale ISOS et partie du riche patrimoine culturel et artistique de la Suisse, Carouge se distingue par un tissu bâti et des espaces publics d'une grande diversité, héritage de son histoire singulière.

Le destin de Carouge est étroitement lié à sa position stratégique en tête du franchissement de l'Arve et à son rôle de carrefour aux portes de la cité de Genève. Siège d'une villa prospère à l'époque gallo-romaine, Carouge ne joue au moyen âge et jusqu'au milieu du 18^e siècle qu'un rôle de passage.

L'histoire moderne de Carouge débute avec le traité de Turin de 1754, aux termes duquel le territoire devient complètement savoyard. C'est autour de ce modeste village que le roi de Sardaigne décide de créer une ville nouvelle, dont la réalisation s'étend sur une vingtaine d'années, lui assurant une grande homogénéité. Cet exemple abouti de ville nouvelle en Suisse forme aujourd'hui le cœur du site construit d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS)¹⁶⁷.

Le développement de Carouge reprend dans la seconde moitié du 19^e siècle, selon un modèle partagé par de nombreuses communes suisses de même taille, avec ses extensions urbaines successives, ses quartiers de villas, ses développements récents. La commune possède aussi une vaste zone industrielle et artisanale, qui va progressivement être remplacée par des quartiers à fonctions mixtes. Avec deux ensembles exceptionnels, la ville nouvelle du 18^e siècle et l'ensemble des Tours du 20^e siècle, tous deux témoins d'une histoire urbaine exceptionnelle, Carouge offre une culture du bâti de très haute qualité et un patrimoine d'une grande richesse.

Bien ancrée dans son passé et tournée vers l'avenir, Carouge se prête admirablement à cette étude-test pour une planification solaire globale.

6.1 DÉFINITION DES PÉRIMÈTRES

La première étape de l'étude en vue d'une planification solaire globale a abouti à la définition de 30 périmètres sur le territoire de Carouge (cf. chapitre 3.1), un chiffre particulièrement élevé dû au nombre exceptionnel de projets d'aménagement en cours ou prévus à l'horizon 2030.

Ces 30 périmètres font l'objet d'une analyse détaillée, consignée dans des fiches individuelles. Cinq de ces fiches, qui recouvrent des périmètres représentatifs des résultats de la planification globale, sont présentés dans le chapitre 7. *Les 25 périmètres restants ont été étudiés mais le contenu des fiches n'a pas été validé par la Ville de Carouge ni par le Canton de Genève. Ces fiches sont présentées à titre informatif dans l'annexe 5.*

Dans le cas particulier de Carouge, la distinction entre périmètres en mutation ou périmètres stables constitue donc un critère déterminant pour la problématique de l'étude, qui se superpose à un découpage plus classique.

6.1.1 Sous-secteurs statistiques

Un premier découpage du territoire communal s'appuie sur les sous-secteurs statistiques définis pour le canton de Genève par l'Office cantonal de la statistique (OCSTAT).¹⁶⁸

Le premier découpage, réalisé en 1990, se fonde sur trois principes :

- des entités territoriales pertinentes du point de vue de l'information statistique (villages, hameaux, zones industrielles, équipements, etc.),
- la définition de limites géographiques stables autour de ces entités,
- le complètement de ce découpage par les entités non bâties (zones cultivées, forêts).

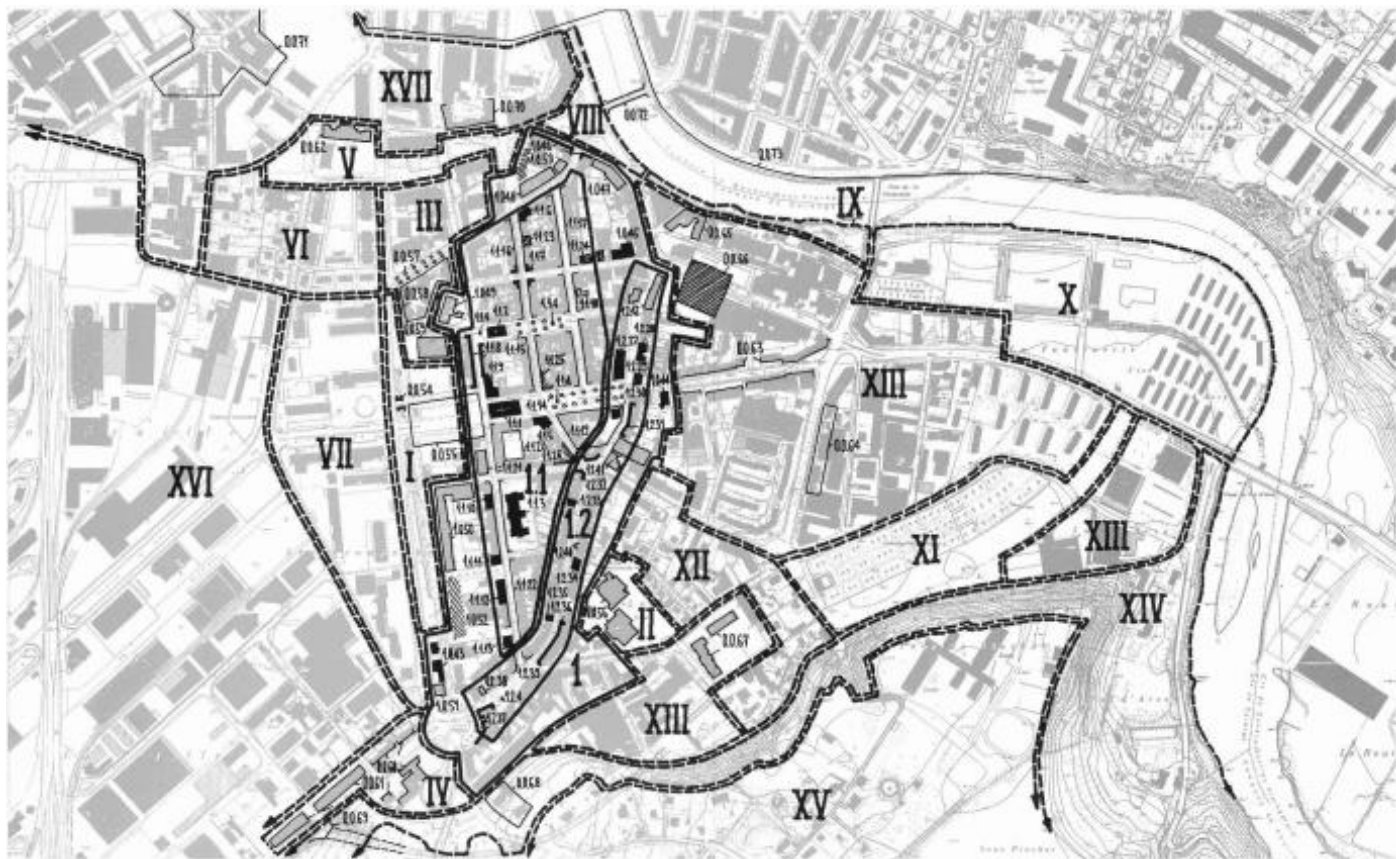
¹⁶⁷ Kunstführer durch die Schweiz, vol. 2, Berne, 1976, p. 37 et https://data.geo.admin.ch/ch.bak.bundesinventar-schuetzenswerte-ortsbilder/PDF/ISOS_1812.pdf

¹⁶⁸ Voir OCSTAT <https://www.ge.ch/statistique/tel/publications/2006/analyses/etudes/an-ed-2006-40.pdf>

Il a été complété en 2005 par de nouveaux critères, notamment le respect et la cohérence des entités urbaines et des limites structurantes du territoire. Carouge compte ainsi 14 sous-secteurs statistiques, qui forment des entités cohérentes. Celles-ci doivent toutefois être confrontées à d'autres clés de lecture pour répondre aux objectifs de la planification solaire globale.

6.1.2 Périmètres ISOS

A ce premier découpage, qui s'appuie sur des données statistiques et des permanences historiques, l'*Inventaire des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS* ajoute une deuxième clé de lecture, clairement orientée sur la culture du bâti.



Carte de synthèse d'inventaire ISOS de Carouge¹⁶⁹

Le découpage des 17 périmètres et ensembles construits réalisé par l'ISOS propose une lecture fine des différentes composantes du tissu urbain historique de Carouge, partant de la partie planifiée du Vieux Carouge pour inclure son environnement. (→ chapitre 6.2.2 + annexe 2)

6.1.3 Projets d'aménagement et périmètres en mutation

Actuellement, Carouge connaît un nombre de projets d'aménagement tout à fait exceptionnel, qui vont, à l'horizon 2030, durablement transformer de larges secteurs de son territoire et avoir un impact décisif sur la planification solaire globale. Il est donc indispensable de mettre d'emblée en évidence les lieux qui présentent des perspectives de mutation significative.

Le dynamisme urbain devra favoriser l'intégration de la planification et de technologies solaires à l'échelle de quartier.

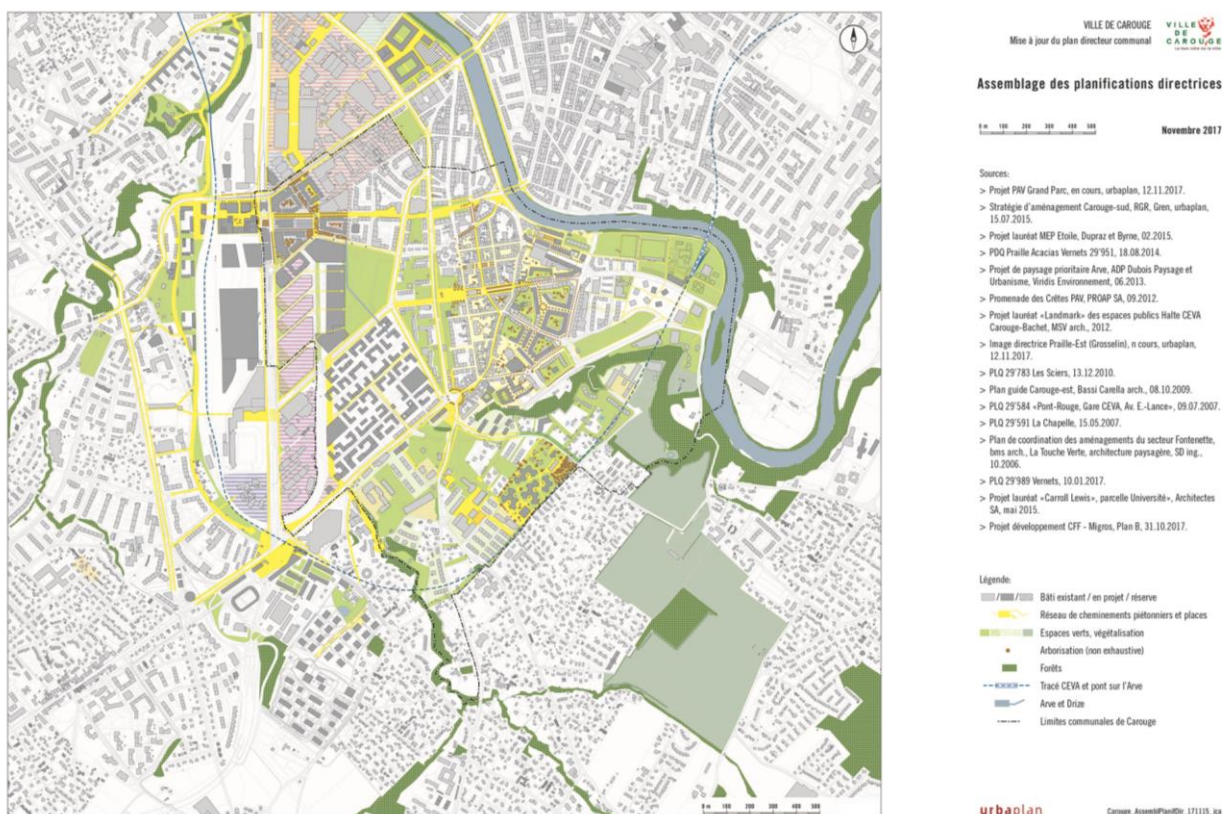
Trois secteurs du territoire carougeois sont particulièrement concernés par des mutations significatives à l'horizon de 2030 :

- Carouge Est, en limite immédiate du périmètre protégé du Vieux Carouge,
- Carouge Sud, avec la densification de certaines parties de la zone villas (zone 5)¹⁷⁰ et l'urbanisation de la parcelle dite de l'Université,

¹⁶⁹ https://data.geo.admin.ch/ch.bak.bundesinventar-schuetzenswerte-ortsbilder/PDF/ISOS_1812.pdf, p. 8

- Carouge Ouest, sur le grand périmètre Praille – Acacias – Vernets (PAV), ancienne zone industrielle et artisanale qui entame sa transformation en quartier urbain d'affectation mixte.

L'Assemblage des planifications directrices de la Ville de Carouge, régulièrement mis à jour, montre l'ampleur des transformations programmées.



Assemblage des planifications directrices, Ville de Carouge, novembre 2017 (voir aussi annexe 1 – carte 1)

6.1.3.1 Carouge Est

Le secteur qui jouxte à l'est le Vieux Carouge est régi par le *Plan guide Carouge Est*¹⁷¹ établi par la commune en 2011 (et mis à jour en 2016) pour orienter une transformation relativement profonde à l'intérieur du tissu bâti existant, avec notamment le remplacement des activités artisanales et de petite industrie par du logement et des surfaces réservées au tertiaire. Si la transformation de ces périmètres obéit à des règles communes, chacun d'entre eux présente des caractéristiques particulières qui ont conduit à la définition de quatre périmètres distincts: Minoteries, Menuisiers, Moraines Théâtre et Tunnel.

6.1.3.2 Carouge Sud

La *Stratégie d'aménagement Carouge Sud* (2015)¹⁷² concerne des quartiers de villas. Ce territoire connaît depuis quelques années une poussée urbaine qui s'est traduite par la densification de certains secteurs. La stratégie d'aménagement vise d'une part à identifier les secteurs maintenus en zone villas (zone 5), d'autre part à fixer les règles de transformation de ceux qui sont appelés à être densifiés. On peut distinguer plusieurs types de périmètres, selon les modalités de leur mutation.

La densité future des actuels quartiers de villas Route de Drize, La Grande Pièce, Pinchat Nord et Route de Troinex est actuellement à l'étude. Dans le cas du périmètre Université, il s'agit de l'urbanisation de terrains agricoles en zone de développement 3. Le périmètre Route de St-Julien constitue un cas particulier par sa position à cheval sur la route de St-Julien et sur deux secteurs, Grange-Collomb, un périmètre d'urbanisation récente, et PAV Grosselin, en mutation forte.

¹⁷⁰ Cf. Annexe 3 : Descriptif des zones d'affectation, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, Office de l'urbanisme, République et canton de Genève, septembre 2017

¹⁷¹ *Plan guide Carouge Est*, Ville de Carouge, 2011, mis à jour 2016, Bassicarella architectes

¹⁷² *Stratégie d'aménagement Carouge Sud*, Ville de Carouge, 15.07.2015, RGR, Gren, urbanplan

6.1.3.3 Carouge Ouest / Praille – Acacias – Vernets

Dans le cas des périmètres de Praille – Acacias – Vernets, la mutation est particulièrement forte, avec la transformation d'une zone artisanale et industrielle en une zone urbaine centrale à forte densité;¹⁷³ ce développement est régi par un *Plan directeur de quartier*¹⁷⁴ et une loi particulière¹⁷⁵ et obéit à des règles spécifiques. Sur Carouge, ces périmètres sont: PAV Grosselin, PAV Praille Ouest, PAV Praille Est, PAV Etoile.

6.1.4 Périmètres stables

Les périmètres dont le tissu bâti peut être considéré comme stable doivent bénéficier d'une **lecture fine de ce qui constitue leur identité spécifique ainsi que leur qualité architecturale et patrimoniale, afin d'évaluer leur adaptabilité aux technologies solaires et de définir une bonne intégration de celles-ci pour préserver et augmenter la culture du bâti générale.**

Pour ce qui concerne le territoire couvert par le site construit d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS) de Carouge, le découpage en 30 périmètres adopté par la présente étude correspond dans les grandes lignes à celui proposé par l'ISOS. Quelques variantes dans la délimitation des périmètres permettent de définir des entités plus cohérentes du point de vue de la présente étude. Sur le reste du territoire communal, le découpage s'appuie sur une analyse de la cartographie historique et les affectations actuelles.

6.1.4.1 Centre historique

Le centre historique de Carouge correspond à la zone protégée du Vieux Carouge, régie par un plan de site¹⁷⁶. Le Vieux Carouge couvre une partie du site d'importance nationale dotée d'un objectif de sauvegarde A¹⁷⁷, qualification maximale possible dans le relevé de l'Inventaire fédéral ISOS.

6.1.4.2 Quartiers urbains centraux

Dans le prolongement du Vieux Carouge ou proche du noyau historique, ces zones centrales à forte densité forment les périmètres suivants : Promenades, Tours de Carouge, Octroi, Pervenches, Noirettes, PAV Acacias, Fontenette.

6.1.4.3 Quartiers résidentiels

Regroupant des zones péricentrales à densité forte ou moyenne, ce sont des secteurs d'urbanisation récente : Grange-Collomb, Battelle, Pinchat Les Moraines, Poluzzi.

6.1.4.4 Quartiers de villas

Seuls trois quartiers de villas devraient conserver leur configuration actuelle : Bief-à-Dance, Drize Sud, Jules-Vüy.

6.1.4.5 Zones particulières

Carouge compte un vaste périmètre protégé au bord de l'Arve, régi par la Loi sur la protection générale et l'aménagement des rives de l'Arve (LPRArve)¹⁷⁸, dont une partie présente une haute valeur paysagère et une autre partie accueille un nombre important de services publics, d'équipements sportifs et de loisirs ainsi que des établissements de formation : Val d'Arve.

Deux types d'affectations ne s'appliquent pas à la situation de Carouge:

¹⁷³ Ibid.

¹⁷⁴ Plan directeur de quartier PAV Praille – Acacias – Vernets No 29'951. République et canton de Genève, Ville de Genève, Ville de Carouge, Ville de Lancy. Approuvé par le Conseil d'État le 01.04.2015

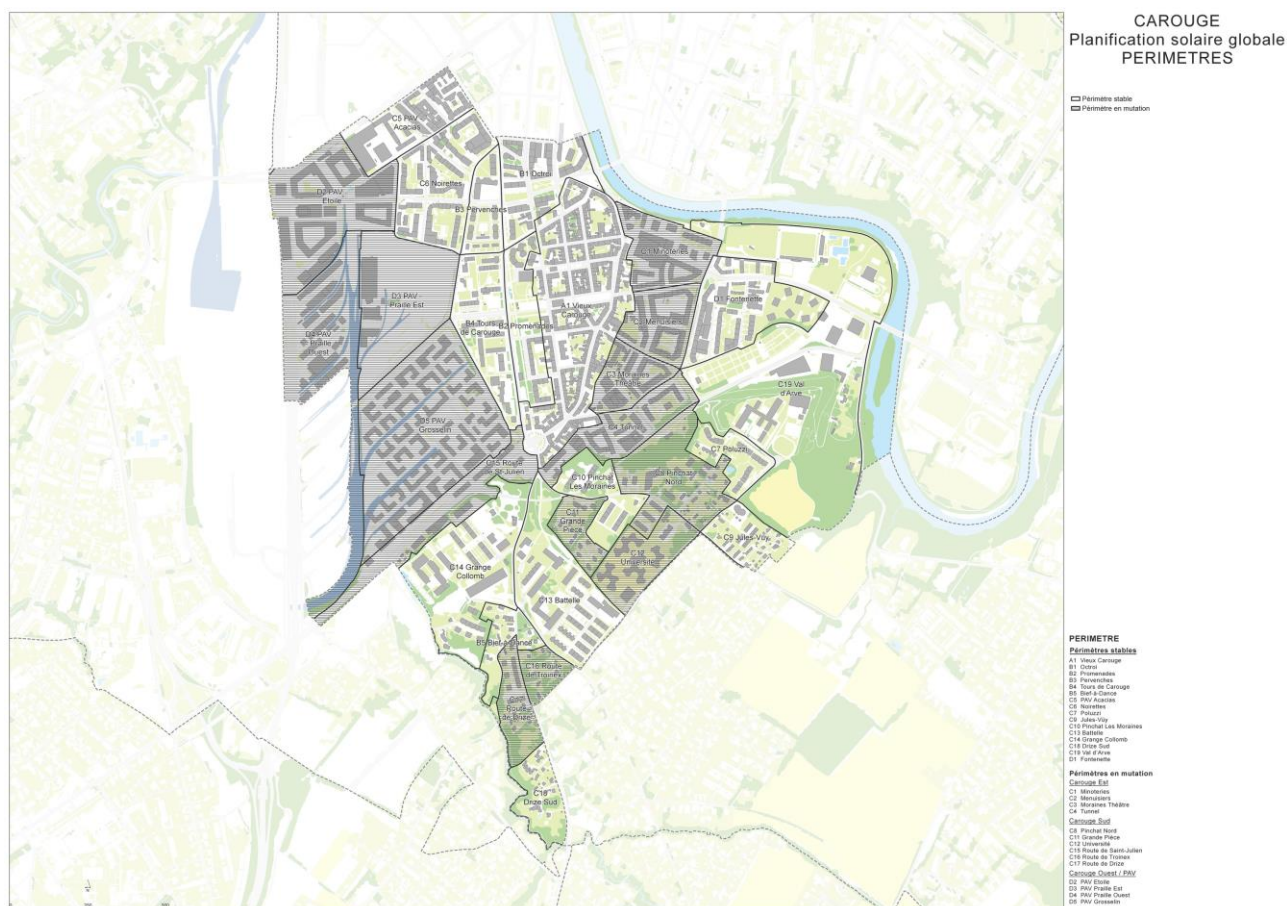
¹⁷⁵ Loi relative à l'aménagement du quartier « Praille – Acacias – Vernets », modifiant les limites de zones sur le territoire des Villes de Genève, Carouge et Lancy (création d'une zone 2, de diverses zones de développement 2, d'une zone de verdure et d'une zone de développement 2 prioritairement affectée à des activités mixtes) (L 10'788), du 23 juin 2011

¹⁷⁶ Cf. 6.2.2.3

¹⁷⁷ Cf. 6.2.2.3

¹⁷⁸ La LPRArve a pour but « de protéger le site de l'Arve, de ses rives et de leurs abords, de permettre des accès publics aux rives de l'Arve en des lieux appropriés, dans la mesure où il n'est pas porté atteinte à des milieux naturels dignes de protection, et de fixer des aires de détente, de loisirs et de sport pour la population. https://www.ge.ch/legislation/rsq/f/s/rsq_L4_16.html (art. 1)

- les zones d'activités économiques ou touristiques (zone industrielle et artisanale + zone industrielle et artisanale de développement) et
- les zones liées aux grandes infrastructures de transport et zones aéroportuaires.



Carte des périmètres (voir aussi annexe 1 – carte 2)

6.2 ADAPTABILITÉ DES PÉRIMÈTRES À LA POSE D'INSTALLATIONS SOLAIRES

Dans cette deuxième étape de la méthodologie (cf. chapitre 3.2), la capacité de chaque périmètre à accueillir ou non des installations solaires est évaluée, à la lumière de critères relevant de la culture du bâti : analyse des caractéristiques et qualités urbaines et architecturales, identification des enjeux patrimoniaux. Le processus n'est bien entendu pas linéaire, cette étape contribuant à affiner la détermination finale des périmètres.

6.2.1 Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

Les caractéristiques et qualités urbaines et architecturales de chaque périmètre sont présentées de façon détaillée dans les fiches. Les pages suivantes en présentent les grandes lignes, lisibles à l'échelle du territoire communal.

6.2.1.1 Caractéristiques du tissu bâti

Carouge possède deux périmètres à la remarquable homogénéité urbanistique : le noyau historique appelé Vieux Carouge, ville nouvelle du 18^e siècle, et le quartier des Tours de Carouge réalisé dans les années 1960, résultant d'un plan d'ensemble, qui tous deux conjuguent planification urbaine et unité architecturale. Le périmètre Noirettes, régi par un plan d'aménagement de 1974, présente une certaine cohérence urbanistique sans que celle-ci se traduise par une unité sur le plan architectural.

Les périmètres stables de Promenades, Pervenches et Octroi, au tissu bâti plutôt hétérogène, se distinguent pour leur part par la présence structurante de l'espace public. L'hétérogénéité caractérise également les périmètres d'extension urbaine de Carouge Est, qui sont déjà engagés ou connaîtront dans les années à venir une nouvelle mutation (Fontenette, Minoteries, Menuisiers, Moraines Théâtre, Tunnel).

Les quartiers de villas anciens présentent des structures paysagères significatives, avec souvent une arborisation importante (périmètres Bief-à-Dance, Drize Sud, Jules-Vüy). Ces qualités constituent aussi un enjeu de taille pour les opérations de densification prévues pour certains de ces quartiers (périmètres Route de Drize, La Grande Pièce, Pinchat Nord, Route de Troinex).

6.2.1.2 Qualités architecturales

Il est indispensable d'identifier les qualités architecturales présentes dans chaque périmètre, afin d'évaluer la possibilité ou non d'y intégrer des technologies solaires sans leur porter préjudice.

Tant le paysage des toitures du Vieux Carouge que les couvertures souvent très expressives des ensembles de logement réalisés au tournant des 19^e et 20^e siècles, ou encore de certaines maisons de maître, maisons individuelles ou ensembles ruraux, présentent des difficultés d'intégration qu'il s'agit de mesurer, afin de proposer des solutions de pose de haute qualité ou des alternatives à la technologie solaire.

À l'inverse, les toitures plates de l'ensemble des Tours de Carouge et d'autres réalisations de la deuxième moitié du 20^e siècle se prêtent sans difficulté majeure à une bonne intégration du solaire, dans le respect des règles en vigueur.

Dans les périmètres en mutation surtout, il s'agit de créer des qualités architecturales nouvelles intégrant systématiquement les installations solaires, à travers des planifications et des projets de haute valeur esthétique.

6.2.1.3 Visibilité et sensibilité du voisinage

Le critère de visibilité s'ajoute aux aspects précédents pour évaluer le degré d'adaptabilité d'un périmètre. Il est particulièrement pertinent pour le Vieux Carouge, dont le paysage de toitures fait partie intégrante de son identité et de sa qualité de monument historique et site d'importance nationale ISOS à protéger. Cette visibilité peut jouer un rôle et être perçue de près ou de loin (depuis la rue ou du haut de tours). Il est aussi à prendre en compte dans les périmètres offrant une forme urbaine ouverte, où la présence d'installations solaires mal intégrées (p.ex. Octroi ou Pervenches) peut perturber la perception d'ensemble.

Le Vieux Carouge constitue un voisinage sensible pour tous les périmètres adjacents, où des installations très visibles, mal intégrées, sont susceptibles de perturber l'image du site historique (p.ex. Promenades, Menuisiers ou Moraines Théâtre, par exemple). Cette même sensibilité se retrouve au voisinage d'ensembles patrimoniaux, tels que ceux constitués autour d'une maison de maître, par exemple.

6.2.2 Enjeux patrimoniaux

La diversité du territoire carougeois et la variété de la culture du bâti se reflètent aussi dans les enjeux patrimoniaux. Pour rappel, les enjeux patrimoniaux prennent en compte les sites, ensembles ou objets individuels considérés de valeur patrimoniale, protégés, recensés ou uniquement indiqués sur des listes. À Carouge, la réflexion s'appuie sur les bases documentaires existant au niveau fédéral et les bases documentaires cantonales, telles que fournies par l'Office des monuments et des sites.

Une installation solaire sur un ensemble ou un bâtiment individuel présentant des enjeux patrimoniaux requiert une qualité supérieure d'intégration afin de garantir une bonne culture du bâti, que l'ensemble ou l'objet ne perde pas sa valeur patrimoniale et – dans le cas d'un bien culturel d'importance cantonale ou nationale – qu'il n'y ait pas d'atteinte majeure.¹⁷⁹

6.2.2.1 Inventaires, recensements et listes de la Confédération

Carouge est un site construit d'importance nationale au sens de *l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS*. Les enjeux patrimoniaux à prendre en compte sont précisés dans les bases documentaires fédérales suivantes¹⁸⁰ :

¹⁷⁹ Cf. définition d'atteinte majeure dans le chap. 2.6.2

¹⁸⁰ Carouge ne présente pas d'objets dans l'*Inventaire suisse des installations à câbles*, l'*Inventaire des ouvrages de combat et de commandement ADAB*, l'*Inventaire des constructions militaires HOBIM*, ni l'*Inventaire CFF*.

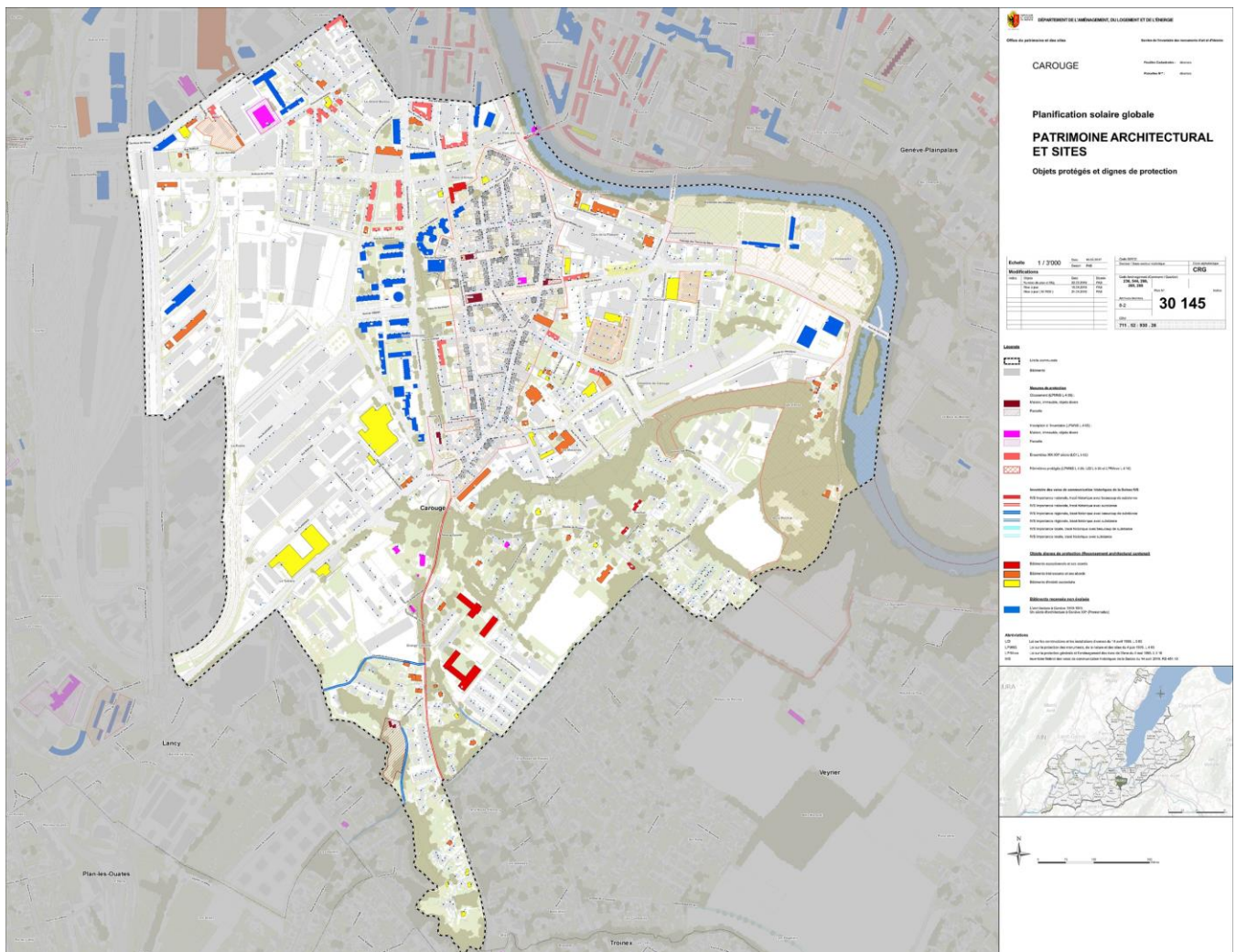
- *Inventaire des voies de communication historiques de la Suisse IVS¹⁸², voies d'importance locale.*

Les éléments suivants ont également été retenus :

- plan de site « Tours de Carouge » (à l'étude),
- bâtiments et objets dignes de protection (LPMNS L4 05, art. 1 et 4),
 - avec une indication de valeur; pour la présente étude, seules les valeurs « exceptionnel », « intéressant » et « valeur d'ensemble », considérées comme des valeurs patrimoniales (valeur d'inventaire ou valeur de classement), ont été retenues,¹⁸³
- bâtiments et objets recensés.¹⁸⁴

Tous les périmètres et bâtiments relevant des catégories énumérées ci-dessus se retrouvent sur la carte du patrimoine et sites de l'Office du patrimoine et des sites (OPS) et sont considérés comme présentant des enjeux patrimoniaux. Les fiches de périmètres individuelles précisent, le cas échéant, les conditions particulières relatives à ces sites et ces objets.

Ces sites, bâtiments et objets présentant des enjeux patrimoniaux sont définis comme tels dans le calcul du potentiel solaire.



Patrimoine / mesures cantonales (voir aussi annexe 1 – carte 4)

6.2.2.3 Périmètre construit ISOS et plan de site Vieux Carouge

L'objectif de l'ISOS est de sauvegarder les qualités des sites qui justifient leur valeur nationale et d'éviter que des dommages irréversibles soient commis. Dès qu'il s'agit de sites construits d'importance nationale, l'ISOS

¹⁸² Ibid.

¹⁸³ La liste de ces bâtiments et objets dignes de protection est établie sur la base des études et recensements effectués par le Service cantonal des monuments et des sites. Pour Carouge, les recensements sectoriels pris en compte font partie du « Recensement du patrimoine architectural du canton de Genève » (OPS).

¹⁸⁴ Soit les bâtiments et objets recensés dans les ouvrages L'architecture à Genève 1919-1975 et Un siècle d'architecture à Genève XX^e (Promenades).

doit donc être systématiquement considéré comme une base de décision pour tout ce qui relève de la gestion des monuments historiques et des sites ainsi que des mesures d'aménagement du territoire.

Le tissu composant le Vieux Carouge constitue le centre du *périmètre construit* (P 1), pour lequel ISOS a défini un objectif de sauvegarde (A) – le plus élevé – visant la conservation de la substance et de toutes les constructions et composantes du site, de tous les espaces libres ainsi que la suppression des constructions parasites.¹⁸⁵

Au niveau cantonal, le Vieux Carouge est au bénéfice depuis 1982 d'un *Plan de site*, dont le tracé coïncide largement avec celui du périmètre construit (P 1) ISOS. Ce *Plan de site* et son règlement fixent les règles pour la conservation, la rénovation, la transformation et la construction, destinées à « préserver le caractère architectural historique et l'aménagement du centre de la ville de Carouge »¹⁸⁶.

Le Vieux Carouge protégé par un *Plan de site* se distingue par la faible hauteur de ses constructions, ses alignements rectilignes et son paysage de toitures, qui est un aspect constitutif de la substance bâtie historique. Le règlement du *Plan de site* précise d'ailleurs qu'« en règle générale, les toitures doivent être recouvertes de tuiles plates ». L'ajout d'installations solaires sur des pans de toiture représente donc une transformation visible et sensible et donc une perte de la substance et de l'aspect originaux.

6.2.2.4 Périmètres environnants ISOS – zone naturelle protégée

L'Inventaire fédéral ISOS définit également des *périmètres environnants*, avec les objectifs de sauvegarde (a) de l'état existant et (b) de sauvegarde des relations existantes avec les composantes du site construit¹⁸⁷ qui s'inscrivent autour du périmètre construit (P1). Les berges de l'Arve constituent un périmètre environnant avec objectif de sauvegarde (a) sauvegarde de l'état existant ISOS et sur le plan cantonal elles constituent une *zone protégée*.

6.2.2.5 Plan de site à l'étude *Tours de Carouge*

L'ensemble des Tours de Carouge fait actuellement l'objet d'une *étude de Plan de site*, mais ne bénéficie pas à ce jour de mesure de protection formelle. Il possède des toitures plates qui se prêtent facilement à la pose de panneaux solaires et qui sont déjà partiellement équipées. Ses toits ont été conçus pour accueillir des dispositifs techniques, la visibilité des installations est très faible et l'impact sur la substance bâtie peut également être considéré comme faible.

