Le Potentiel Solaire dans le Canton de Genève

Analyse et Evaluation du Potentiel Solaire - Photovoltaïque et Thermique - dans le Parc Immobilier Public du Canton de Genève

Rapport Technique

Novembre 2004

élaboré par:

NET Nowak Energie & Technologie SA

Waldweg 8

CH-1717 St. Ursen

à l'attention du

Scan-E - Service Cantonal de l'Energie

Table des matières

1 Introduction 3
1.1 Contexte 3
1.2 Objectifs et Délimitations 3
1.3 Structure 3

2 Méthodologie 4
2.1 Définitions 4
2.2 Approche 7
2.3 Caractéristiques Solaires 8
2.4 Caractéristiques Architecturales 10

3 Résultats 15
3.1 Parc Immobilier Public 15
3.2 Irradiation Solaire 18
3.3 Surfaces Utilisables 22
3.4 Potentiel Energétique 24
3.5 Bâtiments DAEL 31

4 Résumé, Conclusions et Perspectives 35
4.1 Résumé 35
4.2 Conclusions Brèves en Rapport avec le Plan Directeur Cantonal de l'Energie 43
4.3 Perspectives 45

5 Sources et Références 48

1 Introduction

1.1 Contexte

Basé sur la proposition de motion (1461) concernant l'inventaire des toitures pour la production d'énergie renouvelable, le Grand Conseil de la République et canton de Genève a invité le Conseil d'Etat:

„à effectuer l'inventaire des surfaces utilisables sur les bâtiments publics et à entreprendre une étude succincte de faisabilité technique et d'opportunité énergétique pour des installations solaires thermiques et photovoltaïques (...)"

Sur mandat du Service cantonal de l'énergie (ScanE) la NET Nowak Energie & Technologie SA (NET SA) a procédé à l'analyse et l'évaluation du potentiel solaire - photovoltaïque et thermique - dans le parc immobilier public du canton de Genève.

1.2 Objectifs et Délimitations

L'analyse du parc immobilier public a pour but de déterminer les surfaces utilisables pour l'énergie solaire - photovoltaïque et thermique. L'approche adoptée est statistique et permet de rassembler des informations qui peuvent contribuer à la bonne définition, conceptualisation et mise en application d'une stratégie qui vise à faciliter l'intégration des systèmes solaires dans le parc immobilier public.

1.3 Structure

Le rapport comprend trois volets:

- Méthodologie
- Résultats
- Conclusions

Un fichier complet des données statistiques et morphologiques est joint en annexe électronique.

2 Méthodologie

La méthodologie appliquée est essentiellement définie par cinq éléments:

- Géométrie solaire (irradiation)
- Architecture des bâtiments (morphologie)
- Technologies des installations solaires
- Données statistiques relatives au parc immobilier
- Outils d'exploitation (comme par exemple les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), le Système d'Information du Territoire Genevois (SITG), les logiciels pour systèmes solaires, la base de données météorologiques, etc.)

Plus d'informations sont données dans les paragraphes suivants:

- Le chapitre „Définitions" traite des technologies et des sources des données.
- Le chapitre „Approche" explique la géométrie solaire et l'architecture des bâtiments dans le contexte genevois.

2.1 Définitions

Les définitions suivantes sont destinées à clarifier certains termes utilisés dans la motion.

Energie

La motion 1461 concerne „l'inventaire des toitures pour la production d'énergie **renouvelable**". En même temps, le Grand Conseil de la République et canton de Genève invite le Conseil d'Etat „à effectuer l'inventaire des surfaces utilisables sur les bâtiments publics et à entreprendre une étude succincte de faisabilité technique et d'opportunité énergétique pour des installations **solaires** thermiques et photovoltaïques (...)".

L'« énergie" focalisée dans cette analyse est

a) l'énergie solaire irradiée
b) sur une surface définie
c) pendant une période définie.

L'unité de référence est de kiloWattheures par m^2 par année (kWh/m^2y).

Technologie

Les installations **solaires** thermiques et photovoltaïques sont des technologies solaires actives. Des systèmes solaires actifs transforment „activement" l'irradiation solaire afin de l'utiliser sous forme énergétique. Les installations solaires **thermiques** „produisent" de la chaleur pour l'eau sanitaire ou pour le chauffage. Les installations solaires **photovoltaïques** „produisent" de l'électricité qui peut être consommée sur place et / ou injectée dans le réseau.

Bâtiments (publics)

Il existe tout un éventail pour la définition d'un bâtiment, le plus souvent il est défini et délimité par les murs extérieurs ou anti-feu. Dans cette analyse, le bâtiment est défini par les délimitations retenues dans le SITG. Quelques exemples sont donnés dans les graphiques ci-dessous.

Graphique 1: Exemple de bâtiments définis par le SITG. Les bâtiments correspondent à l'image „qu'on se fait d'un bâtiment". Les délimitations en rouge suivent bien les „bâtiments visibles". Source: SITG

Graphique 2: Exemple de bâtiments définis par le SITG. En bas, les quatre objets visibles créent une seule entité. Les délimitations en rouge suivent les contours des quatre objets visibles. Source: SITG

Les types de bâtiments visés sont des „bâtiments publics“, terme qui s'avère complexe et appelle quelques observations dans le contexte du SITG et du registre foncier:

- Le terme de „bâtiments publics“ est flou.
- Juridiquement, c'est plutôt le terme d' „immeuble“ qui est appliqué. Il n'y a pas de notion de „bâtiment public“.
- „Public“ peut se référer au propriétaire qui est „public“ s'il s'agit d'une collectivité de droit public.
- La propriété publique se réfère à la parcelle, donc c'est uniquement indirectement par la parcelle que le bâtiment public peut être défini.
- Il y a 21 types de propriétaires „publics“ - des collectivités de droit public (voir tableau en bas).

En conclusion, le SITG définit un „bâtiment public“ de manière indirecte par le biais du type de propriétaire de la parcelle sur laquelle se trouve le bâtiment.

Tableau 1: Liste des propriétaires „publics“ - des collectivités de droit public. Source: SITG

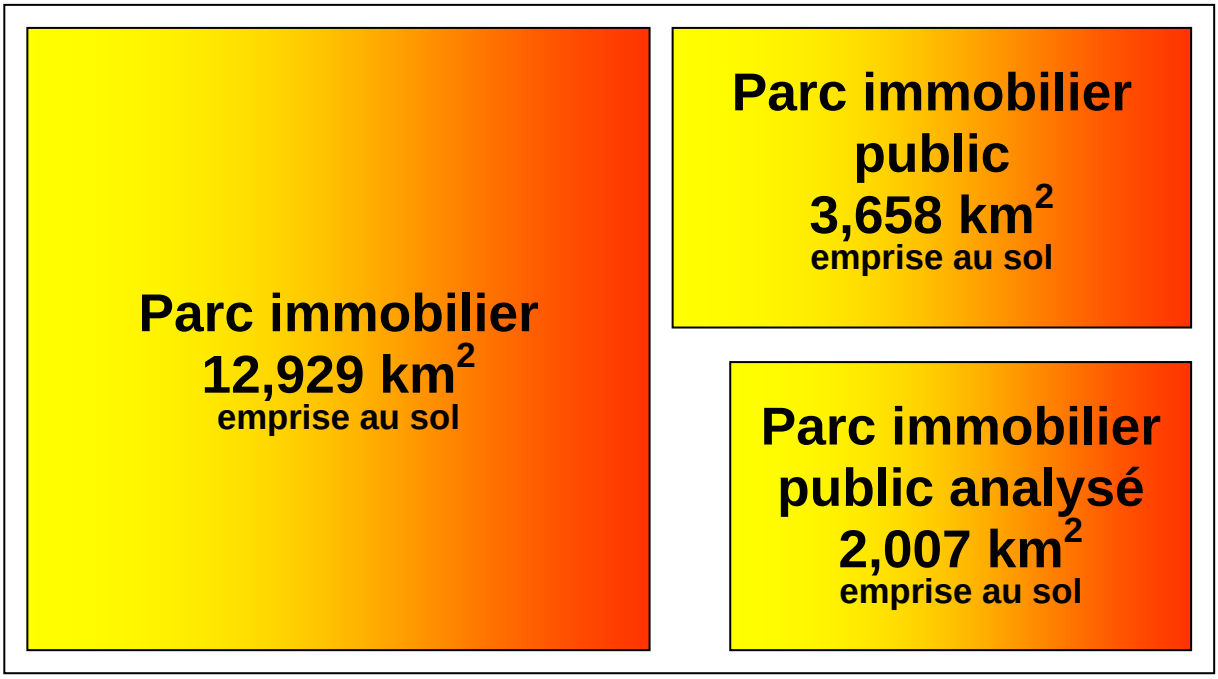
Canton CH	CAP	CEH
CFF	CIA	Communes
Confédération	CPP	Etat de Genève
Etat de Genève COP	Etat étranger	FIPOI
FTI	Hospice général	Hôpital
Organisation internationale	SIG	Swisscom PTT
TPG	Université	Ville de Genève