Il faut toutefois prêter une attention particulière à la pose d'installations solaires sur les toitures des bâtiments de l'ensemble, visibles depuis les immeubles plus hauts qui les entourent : ils devront bénéficier d'une intégration de très haute qualité.

6.2.2.6 Bâtiments et objets classés

Sans autorisation du Conseil d'État, les bâtiments ou objets classés ne peuvent être démolis, faire l'objet de transformations importantes ou d'un changement dans leur destination. La *Loi sur la protection des monuments, de la nature et des sites* précise que

« les simples travaux ordinaires d'entretien et les transformations de peu d'importance peuvent être autorisés par l'autorité compétente, pour autant qu'ils aient fait l'objet d'un préavis favorable de la part de la Commission des monuments, de la nature et des sites et d'une demande d'autorisation ordinaire ».¹⁸⁸

Ceci signifie que l'adaptabilité des bâtiments ou objets classés à la pose d'installations solaires sera examinée au cas par cas, sur présentation d'une demande d'autorisation et d'un projet. Cette indication figure dans la fiche des périmètres concernés.

6.2.2.7 Bâtiments et objets inscrits à l'inventaire

¹⁸⁵ https://data.geo.admin.ch/ch.bak.bundesinventar-schuetzenswerte-ortsbilder/PDF/ISOS_1812.pdf. L'annexe 2 de l'étude présente de manière abrégée le site ISOS Carouge avec ses dispositions et ses éléments les plus importants.

¹⁸⁶ Plan de site du Vieux Carouge et règlement, plan no 27383, adopté par le Conseil d'État le 21.07.1982.

¹⁸⁷ Pour tous les périmètres environnants pertinents au site de Carouge : cf. note 18 ci-dessus.

¹⁸⁸ LPMNS L4 05, art. 15 al. 1 et 3, https://www.ge.ch/legislation/rsq/f/s/rsq_l4_05.html

La *Loi sur la protection des monuments, de la nature et des sites* indique que les immeubles inscrits à l'inventaire doivent être maintenus et leurs éléments dignes d'intérêt préservés.¹⁸⁹ Pour ce qui concerne les travaux, ce sont les dispositions relatives aux ensembles protégés qui s'appliquent¹⁹⁰.

Ceci signifie que l'adaptabilité des bâtiments ou objets à l'inventaire à la pose d'installations solaires sera examinée au cas par cas, sur présentation d'une demande d'autorisation et d'un projet. Cette indication figure dans la fiche des périmètres concernés.

6.2.2.8 Ensembles protégés XIX^e–XX^e siècles

Les ensembles protégés sont régis par la *Loi sur les constructions et installations diverses* (LCI 5 05), qui précise dans son article 89 que

« l'unité architecturale et urbanistique des ensembles du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle situés en dehors des périmètres de protection de la Vieille-Ville, du secteur sud des anciennes fortifications et du Vieux Carouge doit être préservée. »

Sont considérés comme ensemble

« les groupes de 2 immeubles ou plus en ordre contigu, d'architecture identique ou analogue, ainsi que les immeubles séparés dont l'emplacement, le gabarit et le style ont été conçus dans le cadre d'une composition d'ensemble dans le quartier ou dans la rue. »¹⁹¹

L'article 90 alinéa 2 prévoit qu' « en cas de transformation ou de rénovation, des mesures de rationalisation énergétique doivent être entreprises » et que « des panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques peuvent être autorisés en toiture » ; toutefois, « des dérogations sont accordées lorsque le maintien d'éléments patrimoniaux de valeur l'exige ». ¹⁹²

Carouge possède un nombre significatif d'ensembles de la fin du 19^e et du début du 20^e siècles, exemplaires de l'extension urbaine de cette période et de son architecture. Ils se distinguent souvent par une expression architecturale affirmée, en particulier au niveau de la toiture, dont le rôle est accru par l'effet de répétition. Dans ce contexte, plus la visibilité de la toiture est élevée, plus une intégration de qualité sera difficile à réaliser, l'enjeu consistant à proposer un projet cohérent pour tous les immeubles constituant l'ensemble concerné ou des solutions alternatives.

Ceci signifie que l'adaptabilité des ensembles protégés à la pose d'installations solaires sera examinée au cas par cas, sur présentation d'une demande d'autorisation et d'un projet. Cette indication figure dans la fiche des périmètres concernés.

6.2.2.9 Bâtiments et objets dignes de protection

Cette catégorie regroupe les bâtiments et objets figurant dans le *Recensement architectural cantonal*, avec une valeur dite de protection (exceptionnel / intéressant). Les bâtiments et objets répertoriés présentent des enjeux différenciés. On y trouve :

- des maisons individuelles et ensembles ruraux, qui ne bénéficient pas encore de mesures de protection, dans des quartiers de villas, la plupart urbanisés ou en voie d'urbanisation,
- des témoins du riche patrimoine industriel et artisanal de Carouge, qui s'étend sur une longue période et contient des constructions de facture très variée; ils sont souvent situés dans des périmètres en mutation (Minoteries, Tunnel),
- des bâtiments et objets singuliers, souvent des équipements publics, comme l'école des Pervenches.

Dans la pratique, cela signifie que l'autorité compétente est informée du projet de pose d'installations solaires sur des bâtiments et objets dignes de protection et fait part de ses remarques.

¹⁸⁹ LPMNS L4 05 art. 9

¹⁹⁰ Loi sur les constructions et les installations diverses (LCI) art. 90 al. 1 et 93 al. 1, 2 et 4

¹⁹¹ LCI L5 05 art. 89

¹⁹² https://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_L5_05.html

6.2.2.10 Bâtiments recensés non évalués

Cette catégorie rassemble des bâtiments recensés dans les ouvrages *L'architecture à Genève 1919 – 1975*¹⁹³ et *Un siècle d'architecture à Genève XXe (Promenades)*¹⁹⁴ qui n'ont pas encore fait l'objet d'une évaluation patrimoniale.

Leur capacité à accueillir des installations solaires est examinée dans chaque fiche et peut faire l'objet de recommandations.

6.2.3 Évaluation des enjeux patrimoniaux

Les enjeux patrimoniaux présents dans chaque périmètre ont une incidence sur son adaptabilité à la pose d'installations solaire. Ces enjeux sont évalués au cas par cas dans cette étude, une évaluation qui n'est pas liée exclusivement à leur statut de protection formelle. Les caractéristiques qui constituent la valeur patrimoniale des sites, ensembles, bâtiments et objets doivent être préservées. Ceci signifie que des installations solaires sur ce type d'objet ou dans ce type de périmètre demandent une qualité supérieure d'intégration pour ne pas porter atteinte au bien culturel et garantir une culture du bâti de qualité au périmètre.

Il en résulte quatre modes de pose possibles :

- la pose est systématiquement soutenue et promue en amont de projets architecturaux de quartiers/constructions neufs et/ou dans des zones à basse sensibilité (zones industrielles et artisanales),
- la pose est libre, dans le respect des règles en vigueur¹⁹⁵, dans des contextes de sensibilité faible,
- la pose est soumise à des conditions dans des contextes de sensibilité moyenne du point de vue des enjeux patrimoniaux ; ces conditions sont explicitées,
- la pose n'est pas recommandée, en raison des qualités urbaines, architecturales et/ou patrimoniales élevées du périmètre ou du bâtiment concerné ; des solutions alternatives d'énergies renouvelables dont l'intégration est plus facile doivent être trouvées.

Le Service des monuments et des sites est à même de fournir les informations nécessaires sur les enjeux patrimoniaux et de fournir une aide à l'élaboration de projets de qualité.

6.2.4 Quatre types de périmètres

L'analyse des caractéristiques et qualités urbaines et architecturales, de la sensibilité du voisinage et des enjeux patrimoniaux de chaque périmètre – stable ou en mutation – a permis de déterminer son adaptabilité à la pose d'installations solaires, et de le classer dans une des quatre catégories retenues.

6.2.4.1 Périmètre non adapté (A)

Le périmètre A1 Vieux Carouge, protégé au niveau cantonal par un *Plan de site*, et pratiquement identique à celle du périmètre construit P1 du *site construit d'importance nationale à protéger ISOS avec objectif de sauvegarde (A)*, constitue l'unique périmètre non adapté de la commune, en raison de sa valeur patrimoniale élevée et de ses qualités urbanistiques, architecturales et patrimoniales élevées, peu compatibles avec la pose d'installations.

Dans ce périmètre, l'effort doit porter sur des solutions alternatives pour la production d'ECS. La production d'énergie électrique PV étant indépendante du lieu de production peut être mutualisée dans des périmètres adaptés voire très adaptés. (→ fiche A1 Vieux Carouge, chapitre 7)

6.2.4.2 Périmètres adaptés sous conditions (B)

Carouge compte cinq périmètres adaptés sous conditions. Deux d'entre eux, B1 Octroi et B2 Promenades, s'inscrivent en prolongement immédiat du Vieux Carouge ; avec le périmètre B3 Pervenches, ils possèdent une forme urbaine et une structure des espaces ouverts qui confèrent une grande visibilité aux toitures des ensembles protégés et bâtiments dignes de protection présents dans ces sites. Le périmètre B4 Tours de

¹⁹³ Charollais, I., Lamunière J.-M., Nemec M., *L'architecture à Genève 1919-1975*, Lausanne, 1999

¹⁹⁴ *Un siècle d'architecture à Genève XXe (Promenades)*, Patrimoine Suisse Genève, Gollion, 2009

¹⁹⁵ Cf. chapitre 6.2.4.3 Périmètres adaptés C

Carouge fait l'objet d'un plan de site à l'étude, et requiert une attention majeure concernant l'intégration d'installations en raison de sa qualité architecturale supérieure. Le périmètre B5 Bief-à-Dance est un quartier de villas qui concentre des enjeux patrimoniaux et paysagers. (→fiche B3 Pervenches)

Dans ces périmètres adaptés sous conditions, des règles spécifiques s'appliquent, soit à l'échelle du périmètre, soit pour des bâtiments et/ou ensembles particuliers.

6.2.4.3 Périmètres adaptés (C)

La majorité des périmètres carougeois (19 sur 30) peuvent être considérés comme adaptés à la pose d'installations solaires. Il s'agit des quatre périmètres concernés par la mutation urbaine de Carouge Est (C1 Minoteries, C2 Menuisiers, C3 Moraines Théâtre et C4 Tunnel) et des cinq périmètres touchés par celle de Carouge Sud (C8 Pinchat Nord, C11 Grande Pièce, C12 Université, C16 Route de Troinex, C17 Route de Drize), auquel il faut ajouter C15 Route de St-Julien, situé entre un périmètre d'urbanisation récente et un périmètre en mutation forte. Cette catégorie concerne aussi deux périmètres d'urbanisation relativement ancienne (C5 PAV Acacias et C6 Noirettes), trois périmètres d'urbanisation plus récente (C10 Pinchat – Les Moraines, C13 Battelle, C14 Grange-Collomb), trois quartiers de villas ou résidentiels de basse densité (C7 Poluzzi, C9 Jules-Vüy, C18 Drize Sud). C19 Val d'Arve, qui concentre les équipements publics, est également un périmètre adapté.

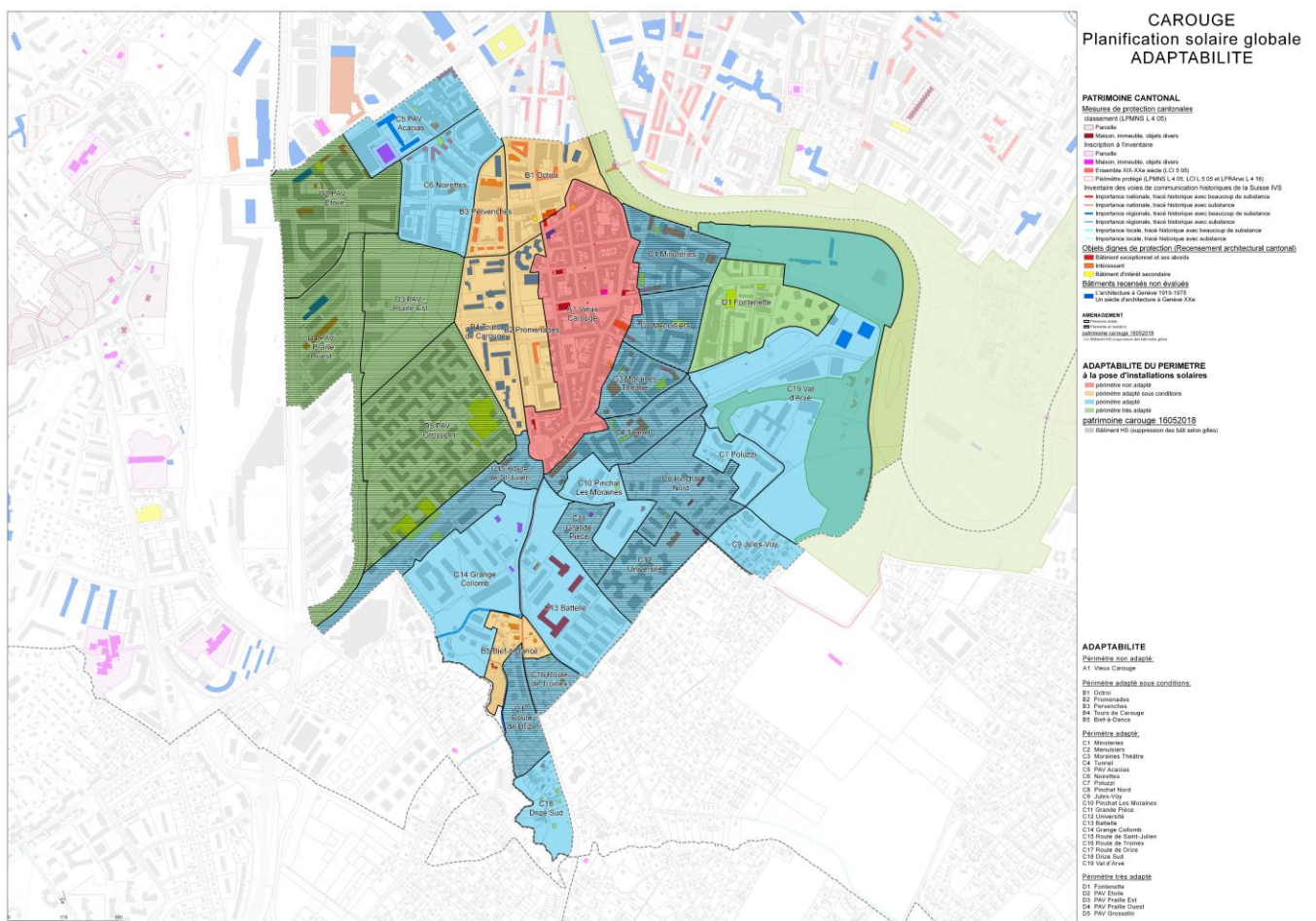
Les périmètres C, adaptés à l'installation de panneaux solaires, autorisent en principe une *pose libre dans le respect des règles en vigueur*, telles que prévues par la *Directive relative à l'installation de panneaux solaires*, adoptée par le canton de Genève en décembre 2015. (→chapitre 5.5 ; →fiches C3 Moraines Théâtre et C8 Pinchat Nord, chapitre 7)

L'analyse met en évidence des qualités urbaines et architecturales auxquelles il faudra prêter attention, tout comme il faudra traiter avec une considération particulière les objets protégés ou dignes de protection présents.

6.2.4.4 Périmètres très adaptés (D)

Dans les périmètres de mutation forte relevant du *Plan directeur de quartier Praille – Acacias – Vernets* (D2 PAV Etoile, D3 PAV Praille Est, D4 Praille Ouest et D5 PAV Grosselin), a priori considérés comme très adaptés, la valorisation de l'énergie solaire doit être intégrée d'emblée dans la planification urbaine et les projets architecturaux. Un périmètre déjà urbanisé, D1 Fontenette, présente une adaptabilité élevée, dans un voisinage peu sensible. (→fiche D5 PAV Grosselin, chapitre 7)

Ces périmètres très adaptés doivent bénéficier de règles particulières pour encourager dès la planification territoriale l'intégration du solaire dans les projets architecturaux et le développement de solutions innovantes, qui contribuent à la constitution d'une culture de bâti de qualité dans ces nouveaux quartiers.



- Potentiel solaire sur les toitures des bâtiments projetés à l'horizon 2030,
- Potentiel solaire sur les façades des bâtiments projetés dans les périmètres en mutation à l'horizon 2030.

6.3.1.1 Installations solaires existantes

Panneaux thermiques installés

L'identification des installations solaires thermiques existantes par bâtiment sur les toitures de Carouge est effectuée à partir de la base de données cantonale mise à disposition par l'OCEN. Ces données proviennent des informations relatives aux subventions solaires thermiques et celles récoltées dans le cadre des autorisations de construire traitées par l'OCEN.

Panneaux photovoltaïques installés

Les données d'installations solaires photovoltaïques par entrée de bâtiment sont fournies par les SIG.

Seules les installations situées sur les bâtiments qui ne seront pas démolis dans le cadre des opérations d'aménagement sont considérées dans l'analyse de la production énergétique solaire potentielle à l'horizon 2030.

6.3.1.2 Potentiel solaire sur les bâtiments existants

La base de travail est le cadastre solaire du canton de Genève disponible en libre accès sur le Système d'information du territoire genevois SITG¹⁹⁶, avec des données cadastrales actualisées en 2016. Il ne s'agit pas ici de présenter en détail les méthodes utilisées pour évaluer les potentiels solaires thermique et photovoltaïque sur les toitures et les façades, ces dernières étant déjà bien décrites dans des publications, mais d'en rappeler les grandes lignes.

Les données issues du cadastre solaire genevois des toitures, mis à jour en 2016, permettent d'évaluer le potentiel de production énergétique selon les différents types de prestation (chaleur et électricité) et différentes technologies (panneaux PV mono- ou polycristallin, capteurs thermiques non vitrés, vitrés, sous-vide). Ce potentiel est évalué sur

- les surfaces de toiture dites « exploitables », c'est-à-dire celles qui sont bien irradiées (au minimum 1000 kWh/m²/an), d'une superficie d'au moins 5 m² et comprises à une distance minimum d'1 m des bordures;
- les surfaces de capteurs installables : surface de capteurs solaires que l'on peut installer sur les surfaces de toiture exploitables .

L'irradiation solaire brute se base sur le modèle numérique de surface (MNS) et tient ainsi compte des ombres portées, des pentes et orientations des surfaces. Elle est calculée heure par heure sur la base de statistiques d'irradiation solaire sur surface plane à Cointrin (outil Météonorm®), puis agrégée par mois et année.

Solaire thermique

Le cadastre solaire genevois considère le potentiel solaire pour la production d'ECS uniquement pour les bâtiments de logement, dans la mesure où les besoins d'ECS des autres catégories de bâtiment (par ex. centres sportifs ou piscines) sont négligeables ou difficiles à évaluer de façon globale. Ce potentiel ne considère pas l'éventualité d'une couverture des besoins d'énergie pour le chauffage, difficile à évaluer, et qui supposerait la rénovation préalable des bâtiments existants afin de les rendre compatibles avec du chauffage solaire fonctionnant à basse température.

Dans le cadastre solaire genevois, le potentiel est différencié selon la technologie mise en œuvre, soit :

- capteurs thermiques vitrés,
- capteurs thermiques non vitrés,
- capteurs thermiques sous-vide.

¹⁹⁶ <https://sitq-lab.ch/solaire>

La technologie « vitrée », la plus standard et répandue, en particulier pour l'ECS, sera celle considérée ultérieurement pour le calcul du potentiel solaire thermique.

Solaire photovoltaïque

Sur les bâtiments de logement, un potentiel solaire mixte est calculé à partir des surfaces de toiture exploitables : ces surfaces sont attribuées en priorité au TH afin de produire une partie de l'eau chaude sanitaire, puis le solde des surfaces exploitable est entièrement attribué au PV. Sur les bâtiments d'activités, la totalité des surfaces exploitables est attribuée au PV.

L'analyse du potentiel PV considère les deux types de technologie les plus répandues :

- monocristallin (haut rendement de l'ordre 200 W/m² par rapport au rayonnement solaire incident),
- polycristallin (rendement standard de l'ordre de 170 W/m² par rapport au rayonnement solaire incident).

6.3.1.3 Potentiel solaire sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux

Le potentiel solaire des bâtiments présentant des enjeux patrimoniaux fait l'objet d'un calcul à part, sur la base des différents inventaires, recensements, listes etc. fédéraux et cantonaux existants pour Carouge¹⁹⁷. Les installations solaires sur des bâtiments présentant des enjeux patrimoniaux sont possibles au cas par cas. L'intérêt d'une telle différenciation est de permettre une pesée des intérêts entre valeur patrimoniale à préserver par une intégration de qualité supérieure et la rentabilité effective d'une installation de ce type. Cette prise en compte permet de façon corollaire de calculer le gros potentiel des bâtiments sans contraintes.

6.3.1.4 Potentiel solaire sur les toitures des bâtiments projetés à l'horizon 2030

En raison des mutations importantes que la commune de Carouge va connaître d'ici 2030, il est nécessaire de compléter le cadastre solaire genevois d'une part en retranchant le potentiel correspondant aux bâtiments qui vont être détruits, d'autre part en ajoutant le potentiel estimé sur les bâtiments projetés, en l'état des connaissances au moment de l'étude (2016-2018). Les images directrices et les projets d'aménagement fournis par l'Office cantonal de l'urbanisme (OU) et le Service de l'urbanisme de la Ville de Carouge livrent les informations sur les emprises au sol des bâtiments projetés et leur hauteur prévue. Il est possible ainsi de modéliser un volume de chaque bâtiment à construire et de calculer l'irradiation et le potentiel solaire sur les surfaces de toiture correspondantes, tenant compte des ombres portées entre les bâtiments.

6.3.1.5 Potentiel solaire sur les façades des bâtiments projetés dans les périmètres en mutation

Dans le cadre d'une planification solaire globale à l'échelle communale, il est très délicat de calculer le potentiel solaire des façades. En effet, seule une partie négligeable et difficile à identifier des façades existantes peut être considérée disponible pour une valorisation solaire. Il est en revanche plus aisé de planifier, en amont, des installations solaires en façade sur des bâtiments projetés.

Le potentiel solaire en façade est donc pris en compte uniquement sur des bâtiments projetés dans des périmètres en mutation. Ce potentiel ne considère par ailleurs que les installations photovoltaïques, étant donné que les installations thermiques sont plus contraignantes à mettre en œuvre en façade et que les toitures suffisent généralement à couvrir une part importante des besoins en ECS (entre 50% et 70%), mais pas des besoins en électricité.

Le potentiel sur les façades se base sur le volume généré sur les bâtiments projetés. L'irradiation brute est calculée sur chaque face des bâtiments, en tenant compte des ombrages et des orientations. Le potentiel de production électrique par des panneaux solaires est estimé sur les parties de façade avec une irradiation supérieure à 750 kWh/m²/an et un taux approximatif de façade opaque de 50%.

6.3.2 Potentiel solaire thermique

Le potentiel solaire thermique n'est calculé que sur les bâtiments de logements. Cette information est à mettre en relation avec la priorité d'attribuer le solaire thermique aux logements et le solaire photovoltaïque aux bâtiments d'activités.

¹⁹⁷ Cf. chapitre 6.2.2

On constate une prédominance de logements (au terme des projets de construction en cours de planification – 2030) sur une bonne partie de Carouge (plus de 70% environ sur tout le territoire), en particulier sur la partie centrale de la commune, alors que les périmètres à dominance d'activités se concentrent sur les parties limitrophes : sur le périmètre C19 Val d'Arve et sur une partie du PAV.

La production solaire thermique potentielle en quantité totale est particulièrement importante dans les périmètres avec des ensembles de bâtiments de logements récents ou en cours de développement (C1 Minoteries, C2 Menuisiers, C3 Moraines Théâtre, D1 Fontenette, les périmètres C12 Université, C13 Battelle C13 et D5 PAV Grosselin). Elle est également significative au nord de la commune (C6 Noirettes et B1 Octroi), secteur dense en logements.

La plupart des périmètres ont potentiellement un taux de couverture des besoins annuels d'ECS de plus de 50% (cf. chapitre 6.3.4, tab. 1). Les taux de couverture plus faibles sur certains périmètres s'expliquent par des surfaces de toitures moins disponibles (morphologie des toitures de petite taille, complexes, encombrées, etc., ou déjà installés) par rapport aux besoins d'ECS.

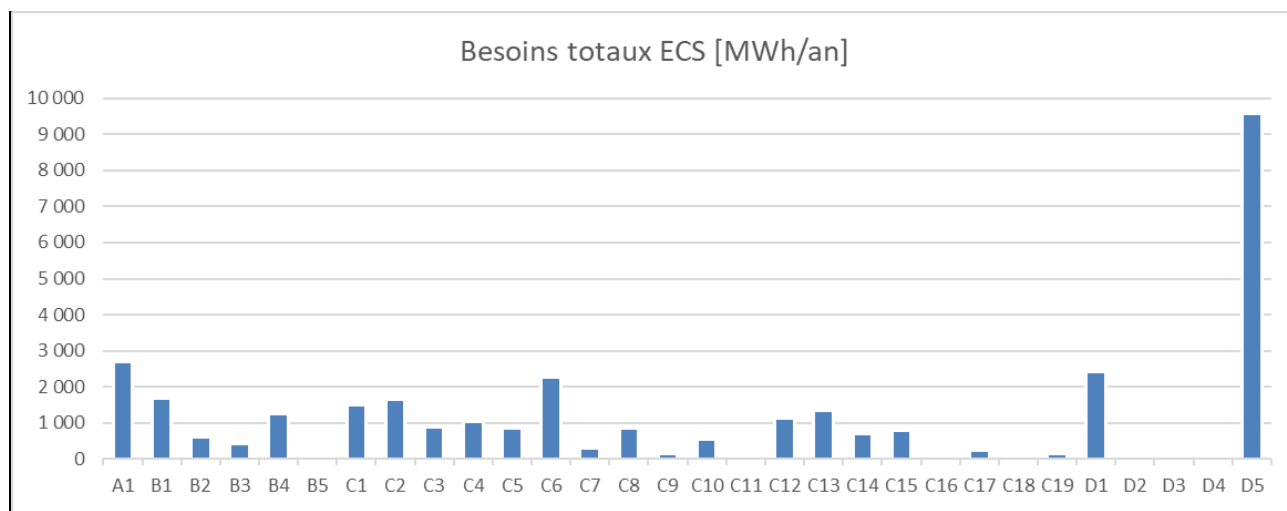


Fig. 1. Besoins totaux ECS (MWh/an). Synthèse par périmètre à l'horizon 2030.

La corrélation est particulièrement bonne entre le niveau des besoins d'ECS et le potentiel thermique total étant donné que les deux sont étroitement liés (potentiel défini par bâtiment en fonction des besoins à couvrir).

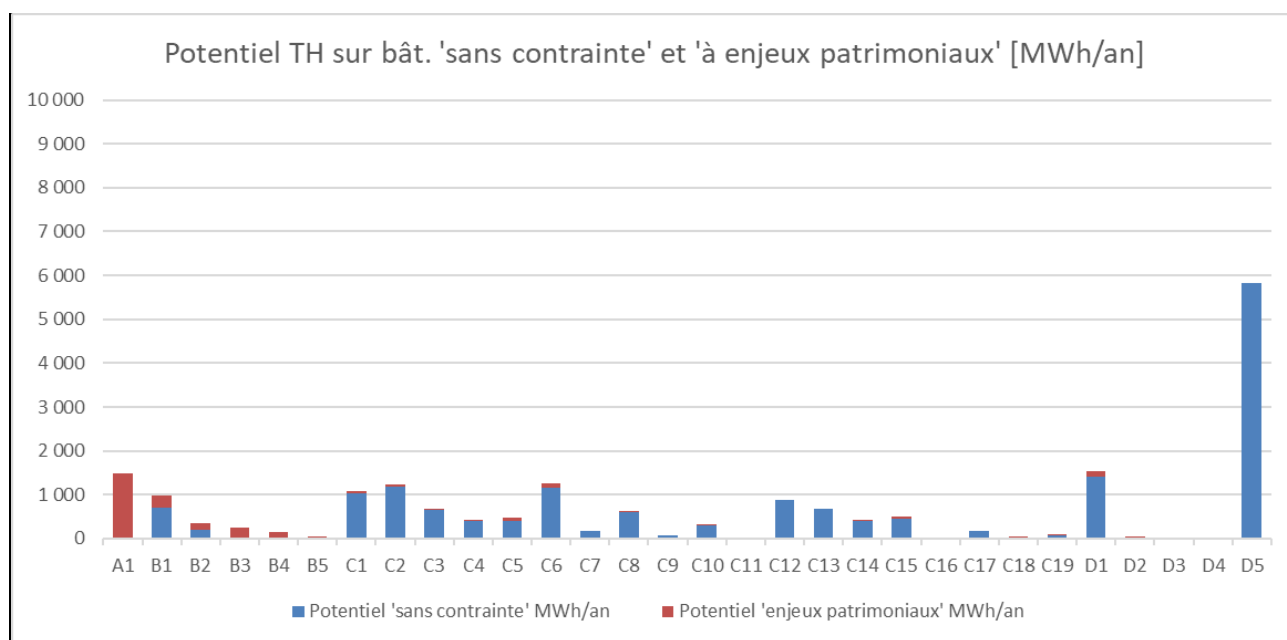


Fig. 2. Potentiel thermique sur les bâtiments sans contrainte et à enjeux patrimoniaux (MWh/an). Synthèse par périmètre à l'horizon 2030.

6.3.3 Potentiel solaire photovoltaïque

La production solaire PV potentielle en quantité totale est particulièrement importante dans les périmètres en mutation forte (D3 Praille Est, D4 Praille Ouest, D5 Grosselin, C1 Minoteries, C2 Menuisiers, C3 Moraines Théâtre, C12 Université) ou de développement récent (C13 Battelle et C14 Grange-Collomb), ou encore présentant des grandes toitures d'équipements publics (C19 Val d'Arve).

Les périmètres au potentiel quantitatif important offrent pour la plupart un taux de couverture des besoins électriques intéressant. À noter la présence de deux périmètres pour l'instant calculés à énergie positive – D4 Praille Ouest et D3 Praille Est – où cependant le programme de constructions futures reste à déterminer.

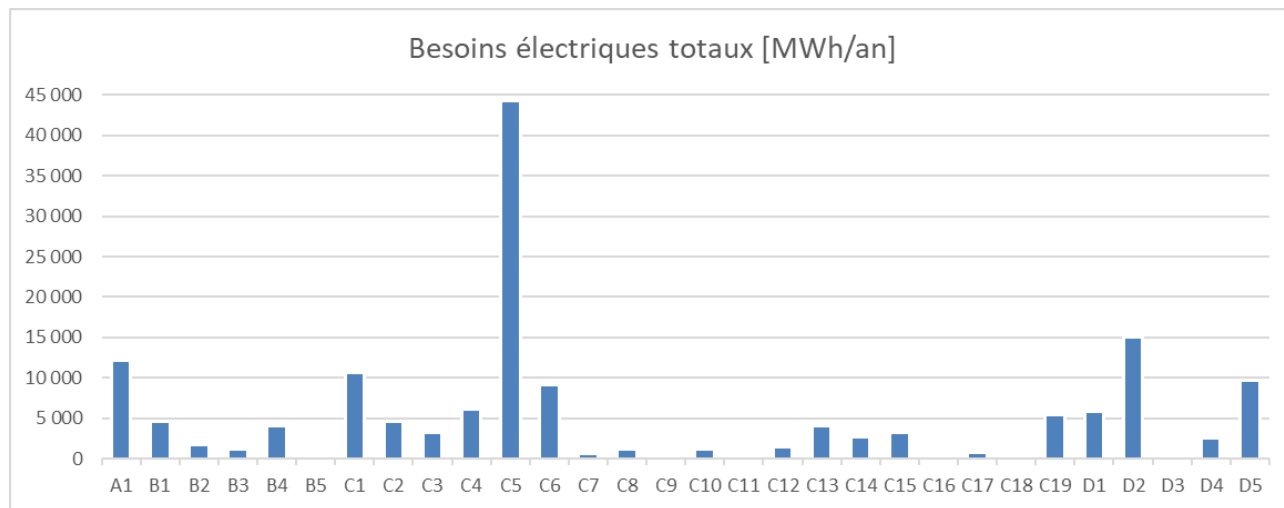


Fig. 3. Besoins électriques totaux (MWh/an). Synthèse par périmètre à l'horizon 2030.

Contrairement au potentiel thermique, il n'y a pas de corrélation entre besoins électriques totaux et potentiel solaire PV, étant donné que ce dernier est déterminé uniquement par la surface de toitures exploitables et non pas par les besoins énergétiques internes au bâtiment.

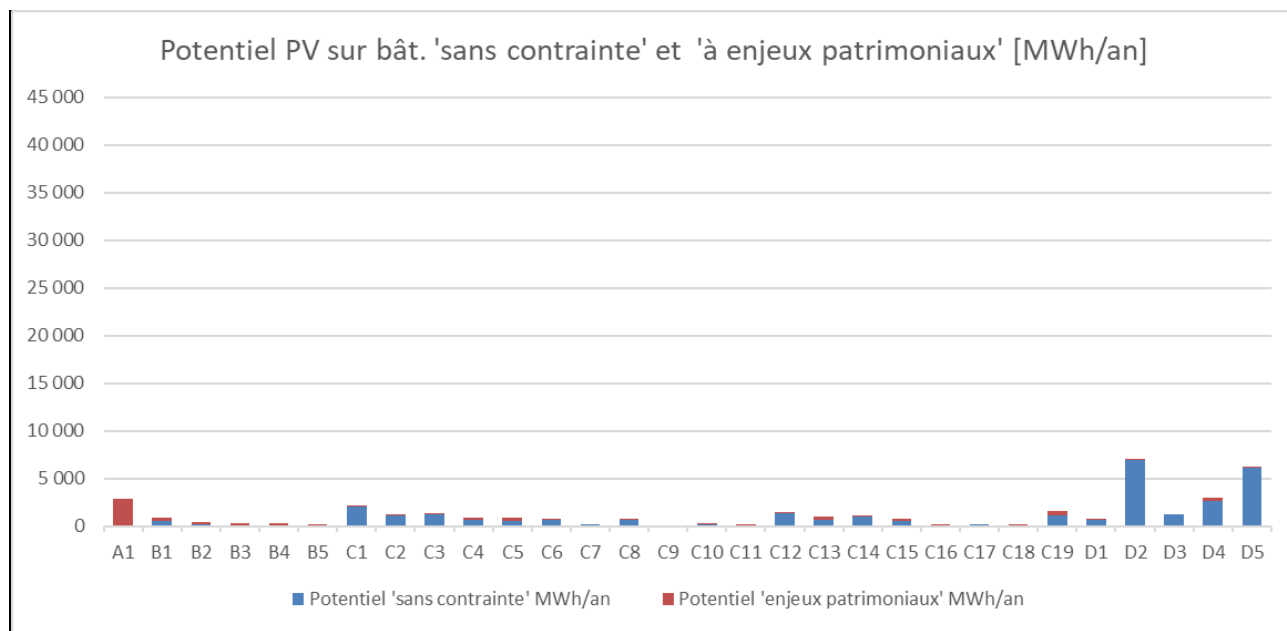


Fig. 4. Potentiel photovoltaïque sur les bâtiments sans contrainte et à enjeux patrimoniaux (MWh/an). Synthèse par périmètre à l'horizon 2030.

6.3.4 Potentiel solaire TH et PV par périmètre

Le tableau 1 ci-dessous donne une vision complète des résultats d'analyse de potentiel agrégés par périmètre. Cependant ces résultats sont à considérer avec précaution car à l'exception de 5 périmètres test, les calculs n'ont pas été actualisés en fonction de l'évolution des projets d'aménagement.