Dans une première étape, le ScanE a fixé deux critères pour définir les objets à analyser:
a) propriétaire et
b) emprise au sol.

a) Les trois types de bâtiments publics retenus sont les trois propriétaires publics suivants:
- Numéro 1: Etat de Genève
- Numéro 15: Ville de Genève
- Numéro 16: Communes

b) Le seuil minimum d'emprise au sol est de 300 m^2.

L'ensemble de la sélection comprend 1759 objets, ce qui correspond à 18.6% des objets du parc immobilier public et 2.3% des objets du parc immobilier global du Canton de Genève. Du point de vue „surface“, les objets à analyser couvrent 54.9% de l'emprise au sol des bâtiments publics et 15.5% de l'emprise au sol de l'ensemble des bâtiments. Le nombre d'objets s'est réduit dans le courant des analyses à 1637 pour deux raisons: a) 71 objets n'offraient pas de qualité suffisante sur les orthophotos (p.e. surexposition de la surface au soleil) et b) 51 objets étaient regroupés parce que leurs subdivisions étaient dues au fait qu'ils se retrouvaient sur des parcelles différentes.



Graphique 3: L'emprise au sol de l'échantillon pré-sélectionné par deux critères de propriétaires et d'emprise au sol.

Dans une deuxième étape, le ScanE a sélectionné les bâtiments gérés par le DAEL et ayant une surface potentiellement utilisable pour le solaire de plus de 1000 m^2 pour une analyse plus approfondie (effectuée par M. André Mermoud).

Inventaire

Ce mandat se limite à l'analyse et l'évaluation des objets définis par le ScanE. Il permet de cerner quelques éléments-clés qui contribuent à répondre à la motion 1461. Quelques explications détaillées seront données dans le chapitre 4 „Conclusions et Perspectives".

2.2 Approche

L'approche appliquée a déjà été validée dans plusieurs analyses - le plus souvent statistiques - sur le plan local (p.e. la Ville de Zurich), régional (p.e. le canton de Fribourg), national et international (p.e. les pays impliqués dans une étude de l'Agence Internationale de l'Energie). L'approche vise à définir et saisir les données et les outils pour une analyse cohérente et efficace du potentiel solaire dans le parc immobilier et dans les zones urbanisées. L'approche a été modifiée et adaptée aux structures genevoises pour mieux profiter des bases de données disponibles.

Le choix de l'approche

Au vu d'un nombre important d'approches possibles et leurs implications sur la nature et la qualité des résultats, il convient de situer l'approche appliquée devant quelques approches-types possibles.

- L'approche „**pragmatique**“: quand il s'agit de réaliser une ou plusieurs installations dans un très bref délai, il est indiqué de focaliser la recherche sur quelques bâtiments qui correspondent à quelques critères-clés comme p.e. grande surface, hors de la zone classée, bonne solidité de la toiture, etc. Cette approche sert **à trouver quelques toits utilisables** mais ne contribue que très peu à développer des bases de données et des stratégies pour exploiter le potentiel solaire d'un parc immobilier.
- L'approche „**architecturale**“: quand il s'agit de connaître le potentiel effectif et précis d'un bâtiment, il est indiqué d'analyser la structure de la toiture (esthétique, solidité du toit, éviter l'ombre portée par les arbres ou les bâtiments voisins ou les éléments même sur le toit comme p.e. des cheminées, mansardes, etc.) de manière détaillée. Cette approche sert surtout à **examiner correctement un toit pour y mener à bien un projet** englobant une installation solaire. Néanmoins, l'approche devient très lourde et onéreuse si un parc immobilier doit être analysé pour exploiter son potentiel solaire.
- L'approche „**statistique**“ : lorsqu'il s'agit de cerner le potentiel solaire dans un parc immobilier, il est indiqué de relever les données les plus essentielles dans un échantillon représentatif. Cette approche sert – par le biais des extrapolations statistiques - à **créer une base de données pour déterminer le potentiel solaire** et à **développer des stratégies pour exploiter le potentiel solaire d'un parc immobilier concret**. Les informations collectées et générées par bâtiment sont à utiliser pour une évaluation statistique et pour une classification des bâtiments. Néanmoins, ces informations ne remplacent guère une analyse détaillée nécessaire dans le cadre d'une installation solaire concrète.