Les périmètres sont classés par type de périmètre selon leur adaptabilité à la pose d'installations solaires (A non adapté, B adapté sous conditions, C adapté, D très adapté). Le tableau est structuré en 3 parties :

1. caractéristiques générales du périmètre (colonnes A à D) : nom, proportion de surfaces de logements et d'activités en lien avec la question du type de prestation solaire prioritaire (TH ou PV), indice morphologique caractérisant la disponibilité des toitures (encore non installées) à accueillir des panneaux,
2. synthèse des différents éléments relatifs au potentiel TH (colonne E à J),
3. synthèse des différents éléments relatifs au potentiel PV (colonne K à P),

La synthèse des éléments de potentiel, selon le mode TH ou PV, porte sur :

- la production énergétique des installations solaires existantes (colonnes TH / E+F et PV / K), distinguant les panneaux solaires thermiques installés sur les « bâtiments à enjeux patrimoniaux » et « bâtiments sans contrainte » ; aucune installation PV n'est répertoriée sur des « bâtiments à enjeux patrimoniaux » dans la commune. Les installations existantes situées sur des bâtiments qui seront démolis à l'horizon 2030 dans le cadre des projets d'aménagement (secteur du PAV en particulier) ne sont pas considérées et donc pas intégrées au calcul ; ainsi les valeurs de production sont logiquement inférieures à celles données au ch. 5.4.2.2 qui portent sur la totalité des installations,
- le potentiel total (colonnes TH / I et PV / O) relatif au développement de nouvelles installations solaires calculé sur les bâtiments « à enjeux patrimoniaux » et « sans contrainte » (excluant les valeurs énergétiques des installations existantes qui représentent un potentiel déjà mobilisé). Pour le PV, la distinction est faite entre le potentiel sur les toitures (colonnes L et M) et sur les façades de bâtiments neufs à construire (colonne N) dans les périmètres concernés,
- la couverture des besoins énergétiques (colonnes TH / J et PV / P) à terme (horizon 2030), par les installations existantes et par le potentiel identifié.

La production énergétique potentielle totale par périmètre peut ainsi être déduite en additionnant la production énergétique actuelle des installations existantes et le potentiel de production lié aux nouvelles installations possibles (TH : colonnes E + F + I ; PV : colonnes K + O).

La gradation des couleurs du tableau (du plus clair pour les valeurs faibles plus foncé pour les valeurs élevées) met en évidence l'intensité des valeurs. Dans les colonnes E à O, les cellules vertes font ressortir les périmètres à fort potentiel, c'est-à-dire ceux dont les toitures sont globalement adaptées aux installations solaires sur le plan morphologique ou en raison de leur mutation forte, avec des constructions neuves, où le niveau absolu de potentiel et le taux de couverture des besoins sont élevés. Ces éléments seront repris au chapitre suivant (6.4) pour classer les périmètres selon leur niveau de potentiel.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
										Potentiel solaire PV					
No	Nom du périmètre	Part SBP logements	Indice de disponibilité - toitures				Potentiel		Couverture besoins ECS	Install. existantes		Potentiel			Couverture besoins électriques
				Bât. sans contrainte	Bât. à enjeux patrim.	Bât. sans contrainte	Bât. à enjeux patrim.	TOTAL		Bât. sans contrainte	Bât. sans contrainte	Bât. à enjeux patrim.	Façades (bât. neufs)	TOTAL	
		%		MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	%	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	%
A. Périmètre non adapté															
A1	Vieux Carouge	86%	21%	0	33	0	1 493	1 493	56%	0	0	2 807	0	2 807	23%
B. Périmètre adapté sous conditions															
B1	Octroi	91%	34%	22	84	714	262	976	64%	0	547	287	0	834	18%
B2	Promenades	83%	29%	6	14	192	168	360	61%	0	182	180	0	362	20%
B3	Pervenches	59%	28%	0	0	0	245	245	57%	0	97	166	0	263	22%
B4	Tours de Carouge	84%	30%	0	595	0	145	145	59%	0	0	310	0	310	8%
B5	Bief-à-Dance	85%	14%	0	4	13	27	40	57%	0	60	26	0	86	71%
C. Périmètre adapté															
C1	Minoteries	68%	55%	0	11	1 022	64	1 086	72%	0	998	113	998	2 109	20%
C2	Menuisiers	96%	46%	0	0	1 194	33	1 228	74%	0	433	46	712	1 191	26%
C3	Moraines Théâtre	96%	51%	16	0	644	13	656	76%	0	602	136	602	1 340	42%
C4	Tunnel	81%	31%	19	0	400	21	421	42%	190	404	128	294	825	17%
C5	PAV - Acacias	40%	26%	12	0	408	56	464	56%	47	514	376	0	889	2%
C6	Noirettes	86%	25%	110	0	1 159	101	1 370	60%	9	613	97	0	710	8%
C7	Poluzzi	100%	21%	0	0	185	0	185	59%	4	148	0	0	148	25%
C8	Pinchat Nord	94%	73%	0	0	597	9	606	70%	0	363	9	228	601	51%
C9	Jules-Vüy	93%	12%	27	0	63	0	90	58%	8	115	0	0	115	36%
C10	Pinchat-Les Moraines	95%	48%	84	0	304	3	391	72%	0	167	10	57	234	20%
C11	Grande-Pièce	98%	4%	2	0	6	11	19	31%	0	12	3	0	14	6%
C12	Université	99%	78%	0	0	868	0	868	77%	0	593	31	726	1 350	88%
C13	Battelle	67%	40%	176	0	676	0	852	63%	30	641	382	0	1 023	26%
C14	Grange-Collomb	55%	44%	58	0	399	8	465	66%	428	1 039	43	0	1 081	56%
C15	Route de St-Julien	94%	52%	0	0	454	38	492	62%	0	168	272	325	766	23%
C16	Route de Troinex	95%	4%	0	0	6	2	8	46%	0	6	1	0	7	9%
C17	Route de Drize	96%	42%	0	0	172	0	172	71%	0	183	0	0	183	23%
C18	Drize Sud	90%	11%	11	0	10	9	30	55%	0	71	16	0	87	64%
C19	Val d'Arve	15%	46%	0	0	74	13	87	61%	0	1 114	459	0	1 573	29%
D. Périmètre très adapté															
D1	Fontenette	88%	38%	50	0	1 412	127	1 539	66%	93	592	134	0	726	14%
D2	PAV - Etoile	10%	69%	0	0	12	34	47	63%	150	3 241	21	3 659	6 921	47%
D3	PAV - Praille Est	0%	61%	0	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0	874	0	299	1 173	274%
D4	PAV - Praille Ouest	5%	61%	0	0	4	0	4	74%	0	1 496	338	1 092	2 926	113%
D5	PAV - Grosselin	87%	71%	5	0	5 837	0	5 837	61%	0	1 259	28	4 836	6 123	63%
TOTAL				597	740	16 825	2 883	20 176		960	16 533	6 418	13 827	36 779	

Tab. 1. Synthèse des analyses par périmètre. Une version de ce tableau et de sa légende en format A3 est disponible dans l'annexe 4.

A	ID	Identifiant du périmètre classé par aptitude à installer des panneaux : type A non adapté, B adapté sous condition, C adapté, D
B	Nom du périmètre	Nom du périmètre classé par aptitude à installer des panneaux (types A à D).
C	Part SBP logements	Part estimée des surfaces brutes de plancher (SBP) affectées aux logements (classes SIA 1 et 2). Logements + Activités = 100%.
D	Indice de disponibilité - toitures	Ratio entre la surface totale des toitures exploitables (y.c. celles des 'bâtiments à enjeux patrimoniaux', mais excluant les surfaces des 'installations existantes') et la totalité des surfaces de toutes les toitures du périmètre. Le potentiel solaire du périmètre sera d'autant plus grand que cet indice est important (toitures peu encombrées et ombragées, plates ou bien exposées).
E	Install. exist. - bât. sans contrainte	Production énergétique totale des panneaux solaires thermiques déjà installés sur les 'bâtiments sans contrainte'.
F	Install. exist. - bât. enjeux patrim.	Production énergétique totale des panneaux solaires thermiques déjà installés sur les 'bâtiments à enjeux patrimoniaux'.
G	Potentiel - bât. sans contrainte	Potentiel de production d'énergie solaire thermique calculé sur les bâtiments de logement 'sans contrainte' (bâtiments existants et les bâtiments neufs à construire à l'horizon 2030).
H	Potentiel - bât. enjeux patrim.	Potentiel de production d'énergie solaire thermique sur les bâtiments de logement 'à enjeux patrimoniaux'.
I	Potentiel total	Potentiel total développement du solaire thermique dans le périmètre = Potentiel 'bât. sans contrainte' (G) + Potentiel 'bât. à enjeux patrimoniaux' (H).
J	Couverture besoins ECS	Couverture potentielle des besoins d'ECS par le solaire thermique, à l'horizon 2030, calculée sur le potentiel total (I) et les 'installations existantes' (E, F).
K	Install. exist. - bât. sans contrainte	Production énergétique totale des panneaux solaires PV déjà installés sur les 'bâtiments sans contrainte'.
L	Potentiel - bât. sans contrainte	Potentiel de production d'énergie solaire électrique calculé sur les 'bâtiments sans contrainte' (bâtiments existants et bâtiments neufs à construire à l'horizon 2030).
M	Potentiel - bât. enjeux patrim.	Potentiel de production d'énergie solaire électrique sur les 'bâtiments à enjeux patrimoniaux'.
N	Potentiel - façades	Potentiel de production d'énergie solaire électrique sur les façades des bâtiments neufs à construire.
O	Potentiel total	Potentiel total développement du solaire PV dans le périmètre = Potentiel 'bât. sans contrainte' (L) + Potentiel 'bât. à enjeux patrimoniaux' (M).
P	PV / Couverture besoins électriques	Couverture potentielle des besoins d'électricité par le solaire PV, à l'horizon 2030, calculée sur le potentiel total (N) et les 'installations existantes' (K).

6.3.5 Synthèse

Les deux graphes ci-dessous représentent la synthèse des productions existantes et potentielles de TH et PV à Carouge, en distinguant les différents éléments présentés dans le tableau 1 : la production des installations existantes (sur les bâtiments conservés suite aux projets de développement), les productions potentielles sur les bâtiments sans contrainte et à enjeux patrimoniaux. La totalité des cercles représente les besoins totaux respectifs en ECS et électricité à l'horizon 2030. En gris les potentiels manquants par rapport aux besoins qui ne pourraient pas être couverts par de l'énergie solaire.

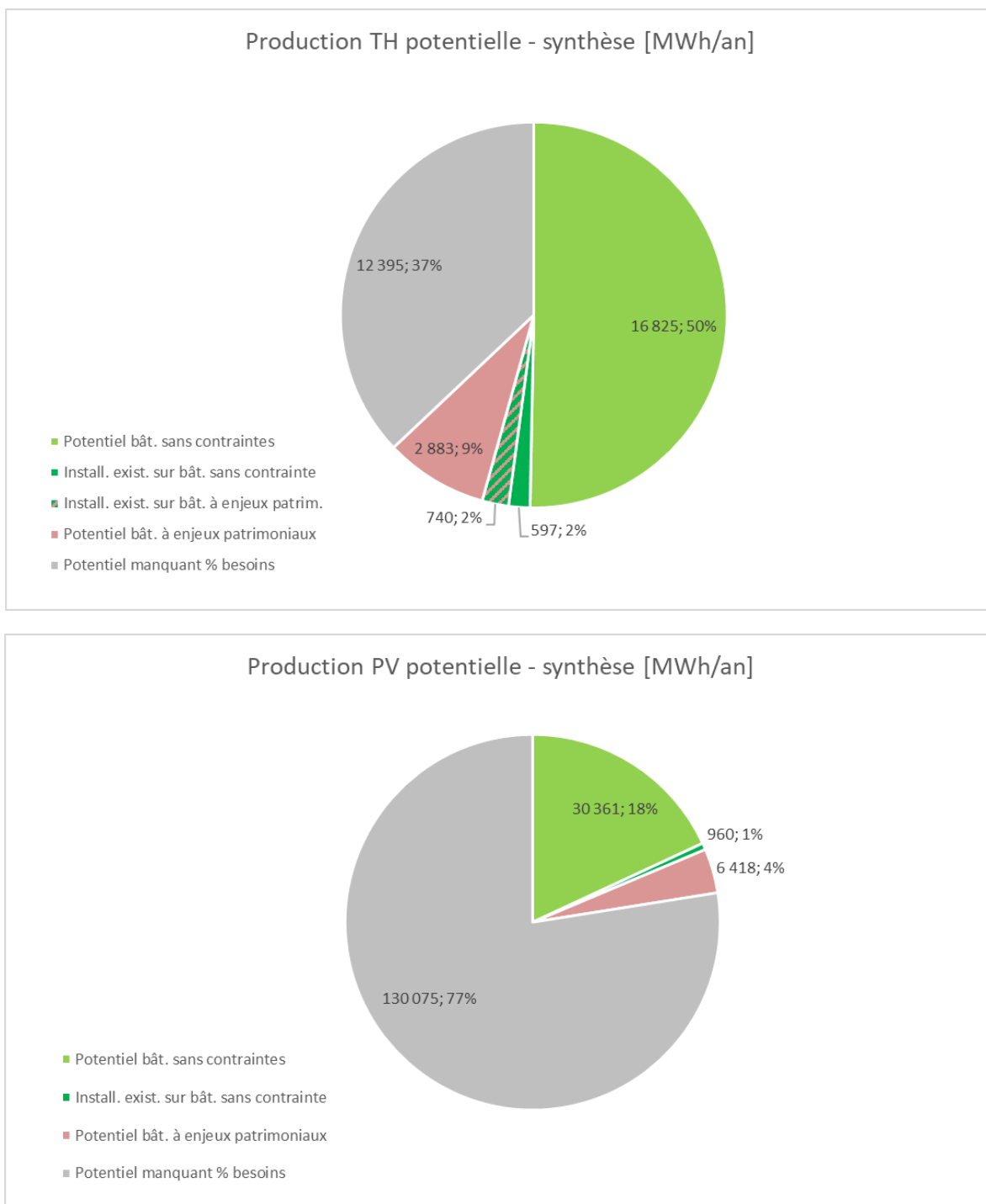


Fig. 5. Potentiels globaux TH et PV sur Carouge à l'horizon 2030

Une partie extrêmement importante des potentiels tant TH que PV se trouve sur des bâtiments sans contrainte. Elle est de 85% pour le TH et de 83% pour le PV. Cela montre qu'il existe à Carouge une marge de manœuvre et de développement du solaire très importante qui n'a pas encore été valorisée

6.3.6 Classification des périmètres en fonction de leur potentiel TH

Le principe de classification est le suivant (→ chapitre 3.3.4.1) :

- périmètre à fort potentiel : quantité d'énergie thermique potentielle très élevée pour produire de l'eau chaude sanitaire, larges toitures disponibles au niveau des périmètres de logement (généralement des projets de construction de logements), proportion réduite ou inexistante de bâtiments à enjeux patrimoniaux,
- périmètre à potentiel moyen : quantité d'énergie thermique potentielle moins élevée pour produire de l'eau chaude sanitaire, surfaces de toiture de taille moyenne (généralement périmètres de logements existants avec peu de contraintes d'encombrement), proportion moyenne de bâtiments à enjeux patrimoniaux,

- périmètre à faible potentiel : quantité d'énergie thermique potentielle faible couvrant très peu les besoins d'ECS (périmètres déficitaires), toitures peu disponibles, encombrées, petites surfaces, proportion importante de bâtiments à enjeux patrimoniaux.

Les critères retenus pour permettre de classer ces périmètres sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

TH	colonne	Faible potentiel	Potentiel moyen	Fort potentiel
Indice de disponibilité des toitures	D	< 30%	30 - 40%	> 40%
Potentiel énergétique total	I	< 250 MWh/an	250 - 500 MWh/an	> 500 MWh/an
Couverture des besoins ECS	J	< 30 %	30 - 60%	> 60%

Tab. 2. Critères de classification – potentiel TH (référence aux colonnes du tableau 4 de synthèse, au chapitre 6.4)

Pour « faible potentiel » et « fort potentiel », les critères doivent être tous simultanément respectés, tandis que pour « potentiel moyen », l'un ou l'autre des critères doit être respecté.

Contrairement au solaire photovoltaïque, il n'existe pas, dans le domaine du solaire thermique, de modèles technico-économiques basés sur des investissements de large envergure ou partagés, qui permettrait de créer un modèle économique de compensation entre les périmètres. Pour le solaire thermique, la **compensation** entre périmètres peut être envisagée à travers le développement de réseaux de chaleur solaire reliant un quartier (à haut potentiel, fortement producteur) à un autre (à faible potentiel), mais surtout par l'installation d'autres systèmes produisant de la chaleur à base d'énergies renouvelables.

6.3.7 Classification des périmètres en fonction de leur potentiel PV

Quatre classes de périmètre sont définies en fonction de la capacité d'accueillir des installations PV de plus ou moins grande envergure (→ chapitre 3.3.4.2) :

- périmètre à fort potentiel : puissance totale installable très élevée en absolu, grandes surfaces de toiture à disposition, proportion réduite ou inexistante de bâtiments à enjeux patrimoniaux,
- périmètre à potentiel moyen : puissance totale installable et surfaces de toiture moyennement élevées, proportion moyenne de bâtiments à enjeux patrimoniaux,
- périmètre à faible potentiel : puissance totale faible, toitures peu disponibles, encombrées, petites surfaces, proportion importante de bâtiments à enjeux patrimoniaux.

Les critères retenus pour permettre de classer ces périmètres sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

PV	colonne	Faible potentiel	Potentiel moyen	Fort potentiel
Indice de disponibilité des toitures	D	< 30%	30 - 40%	> 40%
Potentiel énergétique total	O	< 500 MWh/an	500 - 1000 MWh/an	> 1000 MWh/an
Couverture des besoins électriques	P	< 10 %	10 - 20%	> 20%

Tab. 3. Critères de classification – potentiel PV (référence aux colonnes du tableau 4 de synthèse au ch. 6.4)

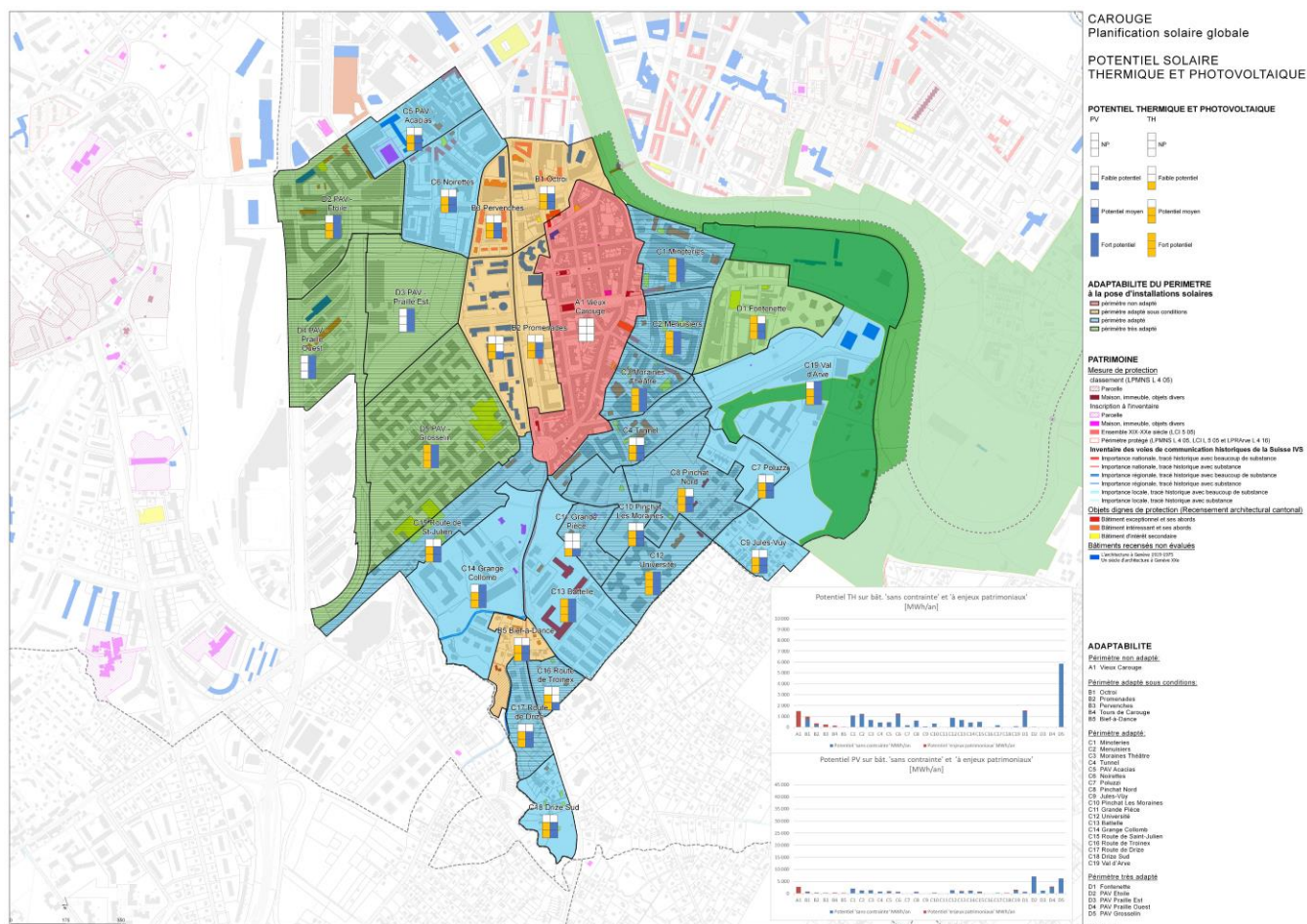
Comme indiqué plus haut, pour « faible potentiel » et « fort potentiel », les critères doivent être tous simultanément respectés, tandis que pour « potentiel moyen », l'un ou l'autre des critères doit être respecté.

Parmi ces critères, nous relevons le niveau de couverture potentielle de besoins qui permet clairement d'identifier les périmètres demandeurs, qui pourraient bénéficier du principe de compensation entre périmètres : un périmètre à faible potentiel (« demandeur ») qui peine à couvrir une partie de ses besoins électriques, du fait d'une irradiation solaire insuffisante sur les toitures et / ou d'autres restrictions comme par exemples des enjeux patrimoniaux limitant ou rendant difficile une intégration supérieure des installations solaires, puisse compenser le manque de production solaire par l'intermédiaire de périmètres voisins à haut potentiel (« exportateurs »). Ces derniers peuvent produire une grande quantité d'énergie avec des panneaux solaires, qui non seulement couvrent une part significative de leurs besoins mais aussi « exporter » l'énergie à des périmètres demandeurs. Cela passe par des programmes de type « énergie renouvelable partagée », permettant à des usagers ou habitants situés dans les périmètres à faible potentiel, d'investir dans des parts d'installations de large envergure situées sur les périmètres à fort potentiel. Il est intéressant de constater que la proportion de propriétés publiques est élevée dans les périmètres à fort potentiel, avec des équipements

publics offrant souvent des larges surfaces de toiture, ce qui devrait faciliter, sur le principe, le montage de projets lorsque les acteurs publics sont parties prenantes (devoir d'exemplarité, facilitateurs, etc.).

La finalité est que, grâce à ces mécanismes de partage entre périmètres « demandeurs » et « exportateurs », le niveau de couverture des besoins énergétiques sur toute la commune soit globalement élevé – selon les objectifs définis en amont – et qu'à travers ces démarches « territoriales » une culture du bâti de qualité soit assurée par des interventions ciblées.

Même non validés dans le détail, à l'exception des 5 périmètres test (→ chapitre 7), les calculs mettent en évidence les périmètres « demandeurs » suivants : A1 Vieux Carouge, C5 PAV Acacias, C6 Noirettes, C11 La Grande Pièce et C16 Route de Troinex. Par contre, de nombreux périmètres, notamment ceux liés aux activités, aux constructions projetées ainsi que C13 Battelle et C12 Université ont un fort potentiel de production énergétique permettant d'envisager une compensation avec les périmètres « demandeurs ».



Potentiel solaire (voir aussi annexe 1 carte 6)

6.4 STATUT DES PÉRIMÈTRES POUR LA VALORISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

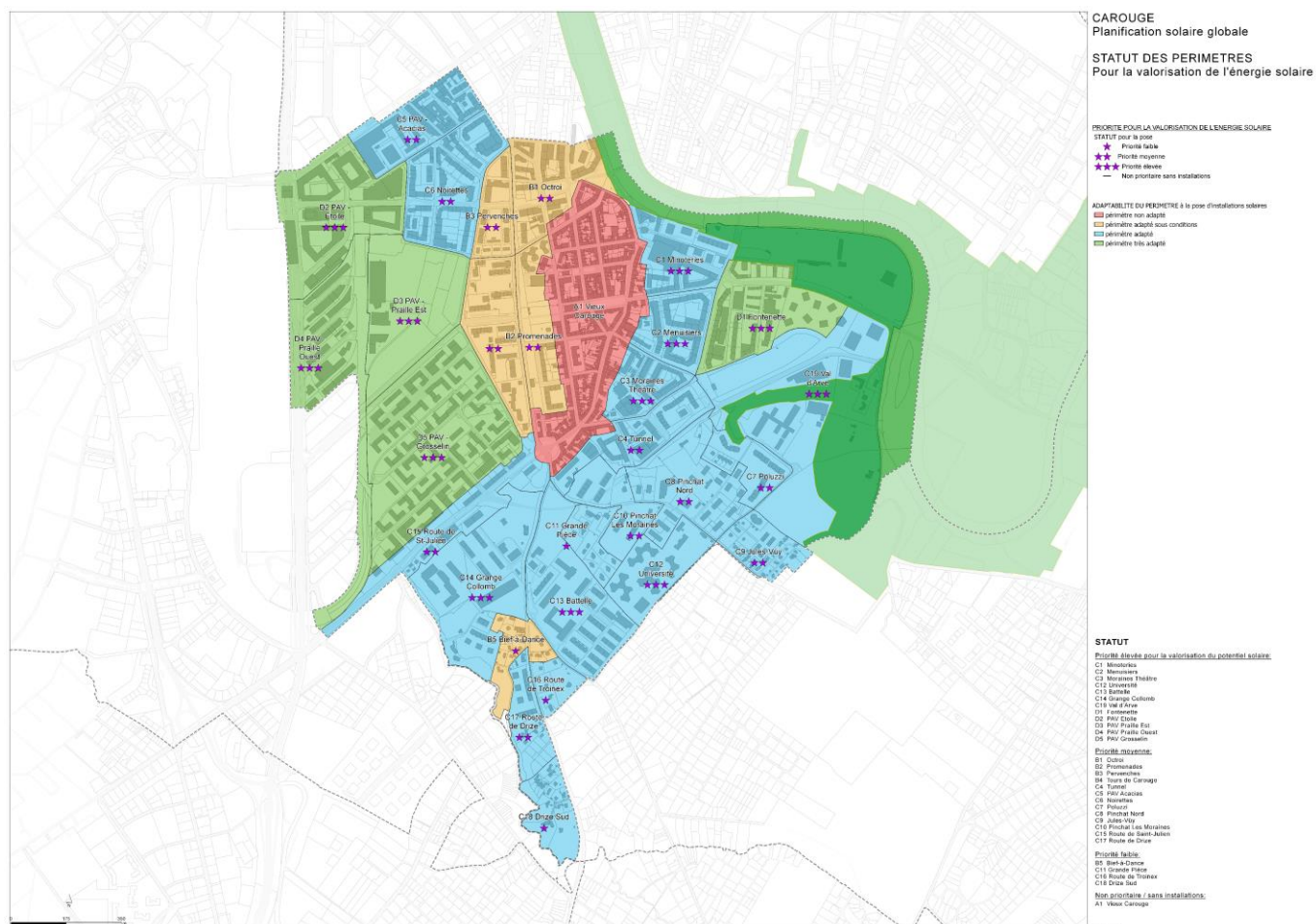
Dans cette quatrième et dernière étape de la planification solaire globale (cf. chapitre 3.4) à Carouge, les différents périmètres (→ chapitre 6.1), définis en fonction de critères relatifs à leur adaptabilité à la pose d'installations solaires (→ chapitre 6.2) croisés avec des critères relatifs à leur potentiel solaire effectif (TH et PV) (→ chapitre 6.3), se voient attribuer un « statut » qui fait ressortir leur niveau de priorité en matière de promotion et de déploiement de l'énergie solaire à Carouge.

Le croisement de ces analyses est synthétisé dans le tableau ci-dessous, qui identifie également les propriétés publiques et parapubliques principales.

A	B	Q	R	S	T	
No	Nom des périmètres	Classement des périmètres selon potentiel		STATUT pour la pose	Type de propriété publique dominant	Remarques
		Thermique	PV			
A. Périmètre non adapté						
A1	Vieux Carouge	Non prioritaire (NP)	Non prioritaire (NP)	Non prioritaire (NP)		
B. Périmètre adapté sous conditions						
B1	Octroi	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
B2	Promenades	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
B3	Pervenches	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**	Commune (école)	
B4	Tours de Carouge	Potentiel moyen	Faible potentiel	**		patrimoine
B5	Bief-à-Dance	Potentiel moyen	Potentiel moyen	*		
C. Périmètre adapté						
C1	Minoteries	Fort potentiel	Fort potentiel	***	Caisse de pension	
C2	Menuisiers	Fort potentiel	Fort potentiel	***		
C3	Moraines Théâtre	Fort potentiel	Fort potentiel	***	Commune / Canton	mutation, projets neufs
C4	Tunnel	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C5	PAV - Acacias	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**	Canton/Commune/Caisse de pension	
C6	Noirettes	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C7	Poluzzi	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C8	Pinchat Nord	Fort potentiel	Potentiel moyen	**		
C9	Jules-Vüy	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C10	Pinchat-Les Moraines	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**	Caisse de pension	
C11	Grande-Pièce	Faible potentiel	Faible potentiel	*		
C12	Université	Fort potentiel	Fort potentiel	***		
C13	Battelle	Fort potentiel	Fort potentiel	***	Canton (Uni)/Commune/Caisse de pension	
C14	Grange-Collomb	Potentiel moyen	Fort potentiel	***	Canton (écoles)	
C15	Route de St-Julien	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C16	Route de Troinex	Potentiel moyen	Faible potentiel	*		
C17	Route de Drize	Potentiel moyen	Potentiel moyen	**		
C18	Drize Sud	Potentiel moyen	Potentiel moyen	*		
C19	Val d'Arve	Potentiel moyen	Fort potentiel	***	Commune / Canton (equip. publics)	
D. Périmètre très adapté						
D1	Fontenette	Fort potentiel	Potentiel moyen	***	Caisse de pension / Canton (école)	
D2	PAV - Etoile	Potentiel moyen	Fort potentiel	***	Canton	
D3	PAV - Praille Est	Non prioritaire (NP)	Fort potentiel	***	Fondation des terrains industriels (FTI)	parc
D4	PAV - Praille Ouest	Non prioritaire (NP)	Fort potentiel	***	Fondation des terrains industriels (FTI)	
D5	PAV - Gresselin	Fort potentiel	Fort potentiel	***	Canton	

Tab.4. Synthèse globale et statut des périmètres

Niveau de potentiel TH ou PV	STATUT pour la pose
Non prioritaire	Non prioritaire
Faible	Priorité faible *
Moyen	Priorité moyenne **
Elevé	Priorité élevée ***



Statut des périmètres (voir aussi annexe 1 carte 7)

En l'état de l'étude et compte-tenu de l'évolution des projets pour les périmètres en mutation, la planification solaire à Carouge se présente comme suit :

6.4.1 Périmètres à priorité élevée* pour la valorisation de l'énergie solaire**

Carouge possède 12 périmètres à priorité élevée*** pour la valorisation de l'énergie solaire. Du point de vue d'une culture du bâti de qualité, les périmètres à priorité élevée sont des périmètres C adaptés, voire des périmètres D très adaptés à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un fort potentiel solaire TH et/ou PV. Les enjeux patrimoniaux sont faibles.

On y retrouve .

- 1 périmètre très adapté, urbanisé de longue date, dans un voisinage peu sensible (D1 Fontenette),
- 4 périmètres du PAV très adaptés, en forte mutation (D2 PAV Etoile / D3 PAV Praille Est / D4 PAV Praille Ouest / D5 PAV Grosselin),
- 3 périmètres de Carouge Est adaptés, en forte mutation (C1 Minoteries / C2 Menuisiers / C3 Moraines Théâtre),
- 2 périmètres adaptés d'urbanisation récente, où subsistent des potentiels significatif (C13 Battelle / C14 Grange-Collomb),
- 1 périmètre adapté dont l'urbanisation est en cours (C12 Université),
- 1 périmètre adapté qui concentre les équipements publics (C19 Val d'Arve).

Parmi ces périmètres à priorité élevée, les périmètres en mutation représentent proportionnellement une part importante du potentiel solaire global de la commune. Ils constituent une opportunité unique d'intégrer la planification et les technologies solaires à l'échelle de quartiers et d'envisager une compensation vis-à-vis de périmètres au potentiel faible.

6.4.2 Périmètres à priorité moyenne pour la valorisation du potentiel solaire**

Carouge possède 13 périmètres à priorité moyenne** pour la valorisation de l'énergie solaire. Du point de vue d'une culture du bâti de qualité, les périmètres à priorité moyenne sont des périmètres C adaptés ou des périmètres B adaptés sous conditions à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un potentiel solaire TH et/ou PV moyen. Les enjeux patrimoniaux sont moyens.

On y retrouve :

- 4 périmètres adaptés, quartiers urbains centraux sans enjeux patrimoniaux particuliers (C4 Tunnel / C5 PAV Acacias / C6 Noirettes / C15 route de St-Julien),
- 1 périmètre adapté, d'urbanisation récente, où subsistent des potentiels (C10 Pinchat Les Moraines)
- 2 quartiers résidentiels à faible densité (C7 Poluzzi / C9 Jules-Vüy),
- 4 périmètres adaptés sous conditions, situés à proximité du Vieux Carouge et présentant des enjeux patrimoniaux bien identifiés et ciblés (B1 Octroi / B2 Promenades / B3 Pervenches / B4 Tours de Carouge),
- 2 périmètres adaptés, avec une forte mutation envisagée (C8 Pinchat Nord / C17 Route de Drize).

Ces périmètres représentent proportionnellement une part significative du potentiel solaire global de la commune. Les opportunités de valorisation de l'énergie solaire y sont plus ponctuelles, sur certaines toitures avec des capacités intéressantes (équipements publics, toitures plates). Ces dernières peuvent offrir l'opportunité d'une mutualisation au sein du périmètre.

6.4.3 Périmètres à priorité faible* pour la valorisation de l'énergie solaire

4 périmètres carougeois présentent une priorité faible* pour la valorisation de l'énergie solaire. Du point de vue d'une culture du bâti de qualité, les périmètres à priorité faible sont des périmètres B adaptés sous conditions ou C adaptés à la pose d'installations solaires. Ils possèdent un faible potentiel TH et/ou PV. Les enjeux patrimoniaux sont significatifs ou bien identifiés.

On y retrouve :

- 1 périmètre adapté sous conditions, quartier de villas et mas anciens présentant des enjeux patrimoniaux significatifs (B5 Bief-à-Dance),
- 1 périmètre adapté, quartier de villas avec des enjeux patrimoniaux ciblés (C18 Drize Sud),
- 2 périmètres adaptés (C11 La Grande Pièce / C16 Route de Troinex), où une densification est envisagée, mais qui n’a pas été évaluée en termes de potentiel solaire.

Ces périmètres représentent proportionnellement une part réduite du potentiel solaire global de la commune. En présence d’enjeux patrimoniaux significatifs, le potentiel solaire est à prévoir sur des bâtiments ou des annexes sans enjeux, ou bien les propriétaires devraient avoir la possibilité d’investir dans une centrale solaire ailleurs sur le territoire communal (investissement participatif) ou dans une autre source d’énergie renouvelable pour leurs bâtiments.

6.4.4 Périmètre non prioritaire pour la valorisation de l’énergie solaire

Périmètre A non adapté à la pose d’installations solaires, le Vieux Carouge doit être considéré comme non prioritaire pour la valorisation de l’énergie solaire, en raison de ses qualités urbanistiques, architecturales et patrimoniales élevées et des objectifs de sauvegarde prioritaires.

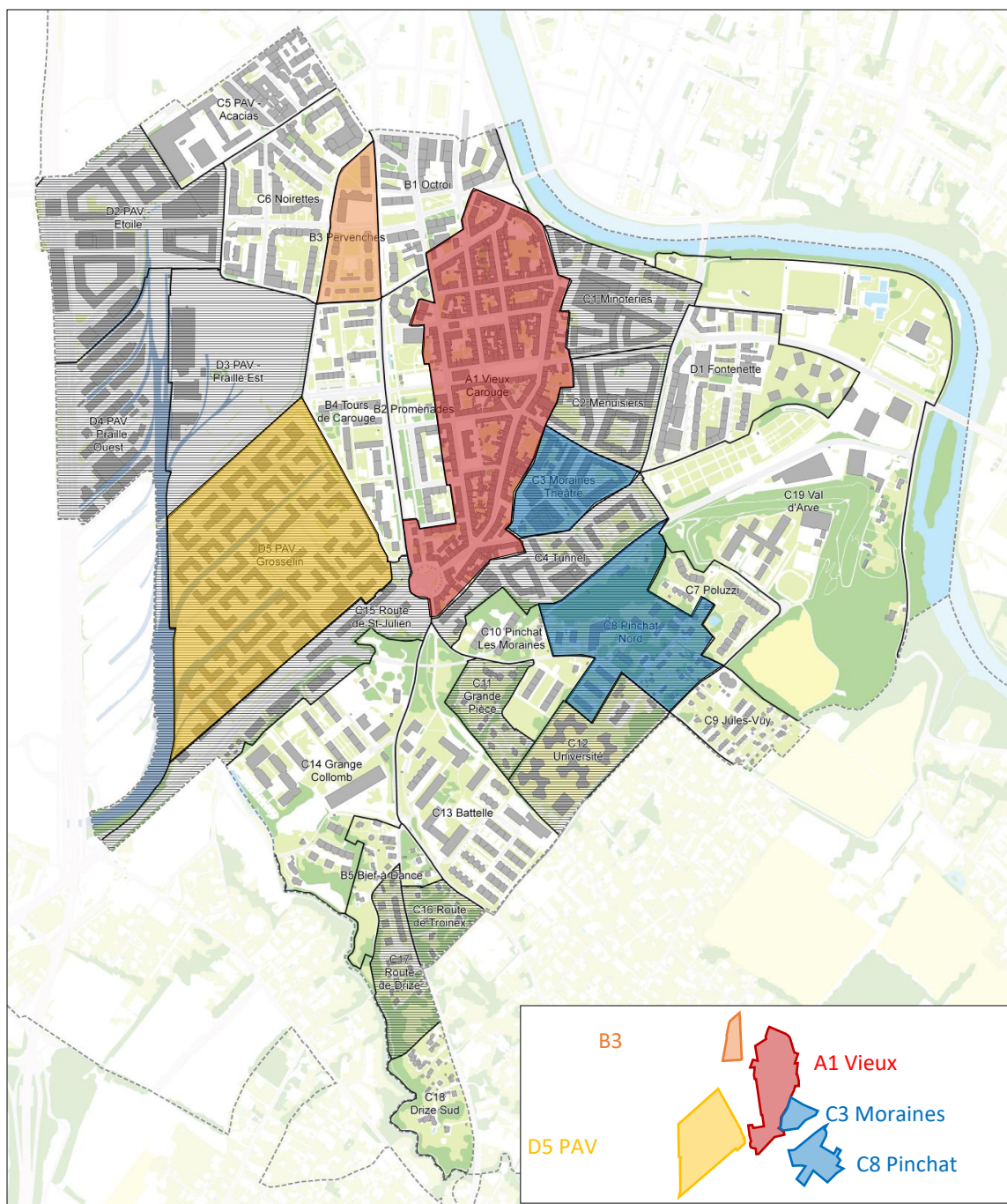
Avec son faible potentiel TH et PV, le Vieux Carouge représente proportionnellement une part très réduite, voire insignifiante du potentiel solaire global de la commune. Les objectifs de sauvegarde de ce site exceptionnel exigent une intégration de qualité supérieure, qui rend la rentabilité des installations peu intéressante. Les propriétaires devraient se voir proposer par le canton, respectivement la commune, l’opportunité d’investir dans une centrale solaire ailleurs sur le territoire communal (investissement participatif) ou dans une autre source d’énergie renouvelable pour leurs bâtiments.

L’identification du statut de chaque périmètre permet d’établir des stratégies de mise en œuvre sur mesure, en fonction des spécificités reconnues et des potentiels identifiés. Plus la priorité d’un périmètre est élevée, plus la nécessité d’une démarche concertée et planifiée entre les différents acteurs concernés s’impose, avec une ambition portée par les collectivités publiques. Les différentes stratégies en relation avec le statut de priorité pour la valorisation de l’énergie solaire sont présentées dans le chapitre 8.

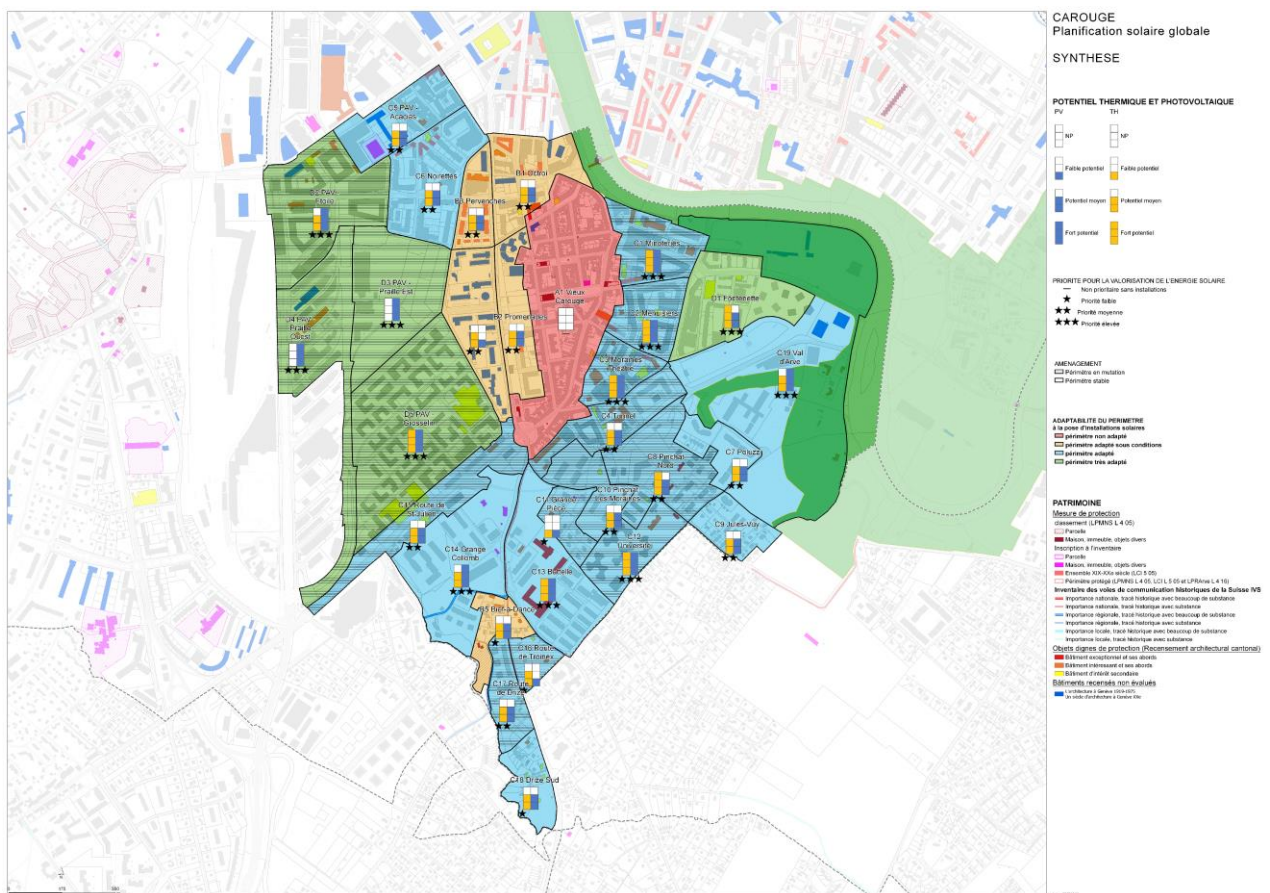
Le chapitre 7 contient les fiches de 5 périmètres représentatifs :

- A1 Vieux Carouge
- B3 Pervenches
- C3 Moraines Théâtre
- C8 Pinchat Nord
- D5 PAV Grosselin

L’illustration suivante permet de situer ces 5 périmètres.



6.5 CARTE DE SYNTHÈSE



Synthèse (voir aussi annexe 1 carte 8)

7. CINQ PÉRIMÈTRES TEST

Les périmètres définis pour Carouge ont fait l'objet d'une analyse fine selon la méthodologie présentée dans le chapitre 6, consignée dans une fiche détaillée. Chaque fiche comporte 6 à 7 pages : une page de synthèse, deux pages traitant de la culture du bâti, trois pages traitant des aspects liés au potentiel solaire. Dans les périmètres en mutation forte, une page supplémentaire est consacrée au potentiel solaire en façade.

La composition et le contenu des fiches sont décrits page par page dans la partie suivante.

7.1 STRUCTURE DES FICHES DE PÉRIMÈTRES

7.1.1 Page 1 / synthèse

Planification solaire globale à l'exemple de la ville de Carouge dans le canton de Genève		NO fiche Adaptabilité à la pose d'installations Statut % valorisation de l'énergie solaire ***/**/*
NOM du périmètre		
<i>Définition</i>	Délimitation géographique Mutation (si s'applique) Caractérisation (type urbain) Sensibilité du voisinage	Résumé Caractéristiques principales du site, en termes d'adaptabilité à la pose d'installations (relevant de la culture du bâti), de potentiel solaire TH et PV et de statut pour la valorisation des ressources solaires.
<i>Aménagement</i>	Zone d'affectation (→ définitions annexe 3) Planification éventuelle (plan directeur, règles d'aménagement, ...)	
<i>ISOS</i>	Classification ISOS et objectif de sauvegarde	
Extrait du plan d'ensemble état 2018 / SITG		Recommandations Recommandations/règles concernant les installations solaires selon adaptabilité du périmètre et statut pour la valorisation de l'énergie solaire Stratégies de valorisation en fonction du statut du périmètre

7.1.2 Page 2 / culture du bâti 1

Urbanisation Brève lecture de la formation urbaine du périmètre	<i>Vue aérienne du périmètre</i>
Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales Lecture synthétique de la forme urbaine du périmètre et des caractéristiques morphologiques du bâti et, cas échéant, des espaces ouverts. Évt. Projets d'aménagement Présentation des objectifs d'aménagement et des projets connus	<i>Carte des bâtiments selon leur affectation / source SITG</i> ou <i>Illustration des projets d'aménagement</i>

7.1.3 Page 3 / culture du bâti 2

<i>Carte du patrimoine architectural et sites / source Office du patrimoine et des sites, canton de Genève</i>	Enjeux patrimoniaux Classification ISOS et objectif de sauvegarde Indication des périmètres, bâtiments et objets bénéficiant de mesures de protection cantonale, des objets et bâtiments dignes de protection ou documentés au plan cantonal Caractérisation des enjeux patrimoniaux
	Adaptabilité à la pose d'installations solaires Synthèse des éléments identifiés plus haut (culture du bâti) déterminant la capacité de chaque périmètre à accueillir des installations solaires. Formulation d'éventuelles conditions pour la pose d'installations solaires.

7.1.4 Page 4 / potentiel solaire 1

<i>Carte de l'irradiation solaire annuelle brute sur les parties exploitables des toitures bien exposées (> 1'000 kWh/m²/an)</i>	Irradiation solaire annuelle Appréciation globale sur les surfaces irradiées
--	--

Potentiel total de production énergétique (thermique et photovoltaïque) sur les toitures des bâtiments (horizon 2030)								
Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures périmètre
[-]	[-]	[MWh/an]	[kWc]	[%]	[m2]	[m2]	[%]	[m2]
Thermique	Vitré	0	N.A	0.0%	0	0	0.0%	
PV	Monocristallin	0	0	0.0%	0	0	0.0%	
	Polycristallin	0	0	0.0%				
Total (surfaces)					0	0	0.0%	113 749

Légende tableau

Production potentielle [MWh/an]	quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable
Puissance potentielle [kWc]	puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)
Couverture potentielle besoins [%]	ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment
Surface capteurs installables [m ²]	surface totale des capteurs solaires qui peut être installée sur les toitures exploitables
Surface toitures exploitables [m ²]	surface totale des toitures sur laquelle sont installés les champs de capteurs
Toitures exploitables / toitures totales [%]	ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre
Surface totale brute toitures périmètre [m ²]	surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

7.1.5 Page 5 / Potentiel solaire thermique

Répartition du potentiel solaire thermique Indication : - total des besoins à l'horizon 2030 - des surfaces de panneaux et de l'énergie produite par les installations existantes sur les bâtiments sans contrainte - du potentiel envisageable sur les bâtiments sans contraintes (surfaces exploitables et énergie produite) - du potentiel envisageable sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux - du potentiel manquant par rapport aux besoins	<i>Carte du potentiel de valorisation solaire thermique</i>
<i>Graphique circulaire</i> Représentation visuelle des valeurs énergétiques présentée dans le tableau	

Appréciation du potentiel solaire thermique

Synthèse des éléments relatifs au TH

7.1.6 Page 6 / Potentiel Solaire photovoltaïque

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque Indication : - total des besoins à l'horizon 2030 - des surfaces de panneaux et de l'énergie produite par les installations existantes sur les bâtiments sans contrainte - du potentiel envisageable sur les bâtiments sans contraintes (surfaces exploitables et énergie produite) - du potentiel envisageable sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux - du potentiel manquant par rapport aux besoins	<i>Carte du potentiel de valorisation solaire photovoltaïque</i>
<i>Graphique circulaire</i> Représentation visuelle des valeurs énergétiques présentée dans le tableau	

Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Synthèse des éléments relatifs au PV

7.1.7 Page 7 / Potentiel solaire photovoltaïque en façade (si pertinent)

Irradiation solaire des façades de bâtiments projetés (horizon 2030) Évaluation du potentiel sur les parties de façades dont l'irradiation est supérieure à 750kWh/m ² /an.	<i>Irradiation solaire annuelle brute (kWh/m²/an) sur les façades</i>
--	--

Cette analyse périmètre par périmètre a permis :

- de mettre en évidence les spécificités de chaque périmètre,
- de classer chaque périmètre selon son adaptabilité à la pose d'installations solaires (type : A non adapté / B adapté sous conditions / C adapté / D très adapté),
- d'affiner le calcul du potentiel solaire (TH et PV ou PV seul), pour identifier le potentiel effectif,
- de déterminer le statut de chaque périmètre dans la planification solaire globale (priorité élevée pour la valorisation de l'énergie solaire, priorité moyenne, priorité faible, non prioritaire).

Périmètre non adapté à la pose d'installations

Non prioritaire pour la valorisation de l'énergie solaire

VIEUX CAROUGE

Définition	Limites du périmètre du <i>Plan de site</i> du Vieux Carouge Centre historique
Aménagement	Zone 4A Zone protégée (LCI, art. 94 - 104) <i>Plan de site</i> du Vieux Carouge et règlement
ISOS	Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (A)

Résumé

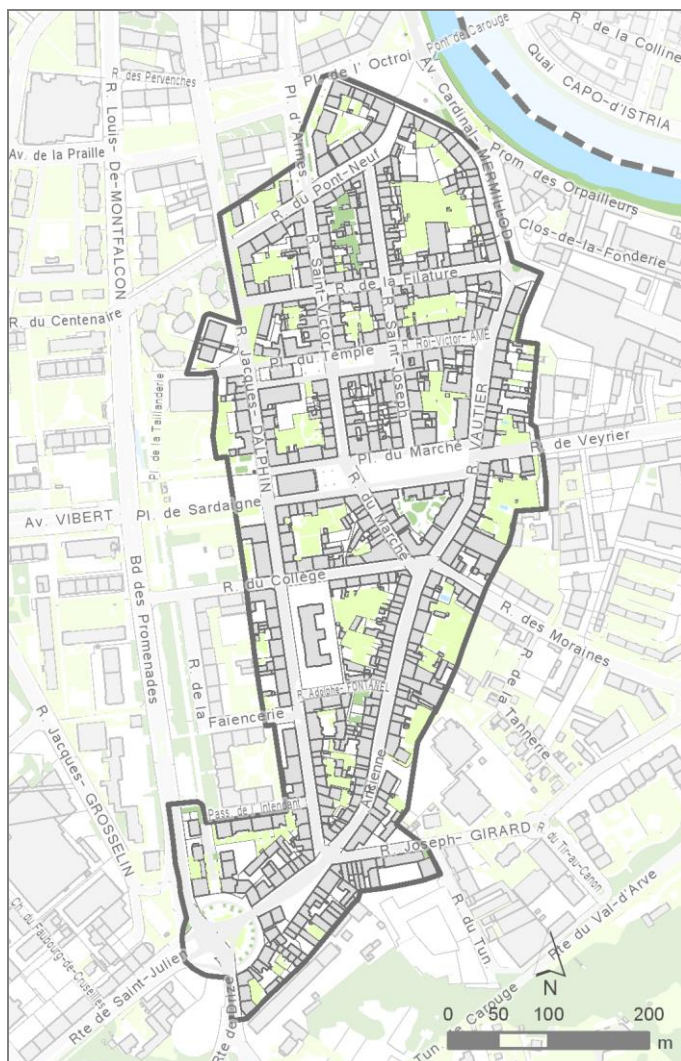
Ville nouvelle du 18^e siècle, le Vieux Carouge occupe le centre du site construit d'importance nationale de l'*Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse* (ISOS) et est au bénéfice depuis 1982 d'un *Plan de site* cantonal. Le paysage des toitures joue un rôle prépondérant dans la morphologie de la cité, leur revêtement de tuiles plates constituant un élément fondamental de la qualité patrimoniale de l'ensemble. Présentant un tissu bâti homogène et hautement sensible, avec un objectif prioritaire de sauvegarde du matériau et de l'aspect originaux ainsi que des enjeux patrimoniaux élevés, le périmètre du Vieux Carouge doit être considéré comme non adapté à la pose d'installations solaires.

Recommandations

Dans ce périmètre non adapté à la pose d'installations solaires, la couverture des besoins en ECS et en électricité devra être assurée soit sur le site par d'autres modes de production renouvelables (chauffage à distance, géothermie ou autres technologies), soit en compensation dans des périmètres prioritaires pour la valorisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

La commune :

- informe la population et les propriétaires du Vieux Carouge de la possibilité d'investir dans la production solaire sur le territoire communal,
- demande la mise à jour des CET à la lumière des résultats de la planification solaire globale.

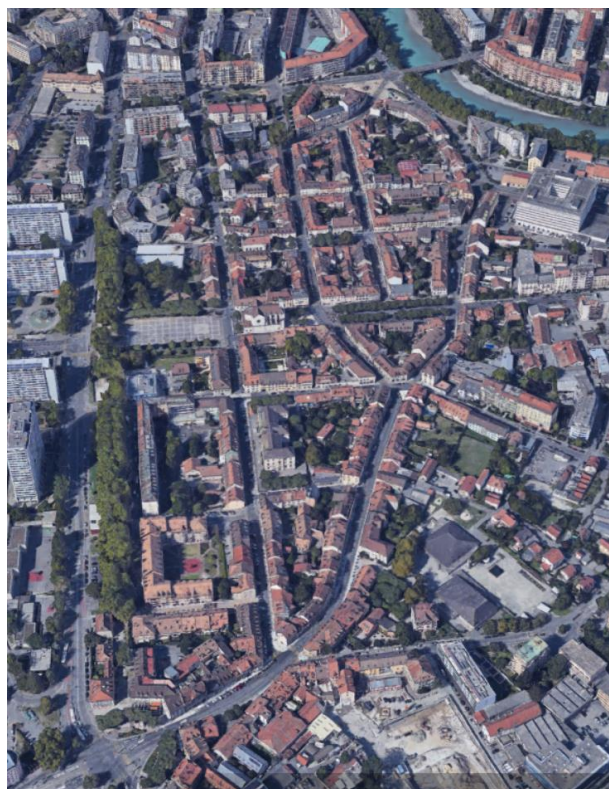


Extrait du plan d'ensemble état 2018 / SITG

Culture du bâti

Urbanisation

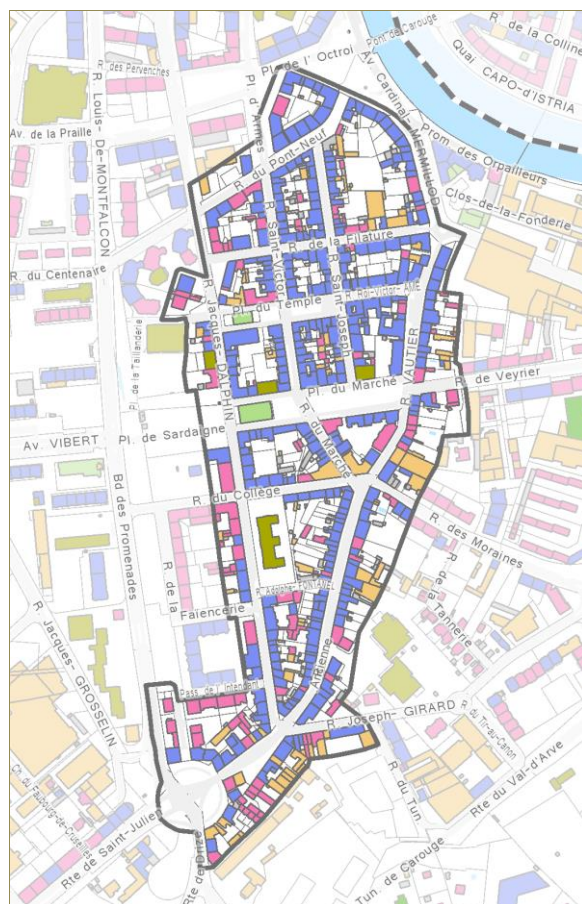
Le développement de la ville nouvelle de Carouge selon un plan régulateur voulu par les autorités sardes s'enclenche dans les dernières décennies du 18^e siècle (plan Robilant 1781, plans Elia et Viana 1781-1783, plan Giardino 1787). L'espace à urbaniser s'ordonne autour d'axes de circulation, formant un quadrillage régulier d'îlots. Celui-ci se développe vers l'ouest à partir d'un axe existant, correspondant aux actuelles rues Vautier et Ancienne, dont le tracé vient rompre la régularité du plan en damier. La période de création s'étend sur une vingtaine d'années, de 1770 à 1790. Elle ralentit fortement par la suite, pour reprendre de façon plus soutenue à la fin du 19^e siècle. Les îlots s'étoffent, souvent avec des bâtiments dont le gabarit est en rupture avec ceux de la cité sarde. Cette situation prévaut jusqu'à l'adoption en 1982 du *Plan de site* et de mesures de protection pour préserver la spécificité du Vieux Carouge.



Vue aérienne du Vieux Carouge / Google Maps 2018

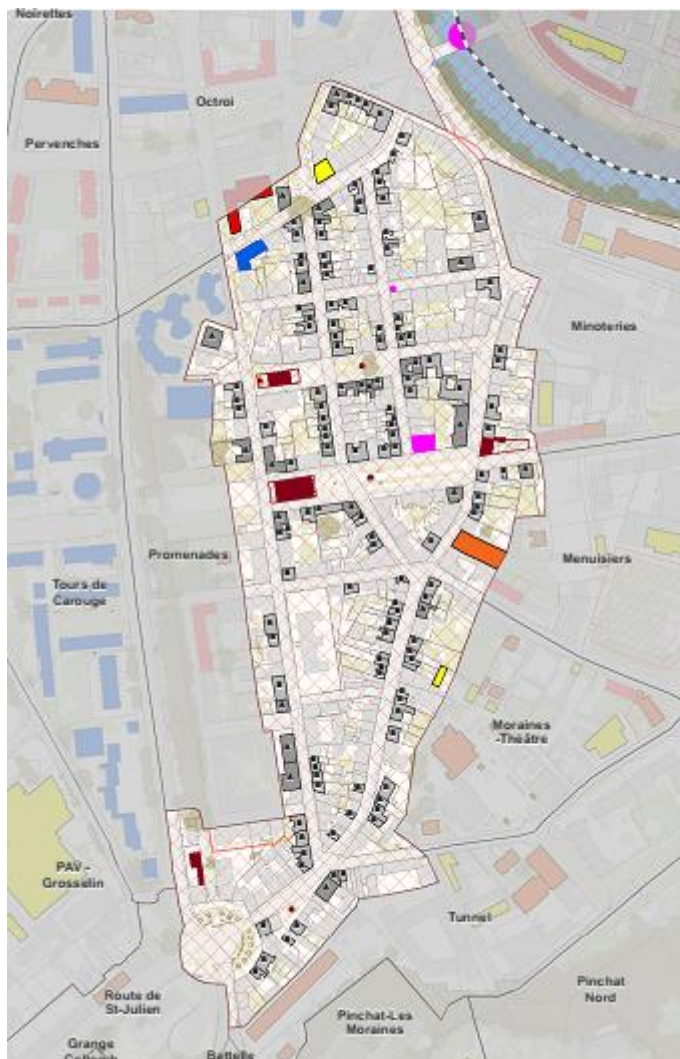
Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

Ce tissu urbain compact présente une morphologie régulière et une homogénéité remarquable, avec toutefois une certaine diversité dans l'architecture des bâtiments individuels. Celle-ci résulte d'une part de la longue période durant laquelle le plan en damier a fini de s'étoffer, d'autre part des opérations de transformation, construction et reconstruction qui, jusqu'à l'adoption du *Plan de site* en 1982, ne respectent pas nécessairement la grammaire de la ville nouvelle. La cité sarde se caractérise par une implantation des bâtiments délimitant des îlots privatifs autour de cours et jardins. Les qualités architecturales qui font la règle de ce site protégé sont la proportion et la régularité des alignements, les matériaux et couleurs, la variation des gabarits et une variété subtile de l'expression des façades et du paysage des toitures.



Bâtiments selon leur affectation état 2017 / SITG

Les bâtiments à affectation mixte – activités au rez, habitation à l'étage – sont comptabilisés comme « logement » pour les calculs relatifs aux besoins en ECS.



Enjeux patrimoniaux

SOS Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (A) depuis 1983/84.

Au niveau cantonal, le Vieux Carouge est au bénéfice depuis 1982 d'un *Plan de site*. Celui-ci fixe les règles cantonales pour la conservation, la rénovation, la transformation et la construction, destinées à « préserver le caractère architectural historique et l'aménagement du centre de la ville de Carouge ». L'expression du découpage parcellaire doit être préservée. Le *Plan* distingue les bâtiments maintenus en catégorie A, « qui ne peuvent faire l'objet que de travaux d'entretien ou de transformations utiles à une amélioration des locaux, dans l'esprit de la conservation du bâtiment » et les bâtiments maintenus en catégorie B, « qui peuvent être transformés si les éléments intéressants de [leur] substance architecturale sont sauvegardés » ; l'aménagement des combles reste possible, limité à un niveau.

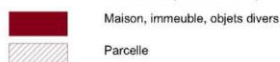
Le règlement du *Plan de site* précise notamment qu'« en règle générale, les toitures doivent être recouvertes de tuiles plates ». L'article 6 alinéa 2 relatif à l'esthétique des bâtiments stipule que les matériaux et teintes doivent être en harmonie avec ceux des constructions existantes, et que les murs doivent être crépis à la main au mortier de chaux et ciment, dans les règles de l'art.

Le périmètre possède également un certain nombre de bâtiments et objets individuels bénéficiant de mesures de protection tant fédérales que cantonales.

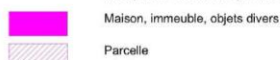
Enjeux patrimoniaux. Patrimoine architectural et sites – Objets protégés et dignes de protection état 2018 / OPS

Mesures de protection

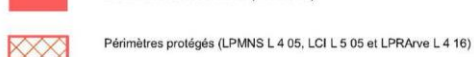
Classement (LPMNS L 4 05) :



Inscription à l'inventaire (LPMNS L 4 05) :



Ensembles XIX-XX^e siècle (LCI L 5 05)



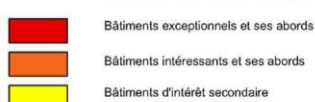
Périmètres protégés (LPMNS L 4 05, LCI L 5 05 et LPR/Arve L 4 16)



Inventaire des voies de communication historiques de la Suisse IVS



Objets dignes de protection (Recensement architectural cantonal)



Bâtiments recensés non évalués



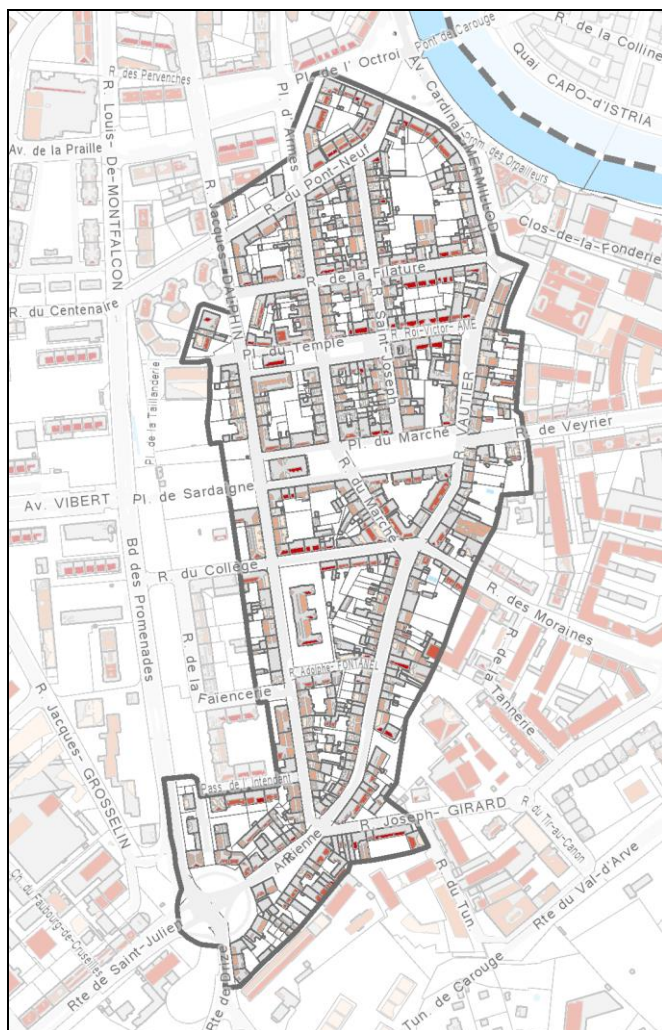
Adaptabilité à la pose d'installations solaires

Noyau bâti historique d'importance nationale et site protégé, le Vieux Carouge possède une qualité urbanistique et architecturale qui font de cette ville nouvelle du 18^e siècle un ensemble unique à l'échelle de la Suisse. Le paysage des toitures revêtues de tuiles plates joue un rôle clé dans la définition de son identité particulière, et l'ajout de panneaux solaires ne pourrait qu'en perturber la lecture. Dans ce périmètre à haute sensibilité patrimoniale, l'intégration cohérente d'installations solaires en toiture dans le respect du matériau et de l'aspect originaux s'avère extrêmement délicate. De plus, la plupart des toits du Vieux Carouge présentent un encombrement important (chiens-assis, lucarnes, cheminées, etc.) et des surfaces exploitables réduites, peu favorable donc à une pose adéquate, tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

Enfin, la visibilité sur la cité depuis les hauteurs, notamment depuis les bâtiments de l'ensemble voisin des Tours et de futurs bâtiments hauts, constitue une contrainte supplémentaire.

La planification solaire globale de Carouge considère donc le périmètre du Vieux Carouge comme non adapté à la pose d'installations solaires et préconise le recours à d'autres énergies renouvelables, sur le site, ou une compensation dans les périmètres classés prioritaires pour la valorisation de l'énergie solaire.

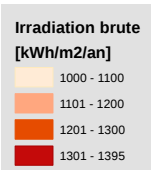
Potentiel solaire



Irradiation solaire annuelle brute

Le périmètre offre un certain nombre de toitures avec des pans orientés sud, peu ombragés et encombrés et donc bien irradiés (surfaces en rouge sur la carte). Il s'agit notamment des bâtiments situés rue du Pont-Neuf, de la Filature, Roi-Victor-Amé, du Collège et passage de l'Intendant. La majorité des toitures pourtant présente une irradiation moyenne ou faible ; elle est souvent encombrée et découpée en surfaces exploitables plutôt réduites.

Cette carte représente les surfaces brutes des toitures exploitables, c'est-à-dire bien orientées et peu ombragées, atteignant une irradiation brute supérieure à 1'000 kWh/m²/an.



Potentiel total de production énergétique (thermique et photovoltaïque) sur les toitures des bâtiments (horizon 2030)

8. Calculé par rapport aux toitures exploitables représentées dans la carte d'irradiation

Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures périmètre
[-]	[-]	[MWh/an]	[kWc]	[%]	[m2]	[m2]	[%]	[m2]
Thermique	Vitré	1 526	N.A	56.3%	4 479	4 605	4.0%	
PV	Monocristallin	3 508	3784	28.9%	18 865	19 160	16.8%	
	Polycristallin	2 807	3027	23.1%				
Total (surfaces)					23 344	23 765	20.9%	113 749

Production potentielle [MWh/an]

Puissance potentielle [kWc]

Couverture potentielle besoins [%]

Surface capteurs installables [m²]Surface toitures exploitables [m²]

Toitures exploitables / toitures totales [%]

Surface totale brute toitures périmètre [m²]

quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable

puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)

ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment

surface totale des capteurs solaires qui peut être installée sur les toitures exploitables

surface totale des toitures sur laquelle sont installés les champs de capteurs

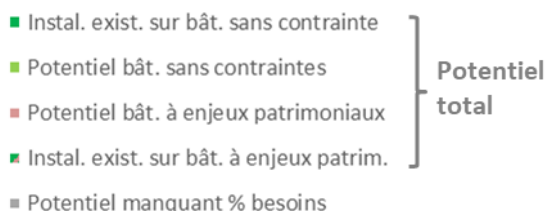
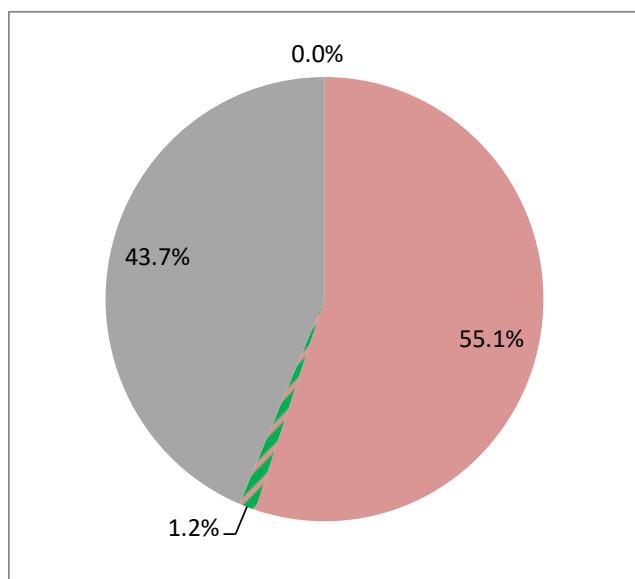
ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre

surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

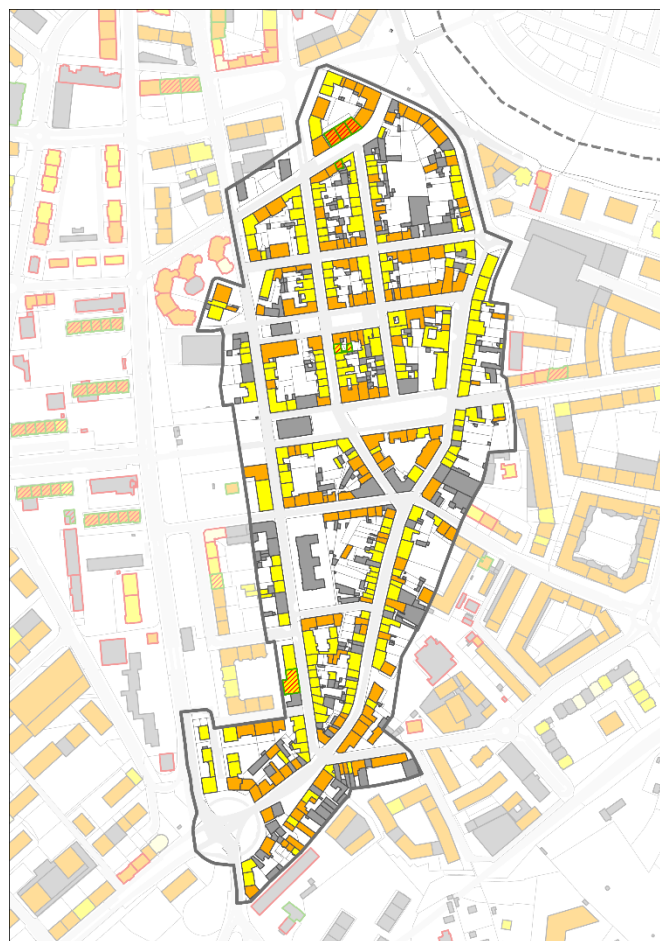
Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire thermique

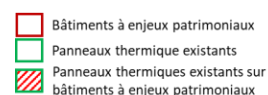
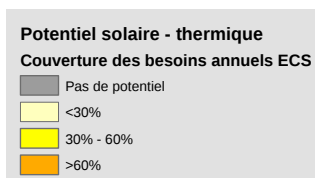
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	2 707
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	0	0
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	4 406	1 493
Instal. exist. sur bât. à enjeux patrim.	73	33
Potentiel manquant % besoins	N.A	1 215



Potentiel de valorisation solaire thermique



Le potentiel solaire thermique concerne uniquement la couverture des besoins en eau chaude des bâtiments de logement.



Appréciation du potentiel solaire thermique

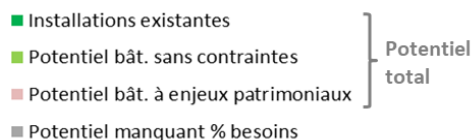
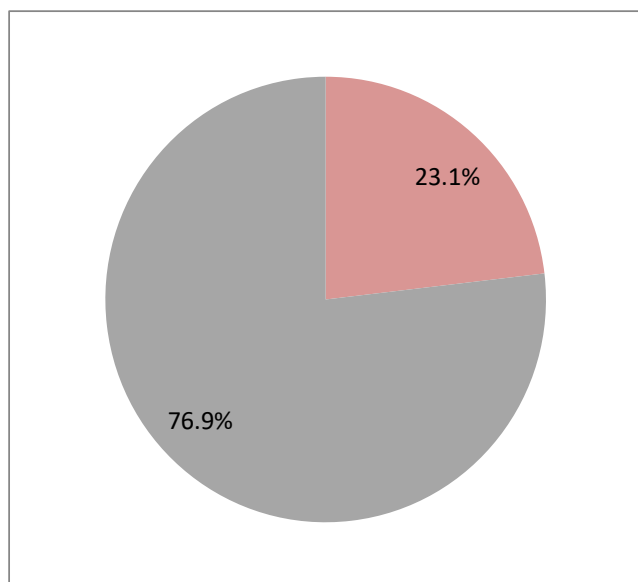
Le périmètre compte 6 installations thermiques existantes qui couvrent 1.2 % des besoins en ECS du périmètre. La totalité du potentiel (55.1%), déduction faite des installations existantes, se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux.

La très haute valeur patrimoniale du périmètre, qui concerne l'ensemble des bâtiments du Vieux Carouge, rend difficile voire économiquement très coûteuse une intégration de qualité supérieure qui ne perturbe pas la lecture du paysage des toitures. Le potentiel solaire thermique n'est donc pas considéré pertinent dans le cadre de la planification solaire globale.

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque

	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	12 133
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	0	0
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	18 865	2 807
Potentiel manquant % besoins	N.A	9 326



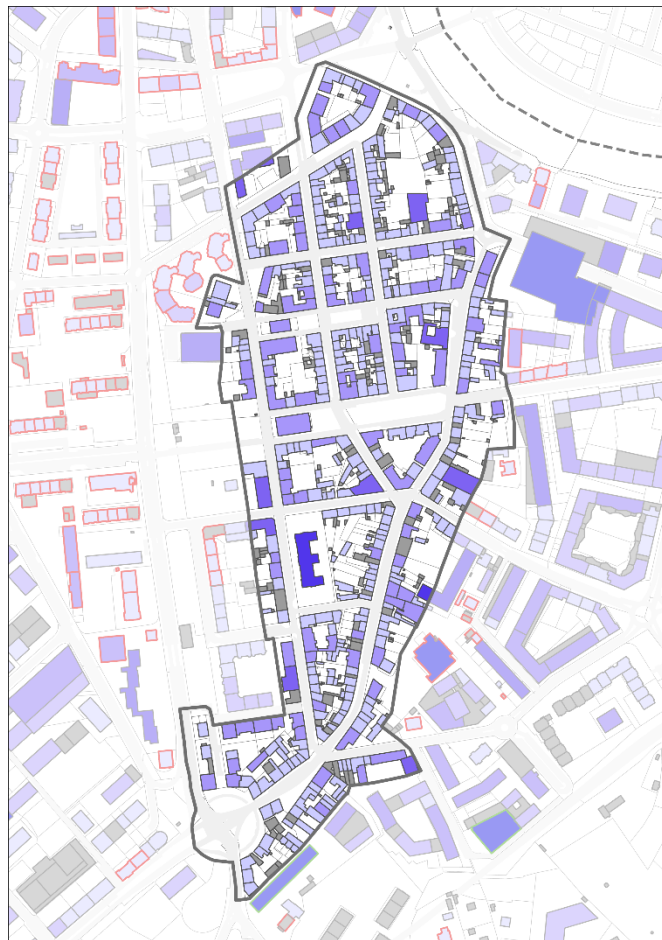
Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Le périmètre ne possède pas d'installations PV. La totalité du potentiel (23.1%) se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux.

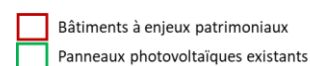
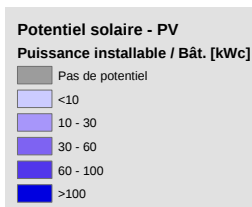
La très haute valeur patrimoniale du périmètre, qui concerne l'ensemble des bâtiments du Vieux Carouge, rend difficile voire économiquement très coûteuse une intégration de qualité qui ne perturbe pas la lecture du paysage des toitures. Le potentiel solaire photovoltaïque n'est donc pas considéré pertinent dans le cadre de la planification solaire globale.

Un mécanisme de mutualisation avec d'autres périmètres à fort potentiel devrait permettre de compenser le potentiel solaire non exploitable sur le Vieux-Carouge tel que mis en évidence dans la présente analyse.

Potentiel de valorisation du solaire photovoltaïque



Calculé en puissance de crête (kWc) totale par bâtiment



**Périmètre adapté sous conditions à la
pose d'installations**
**Priorité moyenne pour la valorisation
de l'énergie solaire****

PERVENCHES

Définition	Rue Louis-de-Montfalcon – rue du Centenaire – rue Jacques-Grosselin Quartier urbain central Voisinage moyennement sensible, à proximité du quartier des Tours
Aménagement	Zone 3 / Zone 3 de développement / Zone de verdure
ISOS	Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b)

Résumé

Adapté sous conditions à la pose d'installations, ce périmètre d'affectation mixte présente des caractéristiques urbaines et architecturales contrastées. Des ensembles protégés et des bâtiments dignes de protection (école, chapelle), dont les toitures se distinguent par une expression marquée, avec une visibilité élevée et constituant des enjeux patrimoniaux importants, côtoient un centre sportif et une barre de logement aux toitures plates, qui tous deux présentent un potentiel intéressant. Offrant globalement un potentiel TH et PV moyen, c'est un périmètre à priorité moyenne pour la valorisation des ressources solaires.

Recommandations

Dans ce périmètre adapté sous conditions à la pose d'installations solaires, la valorisation du potentiel solaire devrait se concentrer sur la barre d'habitation située tout au nord, bâtiment recensé mais non évalué, et sur le centre sportif sur la rue Jacques-Grosselin, bâtiments autorisant une pose libre en toiture dans le respect des règles en vigueur. Propriété de la commune, la toiture du centre sportif pourrait être mise à contribution dans le cadre d'une opération d'investissement participatif. Il serait préférable de renoncer à une pose en toiture sur l'école, les ensembles de logement protégés formant le square au centre du périmètre et la chapelle, en raison de la forte visibilité de leur couverture, de leur expression architecturale très affirmée, mais aussi de leur potentiel solaire relativement faible et difficile à valoriser.

La commune :

- présente une résolution au conseil municipal de la Ville de Carouge pour la mise à disposition des surfaces exploitables propriétés de la commune,
- lance un appel d'offres pour la valorisation de ces surfaces,
- soutient la création d'une coopérative solaire municipale ou une autre forme d'investissement participatif,
- informe la population et les propriétaires dans les périmètres peu ou pas adaptés,
- cherche l'adhésion au projet d'autres propriétaires publics et parapublics.



Extrait du plan d'ensemble état 2018 / SITG

Culture du bâti

Urbanisation

L'urbanisation du périmètre remonte au début du 20^e siècle, avec la construction de l'école des Pervenches en 1911 et de la chapelle de l'Eglise évangélique libre en 1913. Après la Première Guerre mondiale, la rue Louis-de-Montfalcon et la rue du Centenaire sont créées. Le long de cette dernière est élevé un premier ensemble de trois bâtiments locatifs, suivi de près par un second ensemble de quatre blocs implantés de part et d'autre d'un vaste square bordé par deux allées d'arbres. À la fin des années 1960, la Fondation HLM de la Ville de Carouge fait construire un bâtiment d'habitation le long de la rue Louis-de-Montfalcon, à l'extrémité nord du périmètre. En 1979, l'école des Pervenches est dotée d'installations sportives, édifiées sous le préau et en émergence le long de la rue Jacques-Grosselin.



Vue aérienne du périmètre B3 Pervenches état 2017

Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

Formant un triangle allongé, ce périmètre d'affectation mixte (habitation, équipements publics, activités) est constitué de quatre entités bâties, avec d'importants dégagements qui confèrent aux bâtiments qui le composent une visibilité forte. Au nord, la barre de logement orientée nord-sud est alignée en léger retrait sur la rue Louis-de-Montfalcon, dégageant un parc public à l'arrière, sur la rue Jacques-Grosselin.

Occupant le centre du périmètre, l'école des Pervenches est implantée selon un axe est-ouest et donne sur un préau, bordé au sud-ouest par le centre sportif.

Dans la moitié sud du périmètre, les ensembles de logement implantés en front de rue forment un îlot s'ouvrant visuellement sur l'école, autour d'un square central arboré, ponctué à l'angle sud-ouest par la chapelle de l'Eglise évangélique libre.

L'école de 1911, les deux groupes d'immeubles locatifs de la première moitié du 20^e siècle et la chapelle, se distinguent par une expression architecturale affirmée, notamment au niveau des toitures, qui leur confère une grande visibilité et une qualité d'ensemble urbain remarquable.

Affectations des bâtiments	
	Activités
	Equipements collectifs
	Equipement communal
	Equipement cantonal
	Habitation
	Mixte
	Autre



Bâtiments selon leur affectation état 2017 / SITG
Les bâtiments à affectation mixte – activités au rez, habitation à l'étage – sont comptabilisés comme « logement » pour les calculs relatifs aux besoins en ECS.



Enjeux patrimoniaux. Patrimoine architectural et sites – Objets protégés et dignes de protection état 2018 / OPS



Enjeux patrimoniaux

ISOS Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b).

Les immeubles de logements rue Louis-de-Montfalcon 6-12 et rue Jacques-Grosselin 1-9 (1930-1934, Néri arch., 1939 Roch arch.) ainsi que le groupe de trois immeubles rue du Centenaire 2-6 (1927-1930) constituent des « ensembles XIX^e – XX^e siècles » protégés au sens de la LCI (art. 89 ss.).

L'école des Pervenches (1911, Garcin & Bizot arch.) et la chapelle de l'Église évangélique libre (1912) sont identifiés comme « bâtiment intéressant et ses abords » au *Recensement architectural cantonal*.

L'immeuble rue Louis-de-Montfalcon 2 (1964-1966, Damay, Burky & Montessuit arch.), recensé mais non évalué, ne présente pas d'enjeux patrimoniaux pour la pose d'installations solaires.

Adaptabilité à la pose d'installations solaires

L'implantation des bâtiments le long de larges artères orientées nord-sud, et les grands espaces de cour (école) et de parc sont des facteurs favorables en termes d'irradiation, mais leur confèrent aussi une visibilité importante.

Les deux réalisations plus récentes, soit l'immeuble de la Fondation HLM (toiture à très faible pente) et le centre sportif des Pervenches (toiture plate), possèdent une sensibilité faible et une adaptabilité élevée favorisant la pose d'installations solaires.

Avec une articulation complexe des couvertures et des façades et la présence d'éléments architecturaux (lucarnes, chiens-assis, cheminées, ...), les toitures très visibles de l'école et des ensembles protégés au sud et au centre du périmètre ainsi que de la chapelle.

Le périmètre est adapté sous conditions à la pose d'installations solaires, concentrant les interventions sur le centre sportif à toiture plate et le bâtiment recensé mais non évalué, dont la toiture à très faible pente présente une visibilité réduite.

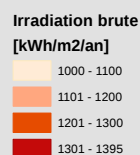
Potentiel solaire



Irradiation solaire annuelle brute

L'irradiation solaire se concentre sur le centre sportif et le bâtiment locatif au nord du périmètre. Elle est faible sur les bâtiments au sud, en raison de la géométrie complexe des toitures.

Cette carte représente les surfaces brutes des toitures exploitables, c'est-à-dire bien orientées et peu ombragées, atteignant une irradiation brute supérieure à 1'000 kWh/m²/an.



Potentiel total de production énergétique (thermique et photovoltaïque) sur les toitures des bâtiments (horizon 2030)

Calculé par rapport aux toitures exploitables représentées dans la carte d'irradiation

Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures périmètre
Thermique	Vitré	245	N.A	57.1%	698	717	7.5%	[m2]
PV	Monocristallin	329	347	27.3%	1 725	1 968	20.5%	
	Polycristallin	263	277	21.9%				
Total (surfaces)					2 423	2 685	28.0%	9 582

Production potentielle [MWh/an]

Puissance potentielle [kWc]

Couverture potentielle besoins [%]

Surface capteurs installables [m²]

Surface toitures exploitables [m²]

Toitures exploitables / toitures totales [%]

Surface totale brute toitures périmètre [m²]

quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable

puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)

ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment

surface totale du champ de capteurs installables

surface totale des toitures exploitables mobilisées

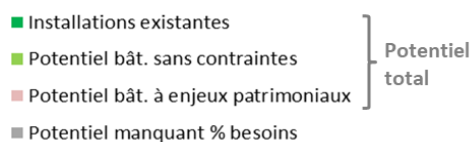
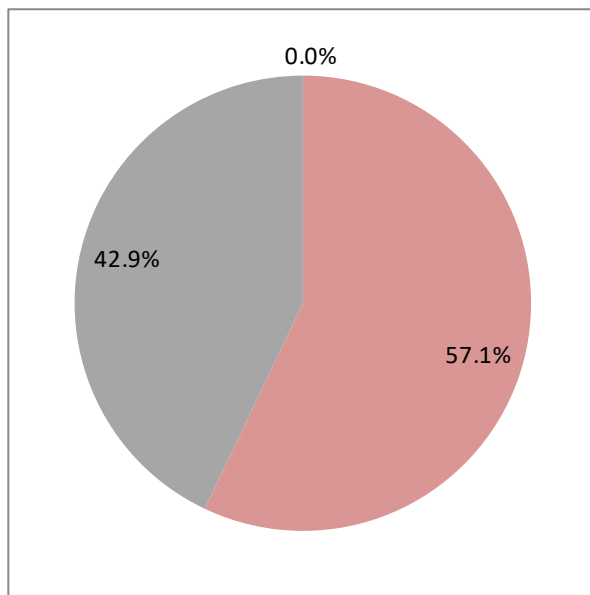
ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre

surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire thermique

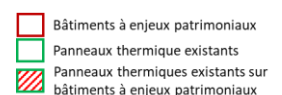
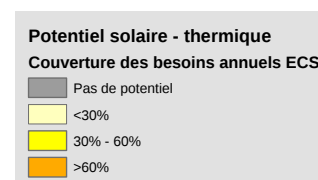
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	429
Installations existantes	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	0	0
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	698	245
Potentiel manquant	N.A	184



Potentiel de valorisation solaire thermique



Le potentiel solaire thermique concerne uniquement la couverture des besoins en eau chaude des bâtiments de logement.



Appréciation du potentiel solaire thermique

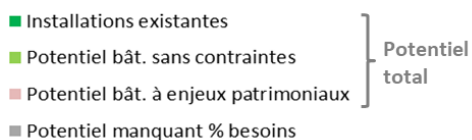
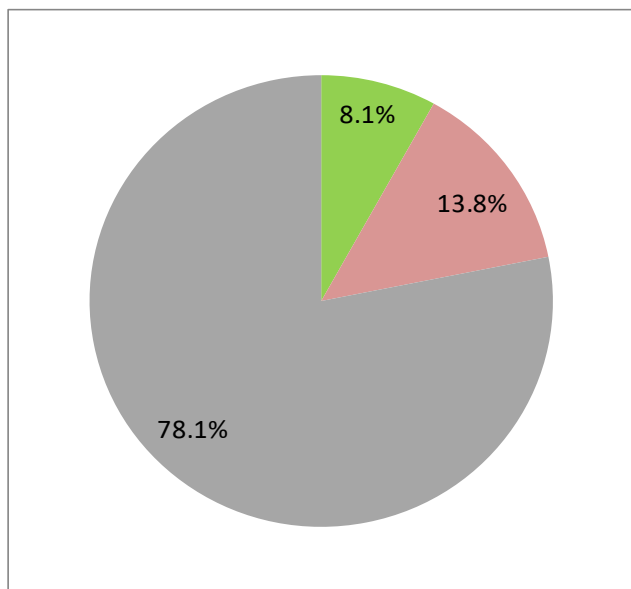
Le périmètre ne possède pas d'installation thermique existante. La totalité du potentiel (57.1%) se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux. Le potentiel solaire thermique peut être considéré « moyen » à l'horizon 2030 soit pour des raisons d'enjeux patrimoniaux, mais aussi à cause de l'irradiation limitée sur les bâtiments au sud, en raison de la géométrie complexe des toitures et des surfaces réduites à disposition.

Dans ce cas particulier, la surface de toit du centre sportif pourrait être envisagée pour la production de chaleur solaire pour les douches, au lieu d'une production d'énergie photovoltaïque.

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque

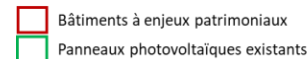
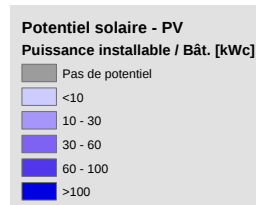
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	1 205
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	631	97
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	1 094	166
Potentiel manquant % besoins	N.A	941



Potentiel de valorisation du solaire photovoltaïque



Calculé en puissance de crête (kWc) totale par bâtiment



Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Le périmètre ne possède pas d'installation PV existante. Le 13.8 % du potentiel solaire photovoltaïque se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux ; il s'agit en particulier des bâtiments locatifs situés au nord sur lesquels sont intégrables en priorité des panneaux TH, puis du PV, avec le soin nécessaire pour arriver à une intégration parfaite en respectant une culture du bâti de qualité.

La toiture du centre sportif offre des surfaces exploitables susceptibles de couvrir 8.1 % des besoins électriques du périmètre, à moins qu'elles ne soient plutôt attribuées à de la production thermique pour les douches.

En conséquence, compte tenu des enjeux patrimoniaux, le potentiel solaire photovoltaïque peut être considéré « moyen » à l'horizon 2030.

MORAINES THÉÂTRE

<i>Définition</i>	Rue Ancienne - rue Joseph-Girard - rue des Moraines Tissu bâti en mutation Quartier urbain central Voisinage sensible, en prolongement du centre historique protégé
<i>Aménagement</i>	Zone 3 de développement Projets de construction selon <i>Plan guide Carouge Est</i> (2011, revu 2016)
<i>ISOS</i>	Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b)

Dans ce périmètre en forte mutation, adapté à la pose d'installations solaires, de nombreuses constructions anciennes seront remplacées par de nouveaux bâtiments, offrant l'occasion d'une valorisation de qualité des ressources solaires, tant sur les bâtiments de logement que sur le nouveau théâtre. Les enjeux patrimoniaux sont faibles, mais le voisinage avec le site protégé du Vieux Carouge exige un soin particulier dans la mise en œuvre d'éventuelles installations. Avec un fort potentiel TH et PV, ce périmètre pourrait couvrir une bonne partie de ses besoins propres. Il possède une priorité élevée pour la valorisation de l'énergie solaire.

Les constructions projetées dans la moitié nord-est du périmètre se prêtent à la pose d'installations solaires en toiture et en façade. Le *Plan guide Carouge Est* définit les critères de bonne insertion architecturale des installations solaires en toiture dans les nouveaux îlots : pose intégrée, cohérence de couleur, forme et respect des lignes, regroupement des capteurs. La réflexion autour d'une valorisation du potentiel solaire en façade doit être intégrée dès le départ dans les projets d'architecture, afin d'obtenir un résultat de haute qualité.

Le projet de nouveau théâtre prévoit l'installation en toiture de 161 m² de panneaux PV pour une production électrique annuelle brute de 31'000 kWh/an. La toiture de la salle des fêtes, qui présente un enjeu patrimonial avec une très grande visibilité, dans le voisinage sensible du Vieux Carouge, ne se prête pas à la pose d'installations solaires. Les bâtiments existants permettent une pose libre en toiture, dans le respect des règles en vigueur. Les éventuelles installations sur les ensembles protégés rue des Moraines et rue de la Tannerie ainsi que les autres bâtiments à enjeu patrimonial, soumises à autorisation de construire, devraient faire l'objet d'un projet soigné respectant la cohérence architecturale des bâtiments.

- veillent à l'intégration des objectifs liés au potentiel solaire identifié lors de la validation des PLQ,
- soutiennent une étude pour l'autoconsommation au sein du périmètre.



Extrait du plan d'ensemble état 2018 / SITG

Culture du bâti

Urbanisation

Le flanc est du Vieux Carouge se développe dans la seconde moitié du 19^e siècle, les premières constructions s'implantant le long de la rue des Moraines. La vocation d'espace public de sa partie sud-ouest s'affirme avec une salle des fêtes inaugurée en 1892. De modestes maisons s'établissent au tournant du 20^e siècle de part et d'autre du chemin de la Tannerie. La situation n'évolue guère jusque dans les années 1950, qui voient la réalisation d'un ensemble de logement à la rue des Moraines et le quadrilatère Moraines - Joseph-Girard - Tannerie se remplir de nouvelles constructions.

Le périmètre franchit une étape importante de son histoire en 1972, quand est inauguré le nouveau Centre communal, qui réunit théâtre et salle des fêtes autour d'une grande place piétonne. L'ensemble est complété en 1995 par un parking public en souterrain.

En 2019, la démolition-reconstruction du théâtre et la rénovation de la salle des fêtes va provoquer une transformation du périmètre, tout comme la mise en œuvre du *Plan guide Carouge Est*.



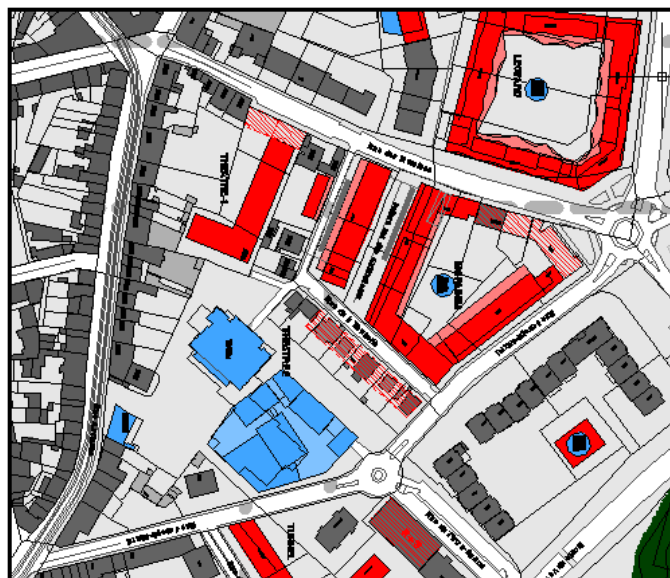
Vue aérienne du périmètre Moraines Théâtre / Google Maps 2018

Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

Le périmètre Moraines Théâtre possède une complexité certaine, faite de la juxtaposition de bâtiments de gabarits, styles et affectations très différents, et de la présence d'un équipement communal et d'un espace public majeurs.

Dans la moitié nord-est du périmètre, le *Plan guide Carouge Est* prévoit la constitution d'un îlot dans le quadrilatère Moraines - Tannerie - Girard et l'établissement de deux barres de logement à l'intérieur du périmètre, implantées perpendiculairement à la rue des Moraines. Ces opérations impliquent la démolition de nombreuses constructions liées aux activités artisanales présentes dans le site et de certains bâtiments de logement.

La partie sud-ouest du périmètre va connaître très prochainement un réaménagement en profondeur, avec la construction d'un nouveau théâtre et la rénovation de la salle des fêtes.



Projet d'aménagement du périmètre Moraines Théâtre. Plan guide Carouge Est, mise à jour 2016 / Bassicarella architectes

- Equipement public (EP)
- Droit à bâtir
- Nouvelles constructions
- Extension des rez



Enjeux patrimoniaux. Patrimoine architectural et sites – Objets protégés et dignes de protection état 2018 / OPS

Enjeux patrimoniaux

ISOS Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b).

Jouxtant le Vieux Carouge, les projets d'aménagement se situent tous hors du périmètre de protection cantonal (plan de site) et du site ISOS mentionné ci-dessus, mais dans un voisinage sensible. Ce voisinage avec les entités historiques – bâtiments, cours et jardins – nécessite une attention particulière.

Les immeubles situés rue des Moraines 18-20 (1879) constituent un « ensemble XIX^e – XX^e siècles » protégé au sens de la LCI (art. 89 ss.).

Le *Recensement architectural cantonal* attribue la valeur « intéressant » au Centre communal (salle des fêtes) rue Ancienne 37 (1969, ACAU arch.). La même valeur est attribuée aux maisons rue de la Tannerie 2, 2 bis, 6 et 8, aux immeubles d'habitation rue des Moraines 8 et 22 et rue Joseph-Girard 9.

Adaptabilité à la pose d'installations solaires

Ce périmètre en mutation doit être considéré adapté à la pose d'installations solaires.

Dans la moitié nord-est, le *Plan guide Carouge Est* demande que les bâtiments projetés soient équipés d'installations solaires en toiture, avec une insertion architecturale de qualité (projet architectural de la toiture), en fonction de l'emplacement de la construction (très exposée ou dans un environnement peu visible). Les réalisations projetées constituent une opportunité d'étudier des solutions d'installations en façade, pour permettre leur bonne intégration en amont du projet architectural, les distances entre bâtiments et la présence de cours intérieures et d'espaces non bâtis offrant les dégagements nécessaires pour valoriser des surfaces.

Les bâtiments existants qui seront maintenus ne présentent pas de qualités architecturales particulières s'opposant à la pose d'installations solaires en toiture dans le respect des règles en vigueur. Les ensembles à enjeux patrimoniaux situés sur la rue des Moraines offrent des pans de toiture bien orientés au sud : d'éventuelles installations solaires, soumises à autorisation, devraient faire l'objet d'un projet soigné garantissant une excellente intégration dans la toiture.

Dans la moitié sud-ouest, la commune a prévu d'équiper la toiture du nouveau théâtre de panneaux photovoltaïques, mais a considéré que la visibilité de la toiture de la salle des fêtes, à proximité du Vieux Carouge, ne se prêtait pas à la pose de capteurs solaires.

Mesures de protection

Classement (LPMNS L 4 05) :

Maison, immeuble, objets divers

Parcelle

Inscription à l'inventaire (LPMNS L 4 05) :

Maison, immeuble, objets divers

Parcelle

Ensembles XIX-XX^e siècle (LCI L 5 05)

Périmètres protégés (LPMNS L 4 05, LCI L 5 05 et LPRArve L 4 16)

Inventaire des voies de communication historiques de la Suisse IVS

IVS Importance nationale, tracé historique avec beaucoup de substance

IVS Importance nationale, tracé historique avec substance

IVS Importance régionale, tracé historique avec beaucoup de substance

IVS Importance régionale, tracé historique avec substance

IVS Importance locale, tracé historique avec beaucoup de substance

IVS Importance locale, tracé historique avec substance

Objets dignes de protection (Recensement architectural cantonal)

Bâtiments exceptionnels et ses abords

Bâtiments intéressants et ses abords

Bâtiments d'intérêt secondaire

Bâtiments recensés non évalués

L'architecture à Genève 1919-1975

Un siècle d'architecture à Genève XX^e (Promenades)

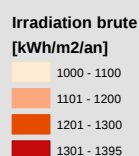
Potentiel solaire



Irradiation solaire annuelle brute

Le périmètre offre de larges surfaces bien irradiées et exploitables en particulier sur les bâtiments projetés, qui seront majoritaires dans le périmètre à l'horizon 2030.

Cette carte représente les surfaces brutes des toitures exploitables, c'est-à-dire bien orientées et peu ombragées, atteignant une irradiation brute supérieure à 1'000 kWh/m²/an (selon l'image directrice du projet de développement Moraines Théâtre état juillet 2017)



Potentiel total de production énergétique (thermique et photovoltaïque) sur les toitures des bâtiments (horizon 2030)

Calculé par rapport aux toitures exploitables représentées dans la carte d'irradiation et parties exploitables des façades (c.-à-d. irradiation >750 kWh/m²/an et taux moyen de façade opaque de 50%).

Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures périmètre
[-]	[-]	[MWh/an]	[kWc]	[%]	[m2]	[m2]	[%]	[m2]
Thermique	Vitré	672	N.A	75.7%	1 584	3 470	18.8%	
PV /Toiture	Monocristallin	923	901	28.6%	4 508	5 932	32.2%	
	Polycristallin	738	721	22.9%				
PV/Facades	Polycristallin	602	669	18.7%	5 209			
Total (surfaces)					11 301	9 402	51.1%	18 411

Production potentielle [MWh/an]

Puissance potentielle [kWc]

Couverture potentielle besoins [%]

Surface capteurs installables [m²]

Surface toitures exploitables [m²]

Toitures exploitables / toitures totales [%]

Surface totale brute toitures périmètre [m²]

quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable

puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)

ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment

surface totale des capteurs solaires qui peut être installée sur les toitures exploitables

surface totale des toitures sur laquelle sont installés les champs de capteurs

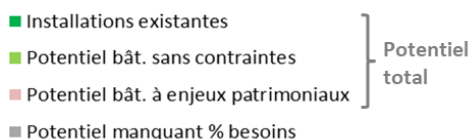
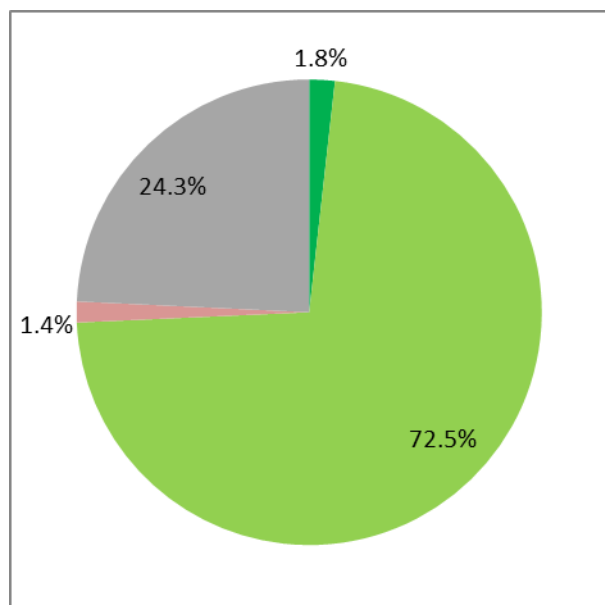
ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre

surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

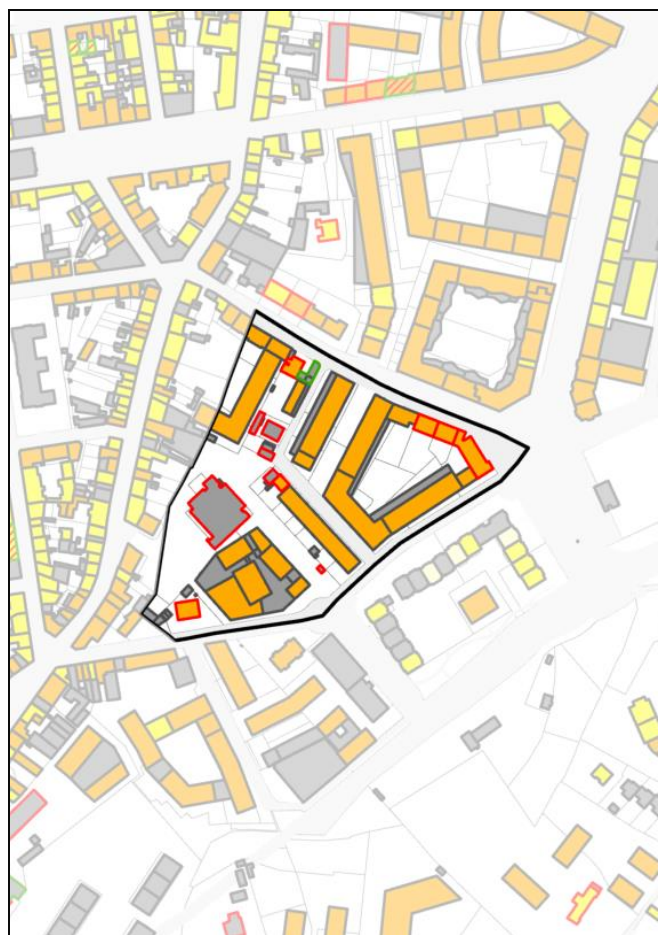
Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire thermique

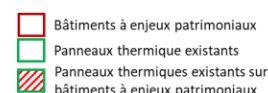
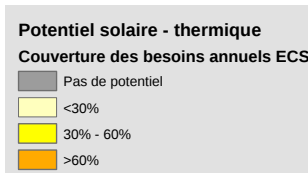
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	887
Instal. exist. sur bât. sans contraintes	35	16
Potentiel bât. sans contraintes	1 513	644
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	36	13
Potentiel manquant % besoins	N.A	215



Potentiel de valorisation solaire thermique



Le potentiel solaire thermique concerne uniquement la couverture des besoins en eau chaude des bâtiments de logement (selon l'image directrice du projet de développement Moraines Théâtre état juillet 2017)



Appréciation du potentiel solaire thermique

Le périmètre compte 1 seule installation thermique qui représente une couverture de 1.8 % des besoins en ECS du périmètre à l'horizon 2030. Mais sur ce bâtiment, le cadastre solaire n'a pas identifié d'irradiation suffisante (< 1000 kWh/m²/an en moyenne sur la toiture) pour considérer la toiture comme exploitable.

Considérant que le calcul porte uniquement sur les bâtiments de logement, qui seront majoritaires dans le périmètre, le potentiel solaire est principalement déterminé par le solaire thermique. En moyenne 76.6% des besoins en ECS pourraient être couverts par cette ressource, entre les installations actuelles et le potentiel sur l'ensemble du périmètre, grâce aux importantes surfaces de toiture bien irradiées des immeubles en projet.

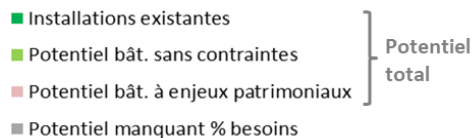
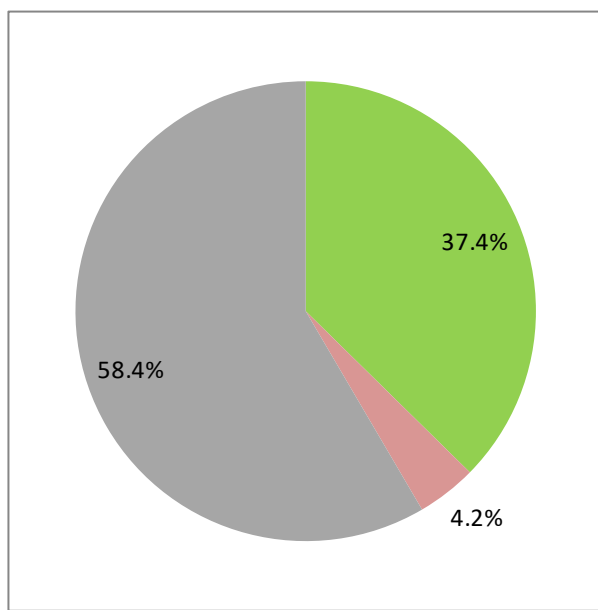
Le potentiel sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux (1,4%) est faible.

En conséquence, le potentiel solaire thermique peut être considéré comme globalement « fort » à l'horizon 2030.

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque

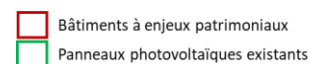
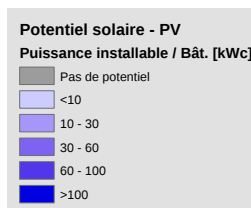
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	3 225
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	8 814	1 205
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	903	136
Potentiel manquant % besoins	N.A	1 884



Potentiel de valorisation du solaire photovoltaïque



Calculé en puissance de crête (kWc) totale par bâtiment (selon l'image directrice du projet de développement Moraines Théâtre état juillet 2017)



Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Le périmètre ne possède pas d'installation PV existante. Même si le solaire thermique est prioritaire sur les immeubles de logement, les toitures et les façades des constructions projetées présentent des surfaces exploitables suffisamment importantes pour couvrir, avec les autres bâtiments existants, 40.4 % des besoins électriques du périmètre avec du solaire PV polycristallin*. 4.1% du potentiel PV se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux.

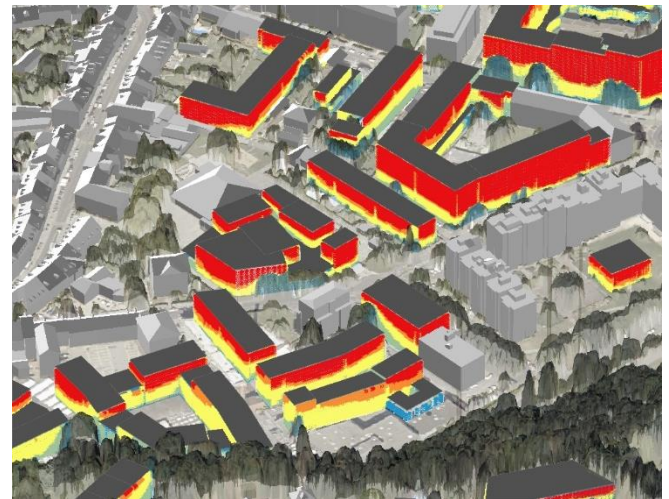
En conséquence, le potentiel PV peut être considéré globalement comme « fort » à l'horizon 2030.

*L'analyse sur le périmètre considère la technologie du polycristallin, qui est la plus répandue. Cette approche est volontairement conservatrice, sachant que le potentiel identifié peut être amélioré en choisissant le monocristallin et les autres technologies plus performantes à venir.

Irradiation solaire des façades des bâtiments projetés (horizon 2030)

La configuration en îlots et des effets de masque tendent à réduire la proportion de façades bien irradiées sur les bâtiments projetés.

Toutefois, si l'on considère les parties de façade dont l'irradiation est supérieure à 750 kWh/m²/an et un taux moyen de façade opaque disponible de 50% (taux à affiner selon le projet de construction), le potentiel solaire valorisable sur les façades des bâtiments projetés s'élève à 4'430 MWh/an. Sachant que les toitures permettent de bien satisfaire les besoins d'ECS, il est préférable de privilégier le PV en façade (également plus simple à mettre en œuvre) et de promouvoir son intégration en amont dans le projet architectural. Ainsi, des panneaux solaires PV permettraient de couvrir 18.7% des besoins électriques du périmètre (avec une production de 602 MWh/an).



Irradiation solaire annuelle brute (kWh/m²/an) sur les façades (selon l'image directrice du projet de développement Moraines Théâtre état juillet 2017)

Irradiation brute [kWh/m²/an]

- 80.875600 - 200.000000
- 200.000001 - 500.000000
- 500.000001 - 750.000000
- 750.000001 - 800.000000
- 800.000001 - 1100.000000

Périmètre adapté à la pose
d'installations

Priorité moyenne pour la valorisation
de l'énergie solaire**

PINCHAT NORD

Définition	Limites parcellaires au-dessus de la route du Val d'Arve - chemin Fillion - chemin Poluzzi - chemin de Pinchat Quartier de villas Tissu bâti en mutation
Aménagement	Zone 4A + zone 5 Déclassement prévu en zone 4A de développement et 4B de développement (Stratégie d'aménagement Carouge Sud 2015)
ISOS	Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b)

Résumé

Ce périmètre en forte mutation, adapté à la pose d'installations solaires, où de nombreuses constructions existantes seront remplacées par de nouveaux bâtiments, offre l'occasion d'une valorisation de qualité des ressources solaires. Il se distingue par des structures paysagères remarquables qui constituent un enjeu patrimonial, tout comme les deux bâtiments dignes de protection situés au chemin Fillion.

Avec un potentiel TH fort et PV moyen, le périmètre possède une priorité moyenne pour la valorisation de l'énergie solaire.

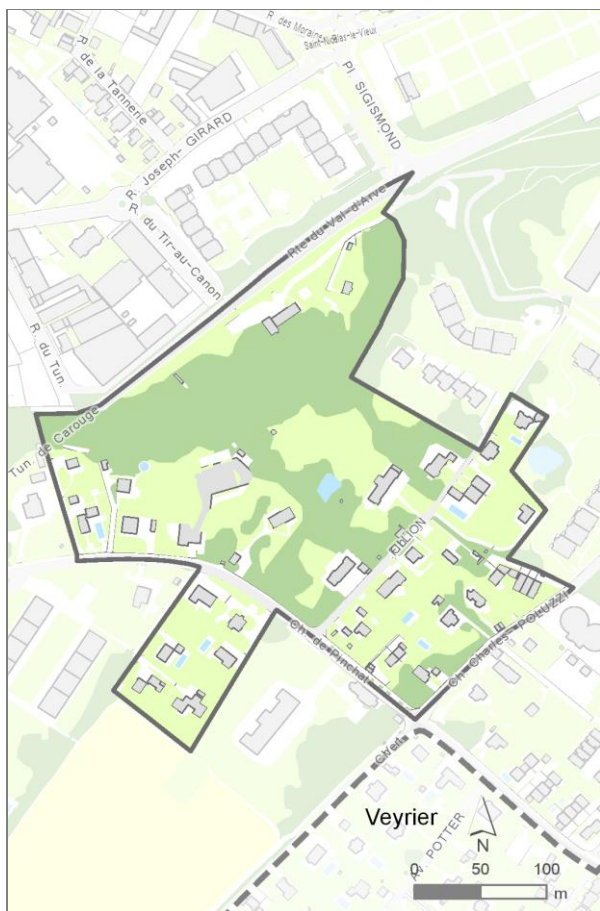
Recommandations

Les bâtiments récents et projetés dans le cadre de la mutation du périmètre se prêtent à une pose libre en toiture, dans le respect des règles en vigueur, et dans le cadre de projets d'architecture, qui devraient également considérer la valorisation d'un éventuel potentiel en façade.

Présentant des toitures affirmées et un potentiel solaire très modeste, les deux bâtiments à enjeux patrimoniaux (chemin Fillion 1 et 3) ne se prêtent pas à la pose d'installations solaires.

Le canton / la commune :

- veillent à intégrer les objectifs de la valorisation solaire dans les études d'urbanisme,
- font inscrire ces objectifs dans les PLQ et les règlements de quartier,
- demandent à SIG d'être proactif vis-à-vis des propriétaires pour leur proposer une démarche coordonnée pour la valorisation du potentiel TH et PV.



Extrait du plan d'ensemble état 2018 / SITG

Culture du bâti

Urbanisation

Délimité au nord et à l'ouest par la moraine qui domine Carouge et qui descend vers l'Arve, le plateau de Pinchat est resté longtemps agricole, avec de grands champs, des bois et bosquets, des allées d'arbres, et un ensemble rural établi en bordure du chemin Fillion, au lieu-dit Pinchat Dessus.

Dans la deuxième moitié du 19^e siècle, les premières villas s'installent de part et d'autre du chemin de Pinchat et le long du chemin Fillion.

Le déclassement d'une parcelle en zone 4A, en 2013, a donné lieu à la construction d'un bâtiment de gabarit urbain, accueillant des logements étudiants et une crèche.

La politique cantonale d'aménagement fait de ce périmètre une zone réservée*, avec un objectif de densification moyenne à élevée.

** Une zone réservée est un secteur de la zone villas que l'État souhaite densifier et où toute construction de nature à compromettre cet objectif est interdite à titre provisoire et durant 5 ans.*



Vue aérienne du périmètre C8 Pinchat Nord état 2017

Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

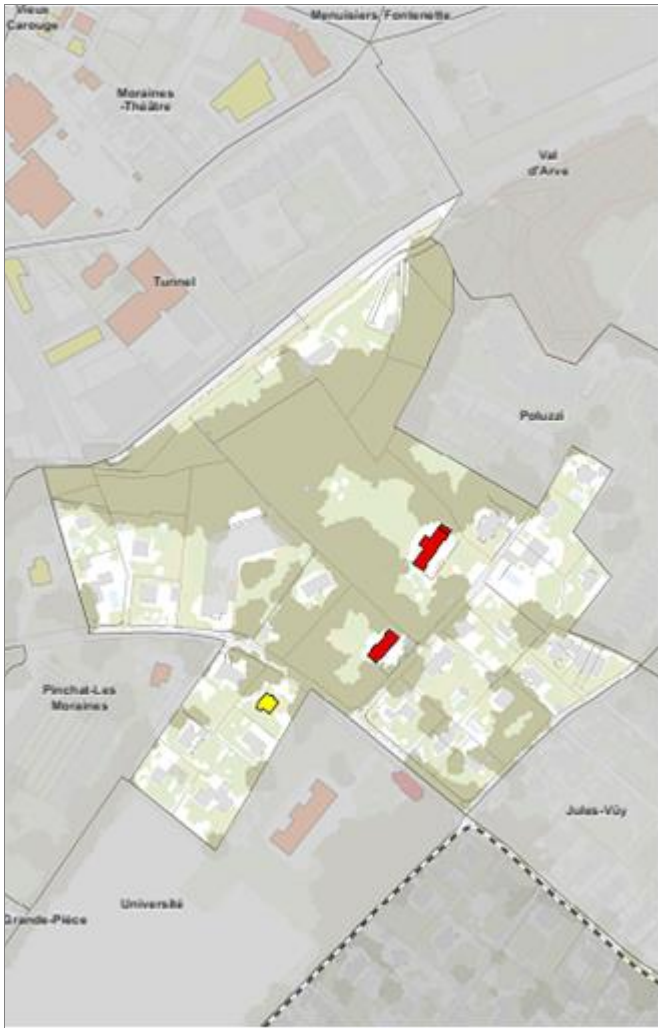
Ce périmètre est actuellement un quartier résidentiel, intégré dans un espace paysager de valeur, avec des maisons individuelles de maximum deux niveaux et combles habitables.

La planification envisage une densification moyenne à élevée.

Elle prévoit le maintien – ou la reconstitution – des chambres de verdure qui caractérisent le lieu ainsi que le maintien des bâtiments à valeur patrimoniale.



*Test schématique du potentiel constructible du périmètre.
Stratégie d'aménagement Carouge Sud / Urbaplan, Etat 2013*



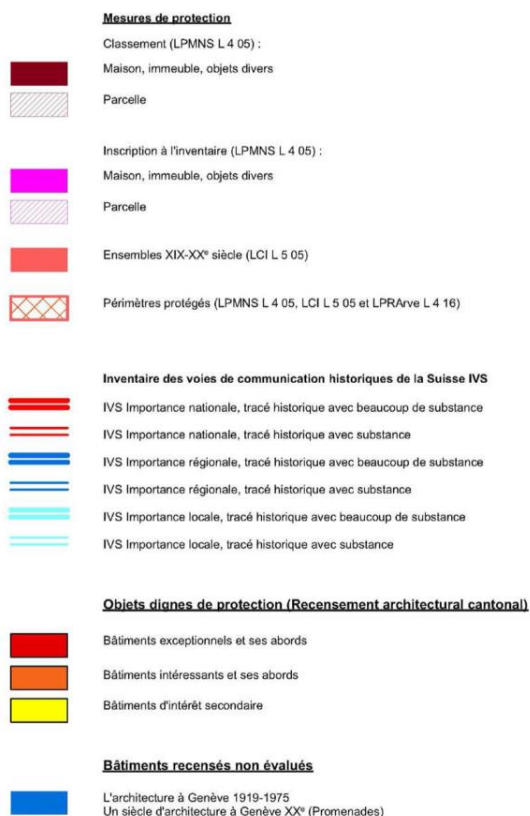
Enjeux patrimoniaux

ISOS Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (a) et (b).

Les deux grandes maisons et leurs annexes situées au chemin Fillion 1 et 3 font partie des bâtiments les plus anciens du plateau de Pinchat, identifiés comme « bâtiment exceptionnel avec ses abords » au *Recensement architectural cantonal*. La villa située chemin de Pinchat 20 s'est vue attribuer une valeur « d'intérêt secondaire ».

Les structures paysagères constituent un enjeu patrimonial significatif.

Enjeux patrimoniaux. Patrimoine architectural et sites – Objets protégés et dignes de protection état 2018 / OPS



Adaptabilité à la pose d'installations solaires

Ce périmètre en forte mutation est adapté à la pose d'installations solaires en toiture dans le respect des règles en vigueur ainsi qu'en façade sur les bâtiments projetés.

Les deux bâtiments de valeur patrimoniale présentent des toitures affirmées et articulées qui se prêtent mal à une intégration soignée d'installations solaires.

Potentiel solaire



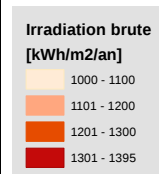
Irradiation solaire annuelle brute

Le grand bâtiment de logements construit récemment (chemin de Pinchat 21-23) possède d'importantes surfaces exploitables.

Pour les bâtiments projetés, les calculs du potentiel solaire prennent en considération un scénario d'implantation comprenant 17 bâtiments nouveaux et intègrent la couche arborisée actuelle.

Cette arborisation diminue fortement le potentiel de certains des bâtiments projetés, mais la plupart d'entre eux possède des surfaces exploitables importantes.

Cette carte représente les surfaces brutes des toitures exploitables, c'est-à-dire bien orientées et peu ombragées, atteignant une irradiation brute supérieure à 1'000 kWh/m²/an



Potentiel total de production énergétique sur les toitures des bâtiments (thermique et photovoltaïque) et les façades des bâtiments en projet à construire (photovoltaïque) à l'horizon 2030

Calculé par rapport aux toitures exploitables représentées dans la carte d'irradiation et parties exploitables des façades (c.-à-d. irradiation >750 kWh/m²/an et taux moyen de façade opaque de 50%).

Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures
[-]	[-]	[MWh/an]	[kWc]	[%]	[m2]	[m2]	[%]	[m2]
Thermique	Vitré	606	N.A	69.6%	1 485	3 299	36.9%	
PV /Toiture	Monocristallin	466	450	39.2%	2 249	3 192	35.7%	
	Polycristallin	373	360	31.4%				
PV/Facades	Polycristallin	228	254	19.2%	1 631			
Total (surfaces)					3 734	6 491	72.7%	8 930

Production potentielle [MWh/an]

Puissance potentielle [kWc]

Couverture potentielle besoins [%]

Surface capteurs installables [m²]

Surface toitures exploitables [m²]

Toitures exploitables / toitures totales [%]

Surface totale brute toitures périmètre [m²]

quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable
puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)

ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment

surface totale des capteurs solaires qui peut être installée sur les toitures exploitables

surface totale des toitures sur laquelle sont installés les champs de capteurs

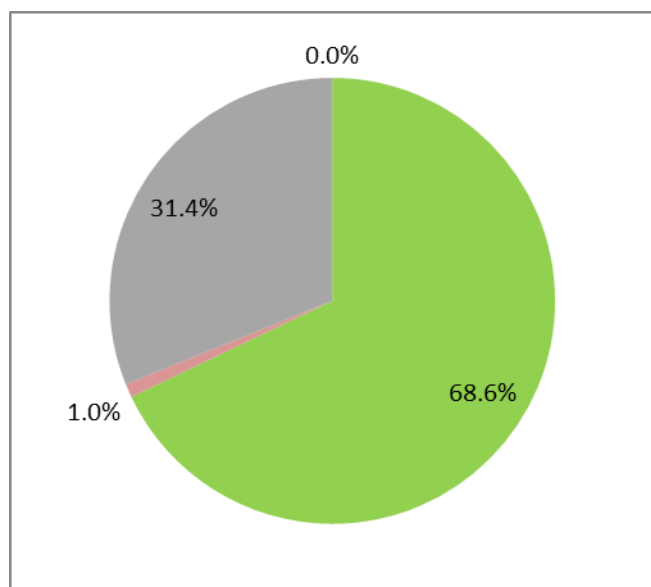
ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre

surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire thermique

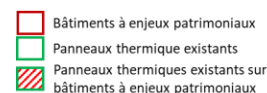
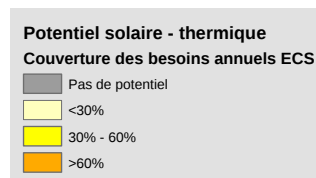
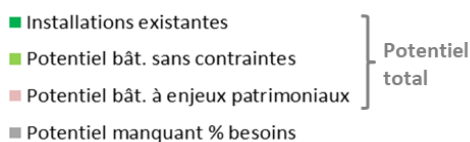
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	871
Install. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	1 458	597
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	27	9
Potentiel manquant % besoins	N.A	265



Potentiel de valorisation solaire thermique



Le potentiel solaire thermique concerne uniquement la couverture des besoins en eau chaude sanitaire des bâtiments de logement (selon tests d'implantation pour les parties nord et sud du périmètre. Stratégie d'aménagement Carouge Sud / Urbaplan).



Appréciation du potentiel solaire thermique

Le périmètre compte 1 seule installation solaire thermique existante (villa) qui couvre 0.3 % des besoins en ECS du périmètre. Mais sur cette villa, le cadastre solaire n'a pas identifié d'irradiation suffisante ($< 1000 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ en moyenne sur la toiture) pour considérer la toiture comme exploitable.

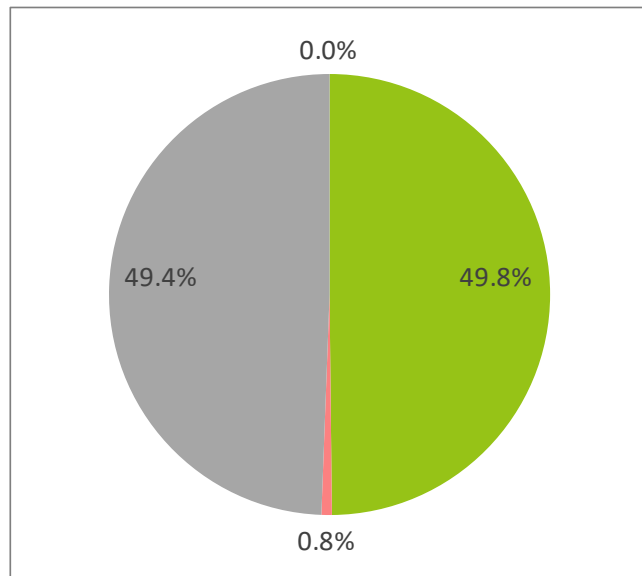
Considérant que le calcul porte uniquement sur les bâtiments de logement, le potentiel solaire est principalement déterminé par le solaire thermique. Il se concentre sur le bâtiment nouvellement construit (chemin de Pinchat 21-23) ainsi que sur 16 bâtiments en projet, le 17^{ème} étant fortement ombragé par l'arborisation existante, qui sera maintenue. Entre les installations actuelles et le potentiel sur les bâtiments projetés, 69.6% des besoins en ECS pourraient être couverts par le solaire thermique. Une partie très modeste de ce potentiel (1%) se situe sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux.

En conséquence le potentiel solaire thermique peut être considéré comme globalement « fort » à l'horizon 2030.

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque

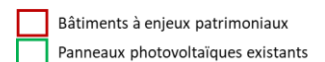
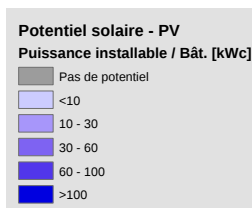
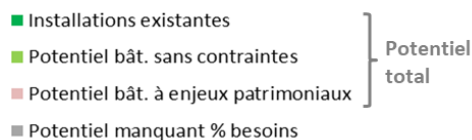
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	1 187
Install. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	3 814	591
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	66	9
Potentiel manquant % besoins	N.A	586



Potentiel de valorisation du solaire photovoltaïque



Calculé en puissance de crête (kWc) totale par bâtiment



Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Le périmètre ne possède pas d'installation PV. Le bâtiment de logements récemment construit (chemin de Pinchat 21-23) offre une surface de toiture suffisamment grande pour accueillir des panneaux PV (d'une puissance d'environ 30 kWc), en plus des panneaux solaires thermiques couvrant une partie de ses besoins d'ECS (environ 76%).

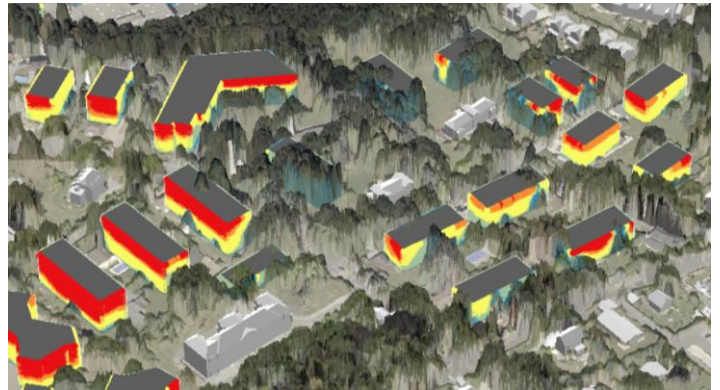
Le potentiel global de couverture des besoins électriques par du PV en toiture est de 50.6% dont un très modeste 0.8% sur des bâtiments à enjeux patrimoniaux.

En conséquence, le potentiel PV peut être considéré globalement comme « moyen » à l'horizon 2030.

Solaire photovoltaïque en façade

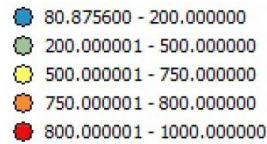
Irradiation solaire des façades des bâtiments projetés (horizon 2030)

En raison de la forte arborisation des limites des îlots d'implantation des bâtiments projetés, avec des effets de masque importants, la proportion de façades bien irradiées est relativement modeste. Toutefois, si l'on considère les parties de façade dont l'irradiation est supérieure à 750 kWh/m²/an et un taux moyen de façade opaque disponible de 50% (taux à affiner selon le projet de construction), le potentiel solaire valorisable sur les façades des bâtiments projetés s'élève à 1'678 MWh/an. Sachant que les toitures permettent de bien satisfaire les besoins d'ECS, il est préférable de privilégier les panneaux PV en façade (également plus simples à mettre en œuvre) et de promouvoir leur intégration en amont dans le projet architectural. Ces panneaux PV permettraient de couvrir 21.5% des besoins électriques du périmètre (avec une production de 228 MWh/an).



Irradiation solaire annuelle brute (kWh/m²/an) sur les façades (selon tests d'implantation pour les parties nord et sud du périmètre. Stratégie d'aménagement Carouge Sud / Urbaplan)

Irradiation brute [kWh/m²/an]

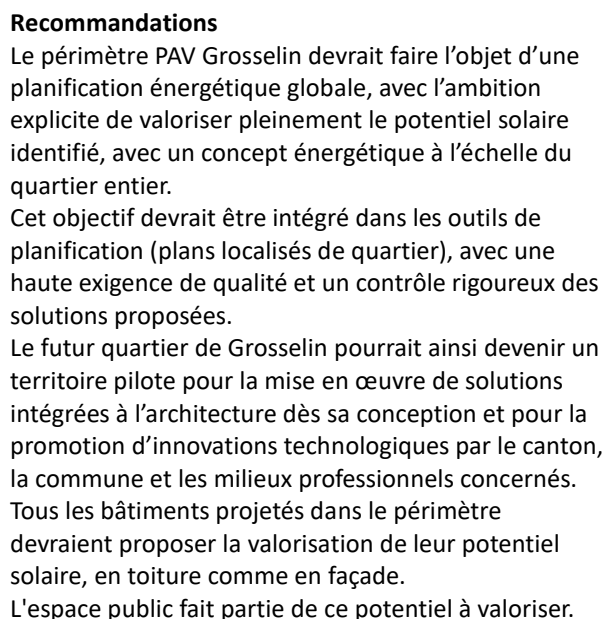


**Périmètre très adapté à la pose
d'installations
Priorité élevée pour la valorisation de
l'énergie solaire*****

Résumé

Très adapté à la pose d'installations solaires, ce périmètre en mutation totale sera dévolu à une affectation mixte, comportant des activités tertiaires, des entreprises sans nuisances ou moyennement gênantes, avec une nette prédominance de logements.

Offrant de forts potentiels TH et PV, ce périmètre à priorité élevée pour la valorisation des ressources solaires peut non seulement couvrir une bonne partie de ses besoins énergétiques (en particulier ECS), mais aussi mettre à disposition ses toitures pour des installations PV mutualisées.



- Le canton / la commune :
- veillent à l'intégration dans les PLQ des objectifs de valorisation du TH et du PV,
- inscrivent dans les droits de superficie l'obligation d'installer du solaire TH et PV,
- développent avec les SIG ou une autre entreprise de développement solaire, un concept de « quartier à énergie positive »,
- s'associent avec les Hautes Écoles pour promouvoir des solutions solaires innovantes du point de vue architectural et urbanistique / projet pilote à l'échelle d'un périmètre / conseil aux opérateurs.

Culture du bâti

Urbanisation

Le développement de ce périmètre débute à la fin du 19^e siècle avec l'implantation progressive d'établissements industriels.

La création de la zone industrielle et artisanale de la Praille en 1960 et la mise en place de la structure ferroviaire consacrent la vocation du site.

En 2005, le canton lance les réflexions pour la transformation du territoire Praille – Acacias – Vernets. La loi de déclassement adoptée en juin 2011 prévoit une mutation échelonnée sur 30 à 50 ans. Le *Plan directeur de quartier PAV* est adopté en avril 2015.

Le périmètre de Grosselin doit évoluer vers une affectation mixte, comportant des activités tertiaires, des entreprises sans nuisances ou moyennement gênantes, avec une nette prédominance de logements (75% des surfaces brutes de plancher).



Vue aérienne actuelle du périmètre D5 PAV Grosselin

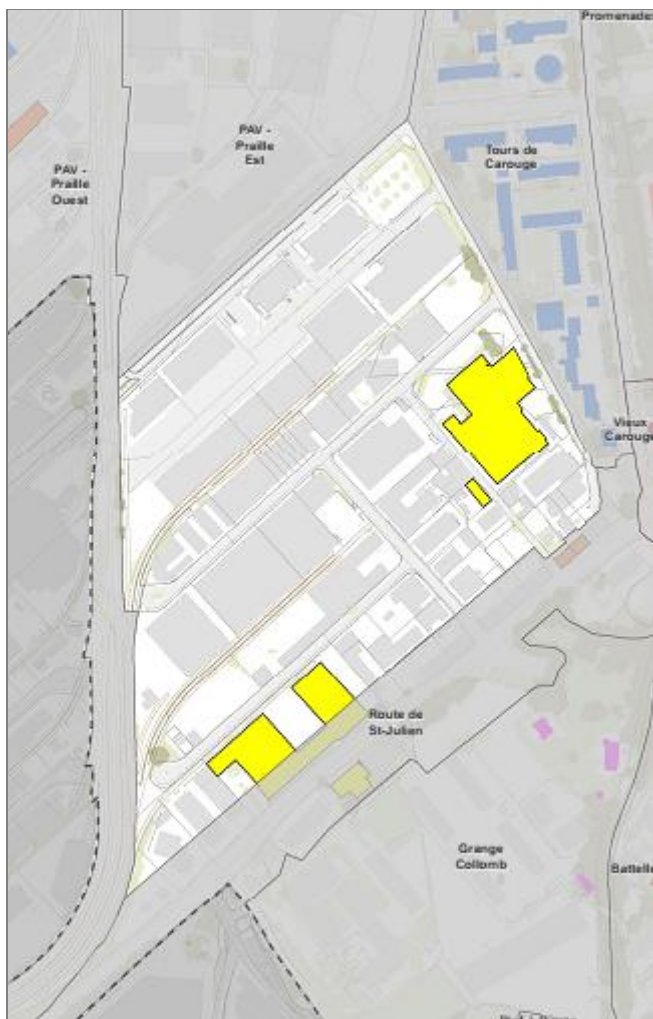
Caractéristiques et qualités urbaines et architecturales

L'ensemble du périmètre est organisé sur une trame de desserte routière et ferroviaire. A l'ouest, le faisceau de voies alimente des parcelles disposées à 45°, une orientation favorable du point de vue de l'occupation du sol et de l'exploitation ferroviaire, plus ou moins calquée sur celle de la route de Saint-Julien.

La mutation de ce périmètre en activité est envisagée comme un processus de densification fondé sur la trame viaire et la structure parcellaire existantes, avec une démolition – reconstruction progressive du bâti existant. Le programme de référence vise environ 3'700 logements pour 7'700 habitants, des activités et des équipements publics. La densité envisagée est élevée et les premières études directrices fixent trois hauteurs pour les nouveaux bâtiments (14 m, 24 m, 60 m). Les espaces publics, qui jouent un rôle majeur dans la mutation du site, s'inscrivent dans la trame existante, avec le projet de remise à ciel ouvert de la rivière Drize et la transformation des espaces ferroviaires en parc linéaire le long du faisceau maintenu et en « coulées vertes » irriguant le quartier, des cours et jardins.



PAV Grosselin. Projet d'image directrice état mars 2018 / Office de l'urbanisme



Enjeux patrimoniaux. Patrimoine architectural et sites – Objets protégés et dignes de protection état 2018 / OPS



Enjeux patrimoniaux

ISOS Carouge : site d'importance nationale ; partie du site avec objectif de sauvegarde (b).

Le secteur Praille – Acacias – Vernets a fait l'objet d'une étude historique et patrimoniale qui a procédé au recensement du patrimoine bâti dans le périmètre. Les deux bâtiments d'« intérêt secondaire » au chemin du Faubourg-de-Cruseilles pourraient être maintenus, en fonction de l'évolution des projets d'aménagements.

Adaptabilité à la pose d'installations solaires

La mutation complète envisagée, avec la promotion d'un urbanisme qui se veut exemplaire et la présence de coopératives d'habitation parmi les acteurs principaux, fait de ce périmètre un secteur particulièrement adapté à la mise en place d'installations collectives et/ou partagées, tant sur les édifices publics que sur les bâtiments d'habitation. La valorisation du potentiel solaire devra faire partie d'un concept énergétique et architectural global, visant des standards énergétiques élevés (Net Zero Building Energy NZEB). L'intégration de ces systèmes dans l'architecture des bâtiments comme un matériau contemporain pourrait contribuer à définir l'image urbaine future du quartier. Les édifices publics, en première ligne, devraient promouvoir des projets phares et des solutions exemplaires pour soutenir les stratégies énergétiques communale, cantonale et fédérale. Un facteur également à prendre en compte est la durée pendant laquelle le quartier va se transformer, qui offre l'opportunité d'un pari sur l'avenir pour considérer des solutions techniques et architecturales innovantes qui deviendront économiquement plus accessibles.

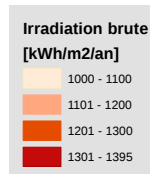
Potentiel solaire



Irradiation solaire annuelle brute

Ce périmètre en développement offre un grand nombre de surfaces bien irradiées et exploitables à l'horizon 2030.

Cette carte représente les surfaces brutes des toitures exploitables, c'est-à-dire bien orientées et peu ombragées, atteignant une irradiation brute supérieure à 1'000 kWh/m²/an (selon le projet d'image directrice état mars 2018). Les surfaces en gris représentent l'état existant.



Potentiel total de production énergétique sur les toitures des bâtiments (thermique et photovoltaïque) et les façades des bâtiments en projet à construire (photovoltaïque) à l'horizon 2030

Calculé par rapport aux toitures exploitables représentées dans la carte d'irradiation et parties exploitables des façades (c.-à-d. irradiation >750 kWh/m²/an et taux moyen de façade opaque de 50%).

Valorisation	Technologie	Production potentielle	Puissance potentielle	Couverture potentielle besoins	Surface capteurs installables	Surface toitures exploitables	Toitures exploitables / toitures totales	Surface totale toitures périmètre
[-]	[-]	[MWh/an]	[kWc]	[%]	[m2]	[m2]	[%]	[m2]
Thermique	Vitré	5 837	N.A	60.9%	12 739	29 626	51.3%	
PV /Toiture	Monocristallin	1 609	1591	16.6%	7 957	11 371	19.7%	
	Polycristallin	1 287	1273	13.2%				
PV/Facades	Polycristallin	4 836	5373	49.8%	41 998			
Total (surfaces)					62 694	40 997	71.1%	57 700

Production potentielle [MWh/an]

Puissance potentielle [kWc]

Couverture potentielle besoins [%]

Surface capteurs installables [m²]

Surface toitures exploitables [m²]

Toitures exploitables / toitures totales [%]

Surface totale brute toitures périmètre [m²]

quantité d'énergie thermique/électrique produite annuellement par la surface totale de capteurs installable

puissance de crête selon les rendements liés aux technologies de PV (ne concerne pas le thermique)

ratio entre production (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité) calculés par bâtiment

surface totale des capteurs solaires qui peut être installée sur les toitures exploitables

surface totale des toitures sur laquelle sont installés les champs de capteurs

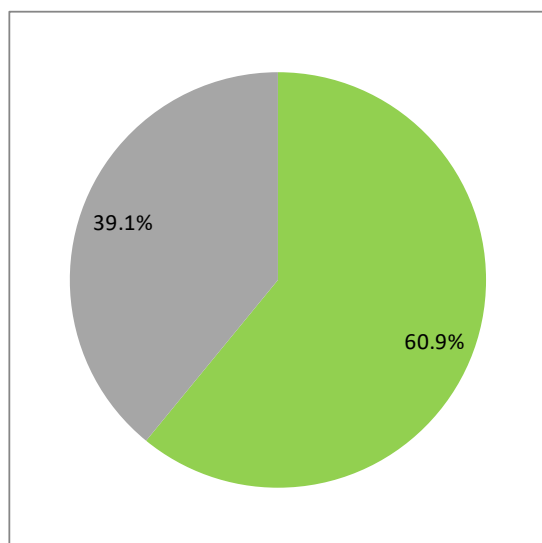
ratio entre la surface de toitures exploitables et la surface totale brute des toitures du périmètre

surface totale brute de toutes les toitures du périmètre

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire thermique

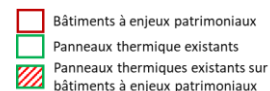
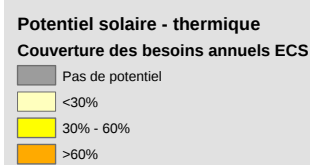
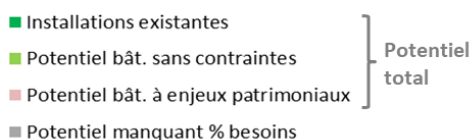
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	9 581
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	12 739	5 837
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	0	0
Potentiel manquant % besoins	N.A	3 744



Potentiel de valorisation solaire thermique



Le potentiel solaire thermique concerne uniquement la couverture des besoins en eau chaude des bâtiments de logement (selon le projet d'image directrice, état mars 2018, à la page 2).



Appréciation du potentiel solaire thermique

Le périmètre ne compte qu'une seule installation thermique existante, vouée à disparaître.

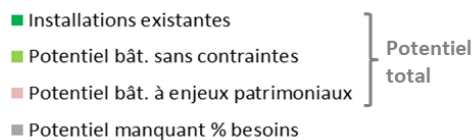
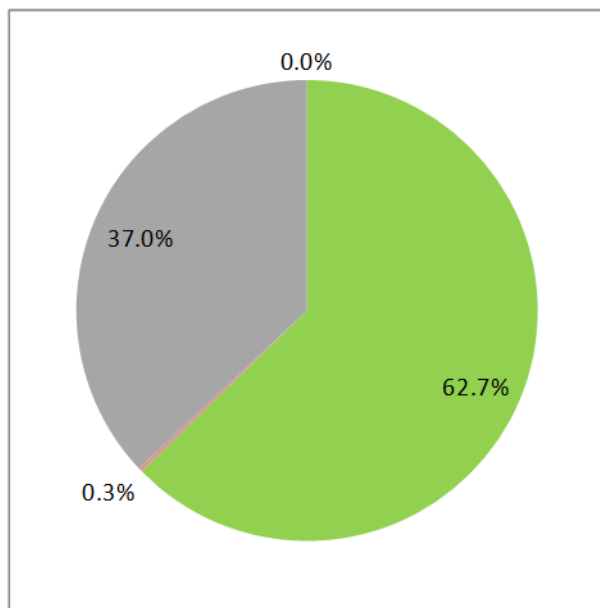
Considérant que le calcul porte uniquement sur les bâtiments de logement, qui seront majoritaires à terme dans le périmètre, le potentiel solaire est principalement déterminé par le solaire thermique. En moyenne 60.9% des besoins en ECS pourraient être couverts par cette ressource, grâce aux importantes surfaces de toiture bien irradiées des immeubles projetés.

En conséquence, le potentiel solaire thermique peut être considéré comme globalement « fort » à l'horizon 2030.

Potentiel solaire

Répartition du potentiel solaire photovoltaïque

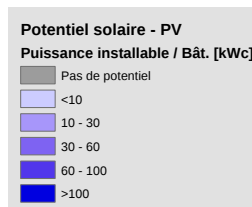
	Surface capteurs (m2)	Energie (MWh/an)
Total des besoins (100%)	N.A	9 719
Instal. exist. sur bât. sans contrainte	0	0
Potentiel bât. sans contraintes	49 760	6 095
Potentiel bât. à enjeux patrimoniaux	195	28
Potentiel manquant % besoins	N.A	3 596



Potentiel de valorisation du solaire photovoltaïque



Calculé en puissance de crête (kWc) totale par bâtiment (selon le projet d'image directrice, état mars 2018, à la page 2)



Appréciation du potentiel solaire photovoltaïque

Le périmètre compte 2 installations PV existantes, vouées à disparaître.

Dans le cadre d'une production mixte qui donne la priorité au solaire thermique, le potentiel PV en toiture est réduit par rapport au potentiel total et ne couvrirait que 13.2 % (polycristallin*) des besoins électriques du périmètre.

Les deux écoles projetées n'étant pas considérées dans le potentiel thermique, leurs toitures respectives sont totalement disponibles pour le solaire PV et offrent un fort potentiel d'installation, de l'ordre de 70 kWc.

L'emplacement sur la parcelle et la forme de chaque bâtiment scolaire sont donnés à titre indicatif afin de permettre une estimation du potentiel solaire ; la surface brute de plancher (SBP) totale de chaque groupe a été estimée à environ 3'000 m² (20 classes) répartis sur 4 niveaux.

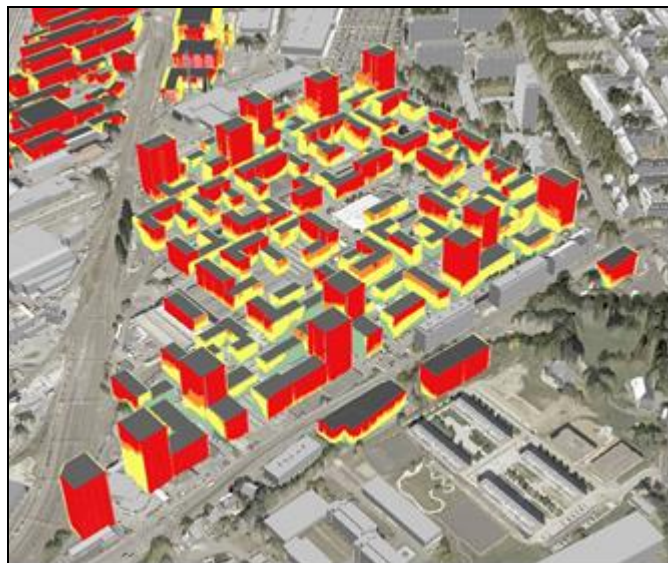
La valorisation des façades des bâtiments permettrait de couvrir 49.8% des besoins, portant le potentiel total de couverture à 63%. Ce différentiel montre le potentiel tout à fait significatif des façades dans la production solaire.

En conséquence, le potentiel PV peut être considéré globalement comme « fort » à l'horizon 2030.

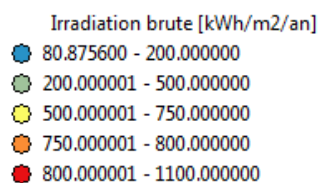
* L'analyse sur le périmètre considère la technologie du polycristallin, qui est la plus répandue. Cette approche est volontairement conservatrice, sachant que le potentiel identifié peut être amélioré en choisissant le monocristallin et les autres technologies plus performantes à venir.

Irradiation solaire des façades des bâtiments projetés (horizon 2030)

Bien que le futur quartier présente une densité élevée avec des effets de masque importants, la hauteur et le dégagement de plusieurs bâtiments permettent globalement une bonne irradiation solaire sur les façades. Si l'on considère les parties de façade dont l'irradiation est supérieure à 750 kWh/m²/an et un taux moyen de façade opaque disponible de 50% (taux à affiner selon le projet de construction), le potentiel solaire valorisable en façade sur les nouveaux bâtiments à construire s'élève à 35'557 MWh/an. Sachant que les toitures permettent de bien satisfaire les besoins d'ECS, il est préférable de privilégier les panneaux PV en façade (également plus simple à mettre en œuvre) et de promouvoir son intégration en amont dans le projet architectural. Ainsi, des panneaux solaires PV permettraient de couvrir 49.8% des besoins électriques du périmètre (avec une production de 4'836 MWh/an).



Irradiation solaire annuelle brute (kWh/m²/an) sur les façades (selon l'image directrice du projet de développement de Gosselin état mars 2018)



8. MISE EN ŒUVRE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE À CAROUGE

8.1 PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE CANTONALE

Dans le cadre fixé par la Confédération, la politique énergétique cantonale vise, entre autres, l'atteinte progressive de la société à 2000 watts sans nucléaire. Cet objectif est mis en œuvre à travers une *Conception générale de l'énergie*¹⁹⁸ et un *Plan directeur de l'énergie*¹⁹⁹, le canton de Genève donnant mandat aux SIG d'élaborer le plan des énergies de réseaux et demandant aux communes d'élaborer des plans directeurs communaux de l'énergie.²⁰⁰

Le *Plan directeur cantonal Genève 2030*, pour sa part, met en évidence la nécessité de « coordonner aménagement du territoire et politique énergétique cantonale »²⁰¹, précisant notamment que la mise en œuvre de la politique énergétique cantonale passe par la spatialisation et la qualification des ressources énergétiques renouvelables du canton. Dans ce contexte, il demande également que soient identifiés les périmètres sensibles du point de vue de la politique de protection du patrimoine.

Le *Plan directeur cantonal Genève 2030* considère que

« rénovations et nouvelles constructions offrent un potentiel important pour la maîtrise de la consommation d'énergie. C'est pourquoi tout projet d'urbanisation important est aujourd'hui accompagné d'un concept énergétique territorial (CET) qui propose des solutions en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie et de recours aux énergies renouvelables. »²⁰²

8.2 LE CONCEPT ÉNERGÉTIQUE TERRITORIAL (CET), OUTIL DE PLANIFICATION ET DE MISE EN ŒUVRE

La planification énergétique territoriale du canton de Genève prévoit que chaque projet d'aménagement du territoire, à chaque échelle et à chaque stade de planification, fait l'objet d'une étude des opportunités à saisir en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie et de recours aux énergies renouvelables, à travers des concepts énergétiques territoriaux (CET). Un concept énergétique territorial peut être envisagé à plusieurs échelles, en termes de planification directrice (plan directeur communal, plan directeur localisé, étude sectorielle) ou, sur un plan plus opérationnel, dans la planification impérative, opposable aux tiers. Le CET n'est obligatoire que pour les plans localisés de quartier (PLQ).

Un CET propose des stratégies de valorisation des ressources locales (en premier lieu d'origine renouvelable) et des stratégies d'approvisionnement visant à satisfaire les besoins du périmètre concerné, en cohérence avec les objectifs de politique énergétique du canton. Il procède à un état des lieux énergétique, qui consiste à :

¹⁹⁸ RD 986 - Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013 <http://ge.ch/grandconseil/search?search=RD+986> et site de l'Office cantonal de l'énergie : <http://ge.ch/energie/contexte-legal>

¹⁹⁹ Le Plan directeur de l'énergie actuellement en vigueur correspond à la législature 2005 – 2009. http://ge.ch/energie/media/energie/files/fichiers/documents/plan_directeur_cantonal_de_lenergie.pdf

²⁰⁰ Plan directeur cantonal Genève 2030, Fiche D2 : Plan directeur cantonal Genève 2030. Fiche D2, p. 259 : http://etat.geneve.ch/geodata/SIAMEN/PDCn/PDCn_GC_03_Schema_ficheD02.pdf

²⁰¹ Plan directeur cantonal Genève 2030, Fiche D2 : Plan directeur cantonal Genève 2030. Fiche D2, p.259 : http://etat.geneve.ch/geodata/SIAMEN/PDCn/PDCn_GC_03_Schema_ficheD02.pdf

²⁰² Plan directeur cantonal Genève 2030, Fiche D2 : Plan directeur cantonal Genève 2030. Fiche D2, p. 261 : http://etat.geneve.ch/geodata/SIAMEN/PDCn/PDCn_GC_03_Schema_ficheD02.pdf

- étudier le potentiel technique, écologique et socio-économique des ressources énergétiques renouvelables et locales et des rejets thermiques,
- évaluer de manière qualitative et quantitative les besoins actuels et futurs des parcelles à aménager en termes de chauffage, eau chaude sanitaire, production de froid, électricité, etc., tout en tenant compte des différents horizons temporels,
- identifier les acteurs susceptibles d'influencer les stratégies énergétiques ou leur mise en œuvre, et analyser leur rôle,
- inventorier, localiser et caractériser les infrastructures existantes et projetées liées à la transformation, au transport et au stockage de l'énergie.

Le CET doit proposer des stratégies de valorisation des ressources locales et des stratégies d'approvisionnement, qui deviennent parties intégrantes de la planification. Le rapport du CET comprend une synthèse des stratégies énergétiques analysées, des principaux enjeux locaux et des horizons spatio-temporels pertinents, ainsi que des recommandations relatives à l'organisation des acteurs, aux échéances temporelles déterminantes et aux infrastructures nécessaires à la transformation, au stockage et au transport de l'énergie.²⁰³

Comme le CET examine l'ensemble des ressources énergétiques valorisables dans un contexte donné, il présente l'intérêt de mettre en évidence différentes solutions techniques, et donc de proposer des alternatives au solaire dans les périmètres considérés non adaptés ou adaptés sous conditions à la pose d'installations solaires. C'est particulièrement intéressant pour la production de chaleur, qui est consommée in situ : solutions locales avec sondes géothermiques, corbeilles géothermiques, rejets de chaleur, solutions décentralisées avec les réseaux de chauffage à distance.

Le champ d'application des concepts énergétiques territoriaux CET – de la planification directrice à la planification impérative – en font un instrument très utile pour la concrétisation des résultats de la planification solaire globale, notamment en termes de mutualisation entre périmètres ou d'alternatives à la pose d'installations solaires.

8.3 PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE COMMUNALE

8.3.1 Carouge *Cité de l'énergie*

Carouge est dotée depuis 2008 du label *Cité de l'énergie*²⁰⁴ et clairement engagée dans la prise en charge des problématiques liées à l'énergie. Le label *Cité de l'énergie* fait partie du programme SuisseÉnergie. Il s'agit d'une distinction pour les communes qui réalisent concrètement une politique communale durable en matière d'énergie au sens large. C'est un processus global qui mène les communes qui s'y engagent à l'obtention du label. Pour y arriver, une commune doit avoir réalisé ou planifié au moins 50% des actions possibles dans six domaines de politique énergétique :

- aménagement du territoire, constructions,
- bâtiments et équipements communaux,
- approvisionnement et dépollution,
- mobilité,
- organisation interne,
- communication et coopération.

Le label apporte un avantage en terme d'image et de marketing territorial : les *Cités de l'énergie* montrent qu'elles pensent à demain.

²⁰³ <http://ge.ch/energie/concept-energetique-territorial>

²⁰⁴ <http://www.citedelenergie.ch/fr/> (consulté le 28.04.18)

Pour la Ville de Carouge, dans ce cadre, le pourcentage de mise en œuvre²⁰⁵ des mesures d'économies d'énergie est de 69 %.²⁰⁶ Le label *Cité de l'énergie* est octroyé dès qu'on atteint 50% des mesures possibles et les communes qui ont actionné plus de 75% des mesures reçoivent l'*European Energy Award®GOLD*.

L'existence d'une planification solaire globale constitue un atout supplémentaire pour Carouge, qui pourrait lui permettre d'améliorer significativement son coefficient de mise en œuvre.

8.3.2 Plan directeur communal

Carouge ne dispose pas encore d'un plan directeur de l'énergie, mais son plan directeur communal est en cours de révision et intégrera un chapitre dédié à l'énergie. La fiche de mesures n°19 « Énergie » du *Plan directeur communal*, adopté en 2009, préconise notamment :

- la réalisation d'un concept énergétique pour accompagner le développement de Carouge Est, du PAV et du secteur Fontenette,
- l'évaluation du potentiel des énergies renouvelables de la commune,
- de favoriser, dans le cadre de restructurations de quartiers, la planification de systèmes de production centralisée d'énergie fonctionnant avec un réseau de quartier.²⁰⁷

La « Politique du paysage, des sites et du patrimoine » du *Plan directeur communal*²⁰⁸, qui vise à préserver et mettre en valeur les qualités reconnues du patrimoine paysager et bâti de Carouge, implique de mettre en cohérence les enjeux liés à la culture du bâti et ceux relevant de la politique énergétique communale, à partir des orientations de la planification solaire globale.

8.3.3 Les concepts énergétiques territoriaux à Carouge

Le territoire de Carouge est presque entièrement couvert par sept différents concepts énergétiques territoriaux. Les deux principaux, qui concernent tous les périmètres en mutation à court et moyen terme et incluent des études sectorielles précédentes, sont :

1. *l'Étude énergétique stratégique Carouge - Arve (CET 2012-11)*²⁰⁹, qui répond à un des objectifs de la fiche « Énergie » du *Plan directeur communal*,
2. le *Concept énergétique territorial (CET 2012-14)*²¹⁰ accompagnant le *Plan directeur de quartier Praille – Acacias – Vernets (PDQ PAV)*.

Le CET prenant en considération l'ensemble des ressources énergétiques, le solaire, tant thermique que photovoltaïque, ne représente qu'une partie des solutions préconisées pour répondre aux objectifs de la politique énergétique cantonale. Le CET examine ainsi l'intérêt de différentes solutions techniques dans un contexte donné. Il propose notamment un panel de possibilités pour la production de chaleur qui, dans les périmètres non adaptés ou adaptés sous conditions à la pose d'installations solaires, offrent des alternatives à l'obligation du solaire thermique : solutions locales avec sondes géothermiques, corbeilles géothermiques, rejets de chaleur, solutions décentralisées avec les réseaux de chaleur, comme le réseau haute température des Tours de Carouge qui alimente les bâtiments du secteur situé entre la rue Jacques-Grosselin, la rue du Centenaire et le boulevard des Promenades et qui pourrait être étendu au nord

²⁰⁵ <http://www.citedelenergie.ch/fr/les-cites-de-lenergie/cites-en-comparaison/> (consulté le 28.04.18)

²⁰⁶ http://www.citedelenergie.ch/fileadmin/user_upload/Energiestaedte/carouge-ge/dateien/weitere/Fiche_informative_Carouge.pdf (consulté le 28.04.18)

²⁰⁷ *Plan directeur communal (PDCom) de Carouge et plan directeur des chemins pour piétons (PDCP) n°29608-544, adopté par le Conseil municipal le 25 juin 2009 et approuvé par le Conseil d'État le 14 septembre 2009.*

http://etat.geneve.ch/geodata/SIAMEN/PDL/PDCom_Carouge/PDCom_Carouge_11.pdf

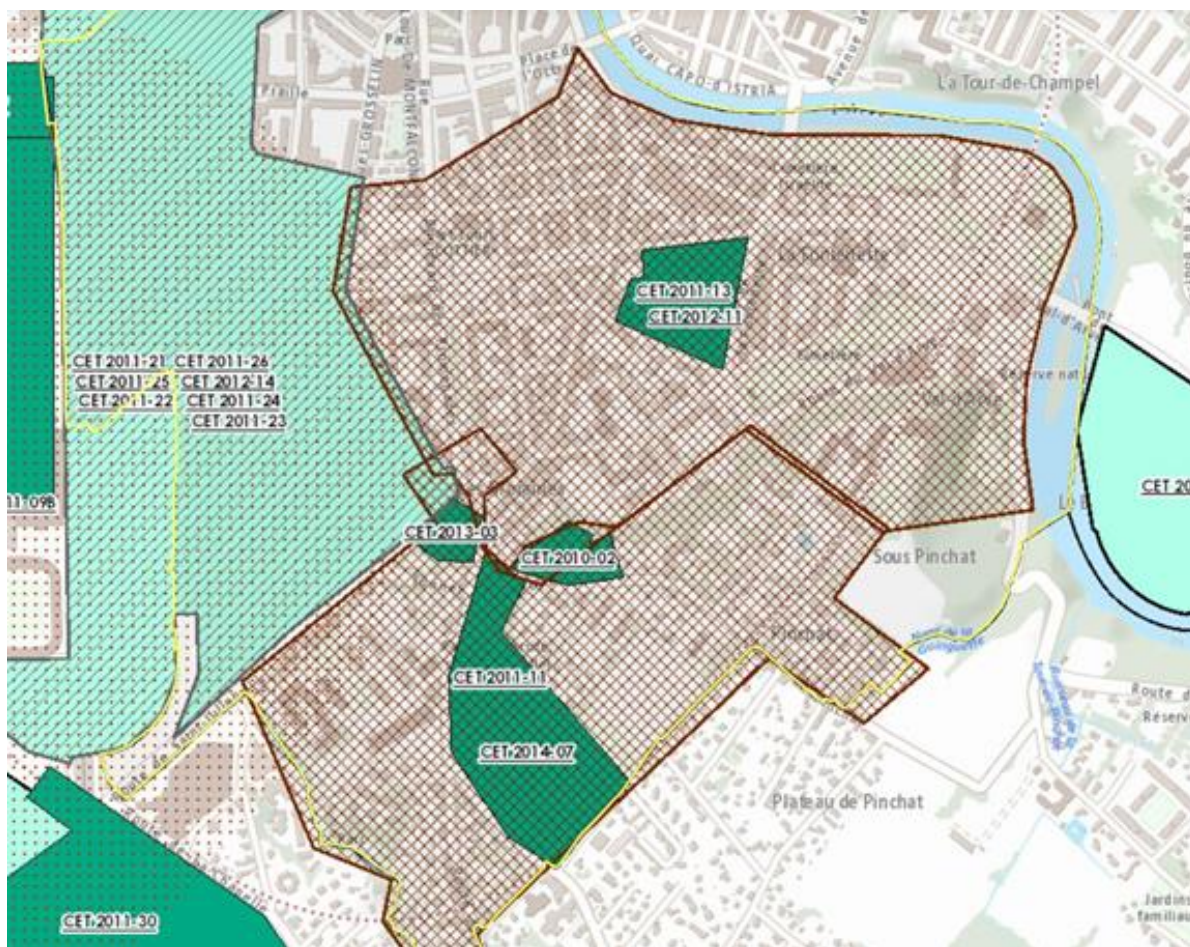
²⁰⁸ *Plan directeur communal (PDCom) de Carouge et plan directeur des chemins pour piétons (PDCP) n°29608-544, adopté par le Conseil municipal le 25 juin 2009 et approuvé par le Conseil d'État le 14 septembre 2009, pp.65-73*

http://etat.geneve.ch/geodata/SIAMEN/PDL/PDCom_Carouge/PDCom_Carouge_05.pdf

²⁰⁹ *Amstein et Walthert, Étude énergétique stratégique Carouge - Arve (Les Tours, Vieux-Carouge, Carouge Est, La Fontenette), Service de l'énergie, État de Genève, 2012*

²¹⁰ *CSD Ingénieurs, PDQ PAV - Concept énergétique territorial, Service de l'énergie, État de Genève, 2012*

(périmètre B3 Pervenches**) et à l'ouest (périmètre D5 PAV Grosselin***). Dans ce dernier cas, les résultats de la planification solaire globale interrogent les orientations du CET, en identifiant Grosselin comme un périmètre à priorité élevée pour la valorisation de l'énergie solaire.



Recensement des CET sur la commune de Carouge tel qu'il apparaît sur le Système d'information territoriale du canton de Genève. Le quadrillage brun correspond à l'Étude énergétique stratégique Carouge-Arve, la zone pointillée en turquoise au CET PDQ PAV.²¹¹

8.4 ÉVOLUTION DES INSTRUMENTS DE MISE EN ŒUVRE

La présente étude ne constitue que la première étape de la planification solaire globale de Carouge. Pour pouvoir pleinement déployer leurs effets, ses résultats doivent être intégrés dans les instruments de mise en œuvre existants :

- la planification directrice communale (plan directeur communal et plan directeur communal de l'énergie),
- les plans directeurs de quartier,
- les concepts énergétiques territoriaux réalisés sur le territoire carougeois,
- les plans localisés de quartier et leurs règlements,
- les plans de site et leurs règlements,

sans oublier les études d'aménagement réalisées en amont, ni les études et recensements patrimoniaux.

Cette intégration dans les instruments de mise en œuvre existants doit viser l'élaboration d'une stratégie de valorisation optimale de l'énergie solaire articulée de façon cohérente et explicite avec la nécessaire

²¹¹ Source : SITG

préservation du paysage, des sites et du patrimoine qui font la richesse et la complexité de la culture du bâti de qualité à Carouge.

8.4.1 La planification solaire globale dans le *Plan directeur communal*

Élaborée à l'échelle de la commune, la planification solaire globale fait évoluer la réflexion sur la façon d'articuler stratégie énergétique et politique de préservation du paysage, des sites et du patrimoine et doit donc figurer dans le *Plan directeur communal* en cours de révision comme une fiche de mesures à part entière. La révision du *Plan directeur communal* doit également être l'occasion de discuter et d'intégrer dans les fiches sectorielles les mesures de mise en œuvre spécifiques préconisées pour les périmètres ou de créer des fiches ad hoc pour des mesures de mise en œuvre plus transversales (par ex. valorisation des bâtiments avec des surfaces exploitables propriétés de la commune).

8.4.2 La planification solaire globale dans les CET

La planification solaire globale permet donc d'enrichir les concepts énergétiques territoriaux, avec une dimension sensible intégrant la culture du bâti, et de fonder les décisions en matière énergétique non pas seulement en fonction d'opportunités techniques, mais aussi sur des considérations urbanistiques, architecturales et patrimoniales et un potentiel solaire clairement identifié.

Les résultats de la planification solaire globale doivent pouvoir trouver place dans les CET relatifs au territoire de la commune de Carouge, en tant que :

- données de base de l'état des lieux énergétique et patrimonial, avec une rubrique spécifique « potentiel solaire et culture du bâti »,
- propositions dans l'élaboration des différents scénarios,
- outil pour la détermination d'un périmètre de mutualisation.

Le champ d'application des concepts énergétiques territoriaux CET – de la planification directrice à la planification impérative – en font un instrument très utile pour la concrétisation des résultats de la planification solaire globale, notamment en termes de mutualisation entre périmètres ou d'alternatives à la pose d'installations solaires. De surcroît, l'obligation d'un CET dans les plans localisés de quartier contribue à rendre la démarche opérationnelle, pour permettre une exploitation maximale de l'énergie solaire tout en assurant la qualité de la culture du bâti du site concerné.

Là où il existe une planification solaire globale, ses résultats devraient être intégrés aux CET, avec une référence explicite à la culture du bâti et aux critères de qualité visés pour la pose d'installations solaires.

De façon plus générale, il serait judicieux que l'Office cantonal de l'énergie fasse évoluer la *Directive relative au concept énergétique territorial*,²¹² qui définit le contenu, les modalités d'élaboration et la forme du CET, afin d'y intégrer la culture du bâti et le patrimoine, indépendamment de l'existence ou non d'une planification solaire globale.

8.4.3 Les résultats de la planification globale dans les outils de mise en œuvre

La commune doit se donner les moyens d'intégrer les résultats de la planification solaire globale dans ces outils de mise en œuvre opposables aux tiers que sont les Plans localisés de quartier PLQ et leurs règlements, ou les autorisations de construire qu'elle est amenée à préavisier.

La réalisation de mesures découlant de la planification solaire pourrait également être une condition dans l'octroi de droits de superficie par le canton ou la commune. (→ chapitre 8.5.1.1)

²¹² *Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide.*

8.5 STRATÉGIES DE VALORISATION À CAROUGE

La grande diversité de l'environnement bâti de Carouge et la multiplicité des projets d'aménagement engagés se traduit nécessairement par des stratégies de valorisation différenciées en fonction des spécificités de chaque périmètre.

On peut néanmoins proposer quatre stratégies d'intervention prioritaires pour une valorisation optimale tant du potentiel solaire que d'une culture du bâti de qualité :

- la stratégie « Grand projet PAV »,
- la stratégie « Carouge Est »,
- la stratégie « Zones réservées de Carouge Sud »,
- la stratégie transversale « Valorisation des surfaces exploitables des propriétés publiques et parapubliques »,
- la stratégie transversale « Energies renouvelables alternatives et mutualisation ».

8.5.1 Stratégie « Grand projet PAV », priorité élevée

Le grand projet d'aménagement PAV doit traduire les ambitions du canton et des communes concernées en matière de transition énergétique. Les périmètres à priorité élevée*** pour la valorisation de l'énergie solaire qui s'inscrivent dans cette perspective devraient bénéficier d'un concept pour valoriser pleinement leur potentiel solaire.

L'étude « Approche de mise en œuvre des stratégies énergétiques »²¹³ au sein du secteur PAV définit les objectifs du *Plan directeur de quartier PAV* de la manière suivante :

« répondre aux objectifs de la société à 2'000 W en minimisant les besoins en énergie et en assurant une utilisation rationnelle de l'énergie » et « tendre vers un quartier à énergie positive afin de mettre le potentiel en ressources énergétiques disponibles sur le périmètre au bénéfice de la transition énergétique d'un périmètre élargi ». Cette volonté de mutualisation des ressources s'applique en particulier aux quartiers voisins caractérisés « par des contraintes importantes en matière de tissu bâti existant à maintenir et une forte dépendance aux énergies fossiles. »²¹⁴

Le concept énergétique du PAV doit contribuer à la réalisation d'un quartier exemplaire du point de vue environnemental, notamment l'objectif de « tendre vers un quartier à énergie thermique positive permettant un approvisionnement en énergie renouvelable des quartiers à forte irréversibilité²¹⁵ » et de « développer la production locale d'électricité par des centrales chaleur-force et des panneaux solaires photovoltaïques ». ²¹⁶

Cet objectif doit se traduire par des mesures claires et ciblées au niveau de la planification impérative, afin d'engager tous les acteurs dans une démarche exemplaire tant dans le domaine énergétique que dans le domaine de la culture du bâti.

²¹³ CSD Ingénieurs SA, *Plan directeur de quartier « Praille – Acacias – Vernets »*. Approche de mise en œuvre des stratégies énergétiques. Rapport d'étude, novembre 2015

²¹⁴ Ibid., p. 8

²¹⁵ Selon l'étude, les quartiers à forte irréversibilité sont caractérisés par un tissu bâti dense et stable et une forte dépendance aux énergies fossiles. Transposés à la présente étude, cette notion couvre les périmètres non adaptés ou adaptés sous conditions, à priorité faible ou non prioritaire pour la valorisation de l'énergie solaire ; *ibid.*, p. 11

²¹⁶ Ibid., p. 8

8.5.1.1 Exemple : D5 PAV Grosselin***, quartier à énergie positive

Ce périmètre en forte mutation, très adapté à la pose d'installations solaires, avec de forts potentiels TH et PV, offre l'opportunité d'une mutualisation de l'énergie avec des périmètres « demandeurs ». Il présente un enjeu d'exemplarité pour le canton et la commune qui veulent en faire un quartier à énergie positive.

Cette ambition est énoncée dans les différents instruments de planification en vigueur²¹⁷, mais à l'heure actuelle sans dispositions spécifiques pour la valorisation du solaire.

Les résultats de la planification solaire globale doivent être intégrés dans la planification impérative (plans directeurs de quartier PLQ) en cours d'élaboration et dans les droits de superficie accordés par le canton dans le cadre du développement du futur quartier Grosselin.

La dimension du périmètre et la nature de la mutation, qui s'étendra sur une longue période, offre l'opportunité de développer des projets modèle de promotion de solutions solaires innovantes.

Le pilote de la mutation du périmètre est le canton, en collaboration avec la commune. Les propriétaires des surfaces exploitables projetées sont : le canton (terrains), la commune, des propriétaires privés et des superficiaires actuels et futurs (dont des coopératives de logement).

Mesures

Le canton / la commune :

- veillent à l'intégration dans les PLQ des objectifs de valorisation du solaire thermique et photovoltaïque,
- inscrivent dans les droits de superficie l'obligation d'installer du solaire TH et PV,
- développent avec les SIG ou une autre entreprise de développement solaire, en collaboration avec le Forum participatif Grosselin, un concept de « quartier à énergie positive », dans lequel le solaire peut déployer son potentiel,
- s'associent avec la Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture (hepia), la Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) ou encore le Laboratoire d'énergie solaire de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (LESO) pour promouvoir des solutions solaires innovantes du point de vue architectural et urbanistique / projet pilote à l'échelle d'un périmètre / conseil aux opérateurs.

Les périmètres permettant une approche similaire, adaptée au projet urbanistique, sont D2 PAV Etoile*** et D4 PAV Praille Ouest***. Le périmètre D3PAV Praille Est***, qui accueillera un parc, offre l'opportunité d'un projet de valorisation de l'énergie solaire dans l'espace public.

8.5.2 Stratégie « Carouge Est », priorité élevée dans un voisinage sensible

Dans les secteurs en mutation de Carouge Est, régis par un *Plan guide*²¹⁸, les acteurs sont majoritairement des privés. Une grande partie des plans localisés de quartier ont été adoptés mais il reste une marge de manœuvre pour engager les propriétaires de ces périmètres à priorité élevée***, voisins du Vieux Carouge, à valoriser pleinement le potentiel solaire identifié, à trouver le modèle économique-technique répondant le mieux à leurs besoins et, surtout, à favoriser une intégration de qualité des installations solaires dans les projets architecturaux.

²¹⁷ Soit le Plan directeur de quartier PDQ PAV, le CET PAV et l'étude stratégique de CSD citée ci-dessus

²¹⁸ Plan guide Carouge Est, Ville de Carouge, 2011, revu 2016, Bassicarella architectes

8.5.2.1 Exemple : C3 Moraines Théâtre*, périmètre en autoconsommation**

Ce périmètre en forte mutation, adapté à la pose d'installations solaires, présente de forts potentiels TH et PV susceptibles de couvrir les trois quarts ses besoins propres en ECS ainsi qu'un tiers de ses besoins en électricité.

Pour valoriser pleinement le potentiel solaire de ce périmètre à priorité élevée, il s'agit de convaincre les propriétaires privés d'équiper leurs futurs bâtiments de capteurs solaires, tout en garantissant une bonne insertion architecturale des installations, y compris en façade.

Pour la commune, qui pilote la mutation du secteur, il y a un enjeu d'exemplarité au niveau de ses équipements. Les propriétaires des surfaces exploitables existantes et projetées sont la commune (nouveau théâtre et salle des fêtes rénovée) et des privés.

Mesures

Le canton / la commune :

- émettent des directives pour l'intégration des objectifs liés au potentiel solaire identifié lors de la validation des PLQ,
- soutiennent une étude pour l'autoconsommation au sein du périmètre, menée par l'OCEN et les SIG.

Les périmètres permettant une approche similaire sont C1 Minoteries*** / C2 Menuisiers***.

8.5.3 Stratégie Zones réservées de Carouge Sud, priorité moyenne et opportunité élevée

Une grande partie de la zone villas de Carouge est actuellement classée « zone réservée », un dispositif qui permet de refuser à titre conservatoire pour un délai de cinq ans les autorisations de construire qui prêteraient des développements futurs. Le canton doit dans ce délai proposer un projet de développement, avec des scénarios de densification moyenne ou élevée par rapport à l'état actuel. Ce processus qui envisage une mutation forte doit absolument intégrer les critères de la planification solaire globale.

8.5.3.1 Exemple : C8 Pinchat Nord, intégration des objectifs de la planification solaire globale dans les PLQ**

Dans ce périmètre en mutation, adapté à la pose d'installations solaires, avec des potentiels TH et PV moyens, l'enjeu consiste à intégrer les objectifs de la valorisation de l'énergie solaire dans la planification du futur quartier.

Pour cela, il faut convaincre les propriétaires de participer à une démarche collective, visant une autoconsommation maximale.

Le pilote de la mutation du périmètre est le canton, qui doit mener les études d'aménagement d'ici 2022. Les propriétaires des surfaces exploitables projetées sont des privés, pour une affectation principale de logement et des équipements publics.

Mesures :

Le canton / la commune :

- émettent des directives pour l'intégration des objectifs de la valorisation solaire dans les études d'urbanisme,
- font inscrire ces objectifs dans les PLQ et les règlements de quartier,
- demandent à SIG d'être proactif vis-à-vis des propriétaires pour leur proposer une démarche coordonnée pour la valorisation du potentiel TH et PV.

Les périmètres permettant une approche similaire sont en principe toutes les zones réservées : C11 Grande Pièce* / C16 Route de Troinex* / C17 Route de Drize*. Leur potentiel futur (horizon 2030) n'a pas été calculé mais en fera vraisemblablement des périmètres à priorité moyenne comme C8 Pinchat Nord**.

8.5.4 Stratégie transversale « valorisation des surfaces exploitables des propriétés publiques et parapubliques »

Les collectivités publiques (canton et commune) et parapubliques (instituts de formation, fondations immobilières communales et cantonales, ...) possèdent d'importantes surfaces exploitables dans un grand nombre de périmètres. Le potentiel solaire de ces surfaces doit être valorisé en priorité, car il offre des possibilités de compensation pour les périmètres non adaptés ou adaptés sous conditions à la pose d'installations solaires, comme le Vieux Carouge. Cette valorisation doit faire l'objet d'un projet d'ensemble, qui intègre tous les critères de la planification solaire globale. Ce mandat peut être confié à un mandataire externe, avec une dimension participative pour le financement des opérations.

Mesures

La commune :

- présente une résolution au conseil municipal de la Ville de Carouge pour la mise à disposition des surfaces exploitables propriétés de la commune,
- lance un appel d'offres pour la valorisation de ces surfaces,
- soutient la création d'une coopérative solaire municipale ou une autre forme d'investissement participatif,
- informe la population et les propriétaires dans les périmètres non adaptés ou adaptés sous conditions,
- cherche l'adhésion au projet d'autres propriétaires publics et parapublics.

8.5.4.1 Exemple B3 Pervenches, un centre sportif et un immeuble HLM**

Ce périmètre stable, adapté sous conditions à la pose d'installations solaires, présente des potentiels TH et PV moyens. Ces potentiels sont concentrés sur deux bâtiments : la toiture du centre sportif, qui appartient à la commune, et celle de l'immeuble de logement de la Fondation HLM de la Ville de Carouge, avec un enjeu d'exemplarité pour ces deux entités.

Cette action de valorisation est transversale et concerne tous les périmètres qui présentent des surfaces exploitables appartenant à la commune ou à des institutions parapubliques, en particulier : C13 Battelle*** / C14 Grange-Collomb*** / D1 Fontenette*** / C19 Val d'Arve*** / B4 Tours de Carouge**.

8.5.5 Stratégie transversale « Energies renouvelables alternatives et mutualisation »

Dans les périmètres non adaptés à la pose d'installations, qui présentent des enjeux patrimoniaux prépondérants et une grande difficulté à intégrer soigneusement des panneaux solaires sans préjudice pour la culture du bâti de qualité et le patrimoine, la planification solaire prévoit que les besoins en électricité et ECS puissent être couverts dans la mesure du possible par d'autres énergies renouvelables que le solaire.

Les CET présentent les alternatives renouvelables (et non renouvelables) disponibles et valorisables selon les périmètres.

La planification solaire globale permet aussi d'envisager un mécanisme de compensation entre périmètres « exportateurs » et périmètres « demandeurs » dans le cadre d'un programme de mutualisation de l'énergie solaire afin d'atteindre des objectifs globalement élevés de production à l'échelle de la commune.

8.5.5.1 Exemple A1 Vieux Carouge, un paysage de toitures à préserver

Site construit d'importance nationale ISOS, régi par un *Plan de site* cantonal, avec un objectif de sauvegarde prioritaire, notamment de son remarquable paysage de toitures, le périmètre du Vieux Carouge n'est pas adapté à la pose d'installations solaires.

Le CET Carouge-Arve²¹⁹ tient compte des contraintes patrimoniales et donne la priorité à des options qui n'impliquent pas de changement radical des systèmes de distribution à l'intérieur des immeubles :

- un réseau de chauffage à distance (CAD) haute température propre au périmètre alimenté par un CCF (couplage chaleur force) et une chaudière à gaz pour couvrir les pointes de consommation, ou
- le remplacement immeuble par immeuble des chaudières au mazout par des chaudières à gaz à condensation.

Le recours à des énergies renouvelables n'est pas considéré à ce stade mais on pourrait être plus ambitieux en développant un CAD alimenté par une centrale de production fonctionnant aux énergies renouvelables mise en place dans un périmètre voisin à priorité élevée.

Une autre alternative plus simple à réaliser est celle de la compensation entre périmètres « exportateurs » et périmètres « demandeurs », par la participation au financement d'installations solaire dans des périmètres prioritaires ou sur des surfaces exploitables publiques ou parapubliques. (→ chapitre 8.5.4)

Mesures

La commune :

- informe la population et les propriétaires du Vieux Carouge de la possibilité d'investir dans la production solaire sur le territoire communal,
- demande la mise à jour des CET à la lumière des résultats de la planification solaire globale.

Ces stratégies couvrent la plupart des périmètres à priorité élevée pour la valorisation de l'énergie solaire et intègrent le potentiel des bâtiments publics et parapublics sans enjeux patrimoniaux.

Pour les périmètres à priorité moyenne, qui présentent pratiquement tous un tissu bâti stable, adapté ou adapté sous conditions à la pose d'installations solaires, les interventions se réaliseront probablement de façon plus ponctuelle et elles devront être analysées sur la base des recommandations des fiches de périmètres. Les autorités motivent la population et les propriétaires du Vieux Carouge à s'impliquer dans un programme communal de mutualisation entre périmètres demandeurs et périmètres exportateurs.

8.6 ADOPTION DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE PAR LA COMMUNE

L'adoption par la commune des résultats de la planification solaire globale doit suivre les étapes suivantes :

- transmission du projet au canton pour consultation technique,
- présentation au Conseil administratif,
- présentation à la commission de l'énergie et à la commission de l'aménagement du Conseil municipal,
- projet de résolution du Conseil administratif à l'intention du Conseil municipal et adoption de la *Planification*,
- approbation par le canton

²¹⁹ Amstein + Walther, *Étude énergétique stratégique Carouge - Arve (Les Tours, Vieux-Carouge, Carouge Est, La Fontenette)*, Service de l'énergie, État de Genève, 2012. p. 65

- information de la population (article dans le journal communal *Vivre Carouge*, séance d'information publique),
- intégration dans le *Plan directeur communal*, avec une fiche qui renvoie à l'étude et dans la *Charte des aménagements extérieurs*.

9. TRANSFERT ET PROMOTION DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE

Le résultat du mandat d'étude « *Projet de planification solaire globale. Réalisation d'une planification solaire globale à l'exemple de la Ville de Carouge dans le canton de Genève* » se présente sous forme d'un rapport à caractère scientifique comportant :

- le développement d'une méthodologie de planification solaire globale à l'échelle d'une ville,
- une étude de cas consistant en l'application de la méthodologie de planification solaire globale à la Ville de Carouge.

Le rapport contient tous les éléments nécessaires tant à la validation de la méthodologie qu'à son transfert ainsi qu'à la promotion de la planification solaire globale.

Ces tâches sont une affaire de spécialistes et doivent permettre à la mandante d'atteindre les objectifs et les publics cible identifiés au moment de la préparation de l'étude et de la rédaction du cahier des charges. Tant le rapport d'étude que l'étude de cas portant sur la Ville de Carouge s'adressent à un public expert aux connaissances multidisciplinaires et doivent servir de référence pour l'identification d'éléments de communication qui devront être élaborés par des spécialistes en la matière.

9.1 IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX AXES DE COMMUNICATION

Pour communiquer de façon appropriée et maximiser les chances de succès auprès des publics cible, il est fondamental de comprendre quelle est leur perception de la thématique autour de laquelle on souhaite communiquer.

En Suisse, l'opinion publique est incontestablement favorable à la transition énergétique et à une exploitation accrue de l'énergie solaire.

C'est tout particulièrement le cas pour le photovoltaïque, dont le soutien est appuyé par trois constats :

- la volonté d'abandonner l'énergie nucléaire et d'éviter un basculement vers l'énergie thermoélectrique (énergie électrique produite par combustion de charbon, gaz, fioul),
- la promotion accrue de la mobilité électrique (vélo, voitures, engins volants) pour *diminuer* les émissions polluantes et le bruit,
- le fait que désormais toutes nos activités professionnelles et de loisirs quotidiens dépendent très fortement de la disponibilité d'énergie électrique (informatique, téléphonie, hyper connectivité).

Ainsi que ce soit pour des motivations environnementales ou par crainte d'une pénurie, les installations solaires produisant de l'électricité sont de mieux en mieux perçues par les citoyens. Les choix politiques exprimés en votation populaire dernièrement (Stratégie énergétique 2050, révision de la LAT) font également partie de cette réalité qui privilégie les énergies renouvelables.

Cette énumération non exhaustive met en évidence la présence d'une composante émotionnelle non négligeable qui favorise de plus en plus l'acceptation de l'énergie solaire. Ce serait une erreur de ne pas en tenir compte dans la communication sur le projet de planification solaire globale : elle s'adresse à un public majoritairement acquis au solaire, pour lequel souvent le seul facteur de retenue est le coût immédiat d'une installation.

9.1.1 Axe 1 : la culture du bâti de qualité comme valeur sociétale

Ce premier axe de communication est fondamental. Il doit permettre de sensibiliser de façon appropriée des non experts que la culture du bâti, dont relèvent aussi bien le patrimoine culturel que la planification et

la construction contemporaines, représente une valeur pour la société et pour chaque citoyen. Contrairement aux installations solaires, cette valeur ne peut pas être quantifiée, ni exprimée en kWh, ni en m². La qualité de l'environnement bâti et du paysage a des répercussions importantes sur le bien-être de la population. Elle est déterminante pour stimuler les échanges sociaux, renforcer la cohésion sociale, susciter la créativité et s'identifier à son lieu de vie. Il y aura lieu de rappeler que le peuple a exprimé son attachement à cette valeur immatérielle en acceptant la Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN), la Lex Weber et la LAT.

Ce premier axe pourrait se traduire sous la forme d'une brochure grand public de qualité à l'instar de la brochure²²⁰ « Patrimoine et énergie : concilier bâti historique et exigences en matière de consommation d'énergie » publiée conjointement par l'OFEN et l'OFC en novembre 2015, dont il faudrait toutefois éviter l'austérité et être attentif à un nombre de pages réduit.

Ce premier axe de communication est primordial. Il doit être élaboré sans parti pris et sans vouloir donner de leçons, dans un langage simple et accessible, avec des exemples clairs de différentes communes de Suisse. Il doit constituer le point d'entrée pour les contacts avec les élus et lors de communications avec un public professionnel ou privé.

L'illustration suivante²²¹ est un exemple de communication certes provocatrice mais très efficace.



9.1.2 Axe 2 : la planification solaire à l'échelle d'une commune pour valoriser l'énergie solaire et la culture du bâti

Ce deuxième axe de communication a pour objectif de mettre en valeur l'aspect « gagnant-gagnant » de la mise en place d'une stratégie de planification solaire à l'échelle d'une commune.

Il s'agit tout d'abord de présenter la démarche de planification solaire globale à l'échelle d'une commune comme un outil qui valorise la compatibilité entre deux grandes politiques publiques (patrimoine et énergie) en prenant comme point de départ la LAT (art. 18a) et les réglementations cantonales spécifiques ensemble avec la législation sur le patrimoine et ses principes fondamentaux. Il s'agira de mettre en avant les avantages d'une telle planification pour les acteurs a priori les plus directement intéressés, à savoir les collectivités publiques, les propriétaires privés, les architectes et les installateurs :

- les collectivités publiques disposent au sein de leur administration d'un nouvel outil spécifique de planification pour la valorisation de l'énergie solaire sur leur territoire, particulièrement intéressant pour les projets d'aménagement, de construction et/ou de rénovation. Disposant d'une vision cartographique globale qui croise enjeux patrimoniaux et potentiel solaire, les services techniques concernés, impliqués dans l'étude de planification,

²²⁰ https://www.bak.admin.ch/dam/bak/fr/dokumente/kulturpflege/denkmal_und_energie.pdf.download.pdf/patrimoine_et_energie.pdf (consulté le 12.05.2018)

²²¹ <https://www.solarprofis.ch/fr/campagne/les-installations-photovoltaïques-ne-sont-pas-belles/> (consulté le 10.05.2018)

verraient leur action gagner en efficacité et en clarté. La planification solaire globale permet au pouvoir exécutif de se doter d'une stratégie à l'échelle du territoire de la commune et d'impliquer la population à travers un programme de mise en œuvre. Enfin, cet outil donne à chaque exécutif la possibilité de développer des initiatives spécifiques de promotion de l'énergie solaire selon les priorités et capacités propres à chaque commune. L'étude d'une planification solaire pourrait entrer en ligne de compte comme une action concrète valorisable pour les villes qui souhaitent devenir *Cité de l'énergie*, qui doivent renouveler leur label ou qui visent à atteindre le niveau supérieur (p. ex. *European Energy Award®GOLD*).

- les propriétaires disposent d'un outil qui leur permet de connaître le potentiel d'énergie solaire de leur bien ainsi que les enjeux patrimoniaux présents ou non, ce qui va leur permettre de définir clairement les exigences à faire valoir auprès des installateurs, surtout en ce qui concerne les modalités d'intégration architecturale des installations solaires et la productivité espérée. Une simple check-list de marche à suivre et de points à vérifier en vue du contact avec l'installateur pourrait être envisagée pour structurer l'entrée en matière. Élaborée avec le soutien du canton et de la commune, cette check-list pourrait être mise au point en partenariat avec les associations professionnelles concernées.
- les installateurs disposent d'un outil qui leur permet de savoir si l'objet présente des enjeux patrimoniaux avec des critères particuliers pour la réalisation de l'installation solaire, ce qui peut nécessiter le recours à des solutions sur mesure ainsi qu'un temps de mise en œuvre plus important, avec un montant financier correspondant clairement identifié. La check-list proposée ci-dessus pourrait être complétée par un volet spécifique « installateurs » dûment réfléchi et partagé par les associations faîtières.

La sensibilisation des autorités communales à l'intérêt d'engager une planification solaire globale à l'échelle de leur territoire peut se faire à travers une brochure explicative de qualité, le Guide de la planification solaire globale, publié conjointement par les offices fédéraux concernés – Office fédéral de la culture OFC et Office fédéral de l'énergie OFEN – qui auront obtenu au préalable l'adhésion des cantons après présentation du projet, par exemple à la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie EnDK et à la Conférence des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement DTAP.

Les communes qui auront adhéré au projet et qui disposeront d'une étude de planification solaire auront tout intérêt à informer leur population de l'existence de cette étude, avec sa cartographie et ses fiches de périmètres.

Les autorités municipales devront en premier lieu cibler les propriétaires (ou leur représentants) ainsi que les professionnels de la branche (architectes, bureaux d'études, entreprises proposant des installations solaires photovoltaïques ou thermiques, consultants, couvreurs, ferblantiers) soit par le biais d'un courrier d'information personnalisé, soit en les conviant à une soirée d'information.

À l'inverse, les associations professionnelles cantonales pourraient inviter les représentants communaux à présenter leur planification solaire lors de réunions professionnelles (assemblée annuelle, séminaires de formation continue).

Selon le dynamisme de la commune concernée, elle pourrait aussi profiter d'autres événements publics en lien avec le patrimoine (Journées du patrimoine) ou le solaire (promotion de subsides, promotion de coopératives solaires, bourses solaires) pour informer la population de l'existence de la planification solaire globale.

Pour mobiliser encore plus les communes, l'OFC pourrait stimuler la diffusion de la planification solaire en mettant en ligne sur son site une carte dynamique, régulièrement mise à jour, recensant les communes qui disposent d'une planification solaire. Il s'agit d'évaluer si ce genre d'action pourrait être réalisé en association avec le label *Cité de l'énergie*.

9.1.3 Axe 3 : la planification solaire à l'échelle d'une commune, une valeur ajoutée pour les professionnels

Après les élus et les services municipaux, après les propriétaires et la population, il est important de communiquer auprès des milieux professionnels, qui sont ceux qui au final conseillent, proposent des solutions, réalisent les installations, et à qui on demande d'être le meilleur marché possible. Pour agir à ce niveau, il faut impérativement passer par les associations faîtières cantonales et/ou nationales et être en mesure de proposer des solutions concrètes présentant un intérêt, technique ou d'image, pour la profession :

- Une **check-list** à l'intention des propriétaires et des professionnels (cf. 9.1.2). Les check-list constituent un bon outil de dialogue et de travail qui contribue à mettre en confiance tant le propriétaire, souvent inexpérimenté dans le domaine du patrimoine et de l'énergie solaire, que le spécialiste qui par ce biais se trouve être plus responsabilisé. Des actions dans ce sens se font dans le cadre de projets de l'OFEN, en partenariat avec des associations faîtières comme swissolar²²², suissetec²²³ et SIA/FAS.

Une autre possibilité d'action intéressante serait de pouvoir s'inscrire dans le cadre du label de qualité Les pros du solaire²²⁴ soutenu par swissolar et l'OFEN. L'obtention de ce label est soumise à des règles de qualité, dont celle de suivre régulièrement des modules de formation. C'est à ce niveau que l'OFC serait intéressé à proposer un module ad-hoc orienté *planification solaire globale et culture du bâti*.

- L'OFC pourrait mettre sur pied un prix annuel récompensant la réalisation d'installations solaires ayant fait l'objet d'un soin particulier en matière de respect du patrimoine, pour autant que ces réalisations se trouvent dans des communes disposant d'une planification solaire globale.

9.2 LE GUIDE DE LA PLANIFICATION SOLAIRE GLOBALE

Le *Guide de la planification solaire globale* revêt une importance stratégique de premier ordre, car il donne une assise officielle à la démarche. De ce document va dépendre l'acceptation des collectivités publiques : si elles sont acquises à la cause, elles prendront le relais dans la réalisation de planifications solaires. La production d'un tel document doit être confiée à des spécialistes en communication. Ces derniers jugeront par exemple :

- de la manière d'y présenter la méthodologie et avec quel degré de finesse,
- de comment expliquer les ressources techniques préalables et les compétences multidisciplinaires indispensables pour mener une telle étude,
- des exemples à y faire figurer (combien et quelles fiches de périmètres),
- de comment présenter l'engagement financier de la commune pour la réalisation d'une telle planification,
- de l'opportunité d'un insert spécifique à chaque canton (ex. mécanismes de soutien financier aux études, lien avec la politique patrimoniale et la politique énergétique en vigueur, autres spécificités).

²²² <https://www.swissolar.ch/fr/>

²²³ <https://www.suissetec.ch/fr/>

²²⁴ <https://www.solarprofis.ch/fr/pourquoi-un-pros-du-solaire/label-qualite-les-pros-du-solaire/>

ABRÉVIATIONS

CA	courant alternatif
CAD	chauffage à distance
CC	courant continu
CCF	centrale chaleur force
CET	Concept énergétique territorial
CGE	Conception générale de l'énergie du canton de Genève
CVSE	chauffage ventilation sanitaire électricité
ECS	eau chaude sanitaire
EGID	Numéro fédéral de bâtiment
FTI	Fondation des terrains industriels Genève
GIS	Geographic Information System
GRU	Rétribution unique pour grandes installations photovoltaïques (> 100 kWc)
GWh	Gigawattheure
IDC	indice de dépense de chaleur
ISOS	Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse
kW	kilowatt
kWc	kilowatt crête
kWh	Kilowattheure
LAT	Loi fédérale sur l'aménagement du territoire
LPN	Loi fédérale de protection de la nature et du paysage
Lux	unité de mesure de l'éclairement lumineux
mV	millivolt
MW	megawatt
MWh	Mégawattheure
NZEB	Near Zero Energy Building
OAT	Ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire
OCEN	Office cantonal de l'énergie, Genève
OCSTAT	Office cantonal de la statistique, Genève

OFC	Office fédéral de la culture
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OPS	Office cantonal du patrimoine et des sites, Genève
NO _x	Oxyde d'azote
PAC	Pompe à chaleur
PAV	Praille – Acacias – Vernets
PBC	Inventaire des biens culturels d'importance nationale et régionale
PDQ	Plan directeur de quartier
PLQ	Plan localisé de quartier
PRU	Rétribution unique pour petites installations photovoltaïques (< 100 kWc)
PV	Solaire photovoltaïque
RPC	Rétribution à prix coûtant
RU	Rétribution unique
SBP	Surface brute de plancher
SIA	Société suisse des ingénieurs et architectes
SIG	Services industriels de Genève
SITG	Système d'information du territoire genevois
SRE	Surface de référence énergétique
SRI	Système de rétribution de l'injection
TH	Solaire thermique
W	Watt

GLOSSAIRE DE L'ÉTUDE

A

adaptabilité (du périmètre)

Capacité d'un périmètre à accueillir des installations solaires sans porter atteinte à la culture du bâti. L'étude distingue 4 types de périmètres en fonction de leur adaptabilité : périmètre très adapté à la pose d'installations solaires, périmètre adapté, périmètre adapté sous conditions, périmètre non adapté.

B

besoins électriques

Besoins électriques totaux des bâtiments par périmètre (éclairage, appareils, technique du bâtiment), estimés par classe d'affectation selon la norme SIA 380/4. Unité : MWh/an.périmètre.

besoins non couverts

Besoins thermiques ou électriques totaux non couverts par la production d'énergie solaire sur les toitures et façades du périmètre. Unité : MWh/an.périmètre et %.

besoins thermiques

Besoins thermiques totaux des bâtiments de logements individuels et collectifs par périmètre pour produire l'eau chaude sanitaire, estimés selon la norme SIA 380/1. Unité : MWh/an.périmètre.

C

cadastre solaire

Cadastre solaire du canton de Genève (mise à jour fin 2016) analysant l'irradiation brute et le potentiel de production énergétique thermique et électrique sur les toitures et autres surfaces utiles (abris, parking en surface) du canton. Disponible sur : <https://sitg-lab.ch/solaire> et https://www.etat.ge.ch/geoportail/pro/?mapresources=ENERGIE_SOLAIRE

capteur plan vitré

Technologie la plus répandue pour transformer le rayonnement solaire en chaleur et chauffer l'eau chaude sanitaire, voire les locaux. Le vitrage permet de bloquer le rayonnement infrarouge et de garder la chaleur.

compensation

Dans le cadre d'une planification globale, des mécanismes de partage entre périmètres « exportateurs » et périmètres « demandeurs » (compensation) permettent d'obtenir un niveau de couverture des besoins élevé à l'échelle de l'ensemble de la commune, selon des objectifs définis en amont.

couverture potentielle des besoins

Ratio par périmètre entre la production énergétique potentielle (thermique ou électrique) et les besoins (eau chaude ou électricité). Unité : %.

culture du bâti

Englobant toutes les activités humaines qui transforment notre espace de vie, la culture du bâti appréhende l'environnement bâti dans sa globalité et comprend aussi bien l'architecture et le génie civil que l'urbanisation et l'aménagement du territoire et du paysage.

D

disponibilité des toitures

Voir toitures exploitables (part de)

disponibilité des toitures (indice de)

Voir toitures exploitables (part de)

E

enjeux patrimoniaux

Les enjeux patrimoniaux concernent tous les bâtiments, objets et sites d'une commune bénéficiant de mesures de protection fédérales ou cantonales, considérés dignes de protection, de conservation, documentés ou recensés, qui contribuent à la qualité d'ensemble de l'environnement bâti existant et font partie intégrante de la culture du bâti. La liste exhaustive des bâtiments, objets et sites à enjeux patrimoniaux de la commune est fournie par le service de conservation compétent.

irradiation solaire annuelle brute

Radiation globale solaire (directe, diffuse et réfléchie) incidente sur une surface de toiture ou de façade. Unité : kWh/m²/an.

installations solaires existantes

Installations solaires existantes référencées sur les bâtiments sans contrainte, d'après les données fournies par les SIG pour les panneaux PV et OCEN pour les panneaux thermiques. Unités : MWh/an.périmètre pour la production énergétique et m²/périmètre pour les surfaces installées.

M

monocristallin

Technologie permettant de transformer le rayonnement solaire en électricité à travers des cellules constituées de cristal de silicium de grande pureté et de taille homogène améliorant ainsi le rendement par rapport aux cellules polycristallines.

mutualisation

La mutualisation peut prendre plusieurs formes selon le contexte :

- mutualisation territoriale de sites de production avec des sites proches de consommation (par le biais du réseau électrique) dans l'objectif d'augmenter globalement la part dite d'autoconsommation,
- mutualisation de moyens financiers pour réaliser des installations solaires à travers un regroupement d'investisseurs par exemple sous forme de coopérative.

P

parties exploitables des toitures

Parties des toitures bien irradiées (seuil fixé à > 1000 kWh/m²/an), comprises à minimum 1m des bordures et autres obstacles encombrants et d'une surface minimale de 5 m² au moins.

périmètre

Partie du territoire communal présentant des caractéristiques communes du point de vue historique, urbanistique, d'aménagement, d'affectation, etc. La définition de périmètres cohérents constitue la 1^{ère} étape de la planification globale.

périmètre « demandeur »

Périmètre à faible potentiel solaire pouvant bénéficier d'un mécanisme de compensation avec des périmètres à fort potentiel « exportateurs ».

périmètre en mutation

Périmètre dont une partie du tissu bâti existant doit connaître une transformation à l'horizon de l'étude (2030), avec un nombre significatif de bâtiments remplacés et un impact important sur le potentiel solaire envisageable. La mutation peut être forte ou partielle ; elle concerne aussi les périmètres à urbaniser.

périmètre « exportateur »

Périmètre à fort potentiel solaire pouvant potentiellement produire, en valeur absolue, une grande quantité d'énergie solaire « exportable » vers des périmètres « demandeurs » soit via des réseaux énergétiques (TH) ou à travers des mécanismes de compensation (PV).

périmètre stable

Périmètre dans lequel les transformations prévisibles (horizon 2030) du tissu bâti existant sont marginales, sans impact sur le potentiel solaire.

polycristallin

Technologie la plus répandue pour transformer le rayonnement solaire en électricité à travers des cellules constituées de cristal de silicium de différentes grandeurs, avec un coût mais aussi un rendement réduit par rapport aux cellules monocristallines.

potentiel des bâtiments sans contrainte

Production thermique ou électrique totale par périmètre et surface de panneaux correspondante potentielles sur les bâtiments sans contrainte. Unités : MWh/an.périmètre (production), m²/périmètre (surface panneau).

potentiel des bâtiments à enjeux patrimoniaux

Production thermique ou électrique totale par périmètre et surface de panneaux correspondante potentielles sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux. Unités : MWh/an.périmètre (production), m²/périmètre (surface panneau).

potentiel manquant

Part des besoins thermiques ou électriques non couverts à l'échelle périmètre par la production potentielle d'énergie solaire sur les bâtiments à enjeux patrimoniaux et sans contrainte. Unités : MWh/an.périmètre et %.

priorité (élevée / moyenne / faible)

bvhfg

production solaire potentielle

Quantité d'énergie électrique ou thermique totale par périmètre pouvant potentiellement être produite annuellement par la surface totale de capteurs installable. Unité : MWh/an.périmètre.

puissance de crête

Puissance maximale pouvant être soutirée d'une installation solaire PV dans des conditions standards (irradiance ou éclairage énergétique de 1000 W/m² et température des panneaux de 25°C notamment). Unité : kWc.

puissance installée

Puissance totale maximale installée par périmètre. Unité : kWc/périmètre.

puissance installable

Voir *puissance potentielle*

puissance potentielle

Puissance totale maximale par périmètre pouvant être installée sur les surfaces de toiture exploitables. Unité : kWc/périmètre.

R

rendement solaire

Part effective de l'irradiation solaire brute transformée en énergie valorisable électrique ou thermique, selon la technologie utilisée. Le rendement de production thermique d'un capteur plan vitré se situe entre 330 kWh and 540 kWh/m²/an pour le chauffage de l'eau (source : Swissolar). Le rendement d'un panneau PV polycristallin se situe entre 14 et 18%, et entre 16 et 24% pour un panneau monocristallin (source : Swissolar). Unité : %.

S

sans contrainte (bâtiment / périmètre)

Bâtiment, objet ou site ne figurant pas sur la liste exhaustive des bâtiments, objets et sites à enjeux patrimoniaux de la commune fournie par le service de conservation compétent.

statut (du périmètre)

Désigne la capacité de chaque périmètre à contribuer de façon économique, efficace, effective et simple à la production d'énergie solaire sur le territoire communal, avec 3 niveaux de priorité pour la valorisation de cette ressource : élevée, moyenne, faible.

surface de référence énergétique

Selon la définition de la norme SIA 380:2015, la surface de référence énergétique (Ae) est la somme de toutes les surfaces de plancher des étages et des sous-sols qui sont inclus dans l'enveloppe thermique. Unité : m².

surface de capteurs installables

Surface totale du champ de capteurs installables. Unité : m².

Pour le TH (ECS), dans le cas de toitures en pente, les surfaces installables correspondent au maximum aux parties exploitables des toitures. Cependant comme le rendement des panneaux baisse avec l'augmentation de la surface de captage, une limite est fixée à 1,5 m²/habitant. Dans le canton de Genève, le nombre d'habitants par bâtiment est déterminé à partir des statistiques de la population à l'adresse (OCSTAT), complétées par les valeurs spécifiques de la SIA lorsque pas de données par l'OCSTAT. Pour les toitures plates (seuil de pente à 10°), il s'agit de disposer les panneaux TH en shed avec une inclinaison définie à 30°, afin de favoriser production en hiver et atténuer la surproduction estivale. Pour éviter les ombrages mutuels, il convient d'espacer les panneaux. Il en résulte une utilisation d'environ 40% des parties exploitables des toitures, à concurrence d'au maximum 1,5 m²/hab.

Pour le PV, dans le cas de toitures en pente, les surfaces de capteurs correspondent aux parties exploitables. Pour les toitures plates (seuil de pente à 10°) il s'agit de disposer les panneaux PV en shed avec une inclinaison définie à 10°. Pour éviter les ombrages mutuels, il convient d'espacer les panneaux. Il en résulte une utilisation d'environ 70% des parties exploitables.

surface de toitures exploitables

Dans le cas de toitures en pente, la surface de toiture exploitable est égale à la surface de capteurs installables. Dans le cas de toitures plates on tient compte du facteur shed (40% pour le TH et 70% pour le PV) pour déterminer la surface de toiture exploitable / mobilisée. Unité : m².

surface totale de toitures du périmètre

Surface totale brute de toutes les toitures dans un périmètre donné. Unité : m².

T

toitures exploitables (part de)

Ratio entre la surface totale de toiture exploitable et la surface totale brute des toitures du périmètre. Ce ratio donne à l'échelle du périmètre une information sur le pourcentage exploitable de toitures, et constitue ainsi un indicateur de prédisposition du périmètre à accueillir des installations solaires (ex. pour un quartier avec toitures bien irradiées et peu encombrées, le ratio sera proche de 100%).

V

valorisation de l'énergie solaire

Transformation de l'énergie solaire captée par les panneaux disposés en toiture ou façade en services énergétiques : électricité par les panneaux PV et chaleur par les panneaux thermiques.

PUBLICATIONS ET RÉFÉRENCES CONSULTÉES

La planification solaire globale utilise comme référence principale, mais pas exclusive, le *Système d'information du territoire genevois (SITG)* et ses volets énergie, solaire, aménagement, patrimoine, cartographie historique.

<http://ge.ch/sitg/cartes/professionnelles>

BASES LÉGALES ET DIRECTIVES

Bases légales et directives fédérales

Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT, RS 700), du 22 juin 1979

Loi fédérale sur l'énergie (LEne, RS 730.0), du 30 septembre 2016

Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN, RS 451.0), du 1^{er} juillet 1966

Stratégie énergétique 2050, <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/index.html?lang=fr>

Bases légales et directives canton de Genève

Loi cantonale sur les constructions et installations diverses (LCI L5 05), du 14 avril 1988, République et canton de Genève

Loi cantonale sur l'énergie (L En L2 30), du 18 septembre 1986, République et canton de Genève

Loi cantonale sur la protection des monuments, de la nature et des sites (LPMNS L4 05), du 4 juin 1976, République et canton de Genève

Loi cantonale sur la protection générale et l'aménagement des rives de l'Arve (LPRArve L4 16), du 4 mai 1995, République et canton de Genève

Loi cantonale relative à l'aménagement du quartier « Praille – Acacias – Vernets », modifiant les limites de zones sur le territoire des Villes de Genève, Carouge et Lancy (création d'une zone 2, de diverses zones de développement 2, d'une zone de verdure et d'une zone de développement 2 prioritairement affectée à des activités mixtes) (L 10'788), du 23 juin 2011, République et canton de Genève

Directive relative à l'installation de panneaux solaires, Office cantonal de l'énergie, République et canton de Genève, 2015

http://ge.ch/energie/media/energie/files/fichiers/documents/directive_solaire_vfinale_1_12_15.pdf

CULTURE DU BÂTI ET PATRIMOINE

Études et références générales

Commission fédérale des monuments historiques, *Principes pour la conservation du patrimoine culturel bâti en Suisse*, vdf Hochschulverlag, Zurich, 2007

« Culture du bâti. Un défi de la politique culturelle », *Manifeste de la table ronde culture du bâti en Suisse*, juin 2011 <http://www.sia.ch/fr/themes/culture-du-bati/>

Déclaration de Davos 2018, Conférence des Ministres de la culture, 20-22 janvier 2018

<https://davosdeclaration2018.ch/media/Document-de-contexte-fr.pdf>

Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS, publié par le Département fédéral de l'intérieur, hiver 1983 / 84, Berne
https://dav0.bgdi.admin.ch/isos/ISOS_1812.pdf)

Inventaire des biens culturels d'importance nationale et régionale PBC, 2010
<http://www.babs.admin.ch/fr/aufgabenbabs/kgs/inventar.html>

Études et références pour le canton de Genève et Carouge

Arikok E., Frommel B., *Étude historique et patrimoniale du secteur Praille – Acacias – Vernets*, Direction du patrimoine et des sites, Département des constructions et des technologies de l'information, République et canton de Genève, juin 2006

Assemblage des planifications directrices de la Ville de Carouge, Carouge / urbaplan, novembre 2017 (plan 1:12'550)

Bâtir une ville au siècle des lumières, Carouge : modèles et réalités. Colloque 29 mai – 30 septembre 1986, Torino

Charollais, I., Lamunière J.-M., Nemec M., *L'architecture à Genève 1919-1975*, Lausanne, 1999

Descriptif des zones d'affectations, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, Office de l'urbanisme, République et canton de Genève, mars 2014

Dictionnaire carougeois, Urbanisme et architecture à Carouge, Tomes III a et B, s.l.n.d

Inventaire suisse d'architecture 1850 – 1920 : Genève INSA, vol. 4, Société pour l'histoire de l'art en Suisse, Berne, 1982

Inventaire des voies de communication historiques de la Suisse IVS, canton de Genève, Berne, 1996

Kunstführer durch die Schweiz, vol. 2, Berne, 1976

Plan directeur cantonal Genève 2030, adopté par le Grand Conseil le 20 septembre 2013 et approuvé par le Conseil fédéral le 29 avril 2015, République et canton de Genève
<http://ge.ch/amenagement/plan-directeur-cantonal-2030>

Plan directeur communal de Carouge et plan directeur des chemins pour piétons, adopté par le Conseil municipal le 25 juin 2009 et approuvé par le Conseil d'État le 14 septembre 2009
<http://ge.ch/amenagement/pdcom-carouge>

Plan directeur de quartier PAV Praille – Acacias – Vernets No 29'951, approuvé par le Conseil d'État le 1^{er} avril 2015, République et canton de Genève, Ville de Genève, Ville de Carouge, Ville de Lancy

Plan guide Carouge Est, Ville de Carouge, 2011, mis à jour 2016, Bassicarella architectes

Recensement du patrimoine architectural et des sites du canton de Genève, Service des monuments et sites, Office du patrimoine et des sites, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie [Carouge 1983 / secteur Pinchat 1991 / secteur Drize 1991 / secteur Tannerie 2004]

Recensement architectural de la périphérie urbaine, Service des monuments et sites, Office du patrimoine et des sites, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, 1989-1993

Recensement des logements économiques, Service des monuments et sites, Office du patrimoine et des sites, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, 2004

Recensement du patrimoine industriel du canton de Genève, Pascal Tanari, Bénédicte Frommel, Service des monuments et sites, Office du patrimoine et des sites, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, 2006

Recensement Addor, Service des monuments et sites, Office du patrimoine et des sites, Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, 2013

Stratégie d'aménagement Carouge Sud, Ville de Carouge, RGR, Gren, urbaplan, 2015

Un siècle d'architecture à Genève XX^e, Patrimoine Suisse Genève, Gollion, 2009

ÉNERGIE

Études et références générales

Comparaison de technologie: chaleur solaire et photovoltaïque. Rapport du Conseil fédéral donnant suite au postulat 11.3350, Theophil Pfister du 13 avril 2011 et à la motion 11.3417, Groupe BD, du 14 avril 2011

DETEC, *Fiche d'information « Encouragement des nouvelles énergies renouvelables »*, 21 mars 2017

Directives Installations de production d'énergies renouvelables non soumises au régime du permis de construire, Conseil-exécutif du canton de Berne, janvier 2015

Frontini F., Ferrazzo M., Chatzipanagi A., Rudel R., *Building integrated photovoltaic : challenges for manufacturers and designers*, Institute for Applied Sustainability to the Built Environment (ISAAC), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana SUPSI, s.d

Frontini F., Friesen T., Chatzipanagi A., Zanetti I., *Concepts for solar integration in historical buildings*, Institute for Applied Sustainability to the Built Environment (ISAAC), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana SUPSI, s.d

Modèle de prescriptions énergétiques des cantons MoPEC 2014

<https://www.endk.ch/fr/documentation/communiqués-de-presse/01-05-15-medienmitteilung-1>

Moth-Pulsen Karl & alii, *Exploring the potential of a hybrid device combining solar water heating and molecular solar thermal energy storage*, in : Energy & Environmental Science 03/2017

Renewables 2016, Global Status Report. REN 21 Renewable Energy Policy Network, Becquerel Institute, PVSEC 2016

Richtlinie für Solaranlagen im Kanton Basel-Stadt, Canton de Bâle Ville, janvier 2013

Solar Energy Report, Politecnico di Milano, avril 2014

Polo Lopez C, Frontini F., « Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings », SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Freiburg im Brisgau, septembre 2013

Suisse énergie, *Guide pratique des installations solaires (version longue)*, 2^e édition, juillet 2017

Swissolar, *Chaleur et électricité par la force du soleil*, 2015

Swissolar, *Chaleur solaire*, Branchen Faktenblatt, juillet 2017

Swiss BIPV Competence Centre, Institute for Applied Sustainability to the Built Environment (ISAAC), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana SUPSI,
<http://www.bipv.ch/index.php/en/>

Études et références pour le canton de Genève et Carouge

Amstein + Walthert, *Étude énergétique stratégique Carouge - Arve (Les Tours, Vieux-Carouge, Carouge Est, La Fontenette)*, Service de l'énergie, État de Genève, 2012

Conception générale de l'énergie 2013, République et canton de Genève, adoptée par le Grand Conseil en septembre 2015

<http://ge.ch/grandconseil/data/texte/RD00986.pdf>

<http://ge.ch/grandconseil/data/loisvotee/RV00732.pdf>

Concepts énergétiques territoriaux (CET) de Carouge. En particulier : CET 2010-02 Les Moraines (PLQ 29'775), CET 2011-11 Aménagement Carouge Sud, CET 2011-13 Ilot des Menuisiers (PLQ 29'767), CET 2013-03 Rondeau de Carouge (PLQ 29'774) et CET 2014-07 Battelle (PLQ 29 '972)

<ftp://ftp.etat-ge.ch/incoming/scane/Planif/CET/>

CSD Ingénieurs, *PDQ PAV - Concept énergétique territorial*, Service de l'énergie, État de Genève, 2012

CSD Ingénieurs SA, *Plan directeur de quartier « Praille – Acacias – Vernets »*. Approche de mise en œuvre des stratégies énergétiques. Rapport d'étude, novembre 2015

Desthieux, G., Carneiro, C., Morello, E., *Cadastre solaire du Canton de Genève*. Rapport final à l'intention de l'État de Genève, 2011

Desthieux, G., Gallinelli, P., Camponovo, R., *Cadastre solaire du Canton de Genève, Phase 2 - analyse du potentiel de production électrique par les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques*. Rapport final à l'intention de l'Etat de Genève, 2014

Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et le projet de conception générale de l'énergie 2013, Grand Conseil, République et canton de Genève, 2013

Rapport de la Commission de l'énergie et des Services industriels de Genève chargée d'étudier le Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et le projet de conception générale de l'énergie 2013, Grand Conseil, République et canton de Genève, 2015