Le chapitre 4 „Conclusions et Perspectives“ présente les implications des approches choisies dans plus de détails.

2.3 Caractéristiques Solaires

Les caractéristiques solaires sont déterminées essentiellement par:

- l'irradiation solaire sur le territoire genevois
- les surfaces qui reçoivent l'irradiation
- les obstacles qui cachent le soleil (ombre portée)

<u>L'irradiation solaire</u> ne varie pas fortement entre les différentes parties du territoire genevois, effectivement, les valeurs sont grosso modo très similaires pour les zones urbanisées.[1]
Les valeurs du site de Genève-Cointrin servent de valeurs de référence. Une surface horizontale reçoit 1205 kWh par année et par mètre carré. Cette valeur est de 1350 kWh par année et par mètre carré sur une surface orientée de manière optimale (orientation plein sud, inclinaison 30°).

Cette dernière valeur représente le point de référence pour déterminer l'aptitude des surfaces du point de vue solaire. Une surface horizontale recevant 1205 kWh par année et par mètre carré atteint donc le 89% du maximum possible (max. 100% = 1350 kWh par année et par mètre carré). Ce critère relatif est le critère le plus important dans cette approche pour décrire la qualité solaire d'une surface. Le graphique suivant reflète la qualité de toutes les surfaces possibles et mérite une explication plus détaillée.

[1] Exceptionnellement, les variations locales importantes peuvent se produire dues à l'effet albedo (réflexion de la lumière sur les surfaces selon les matériaux).

L'axe horizontal indique l'orientation[2] avec:

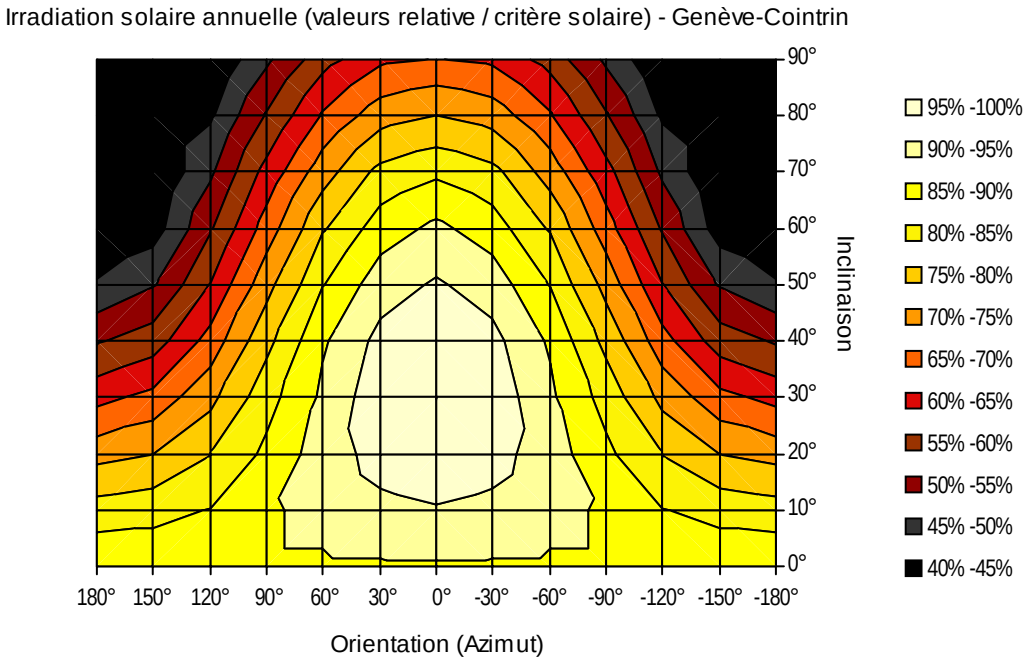
- orientation méridionale au centre, plein sud=0°
- orientation orientale vers la gauche, plein est=- 90°
- orientation occidentale vers la droite, plein ouest=90°
- orientation septentrionale vers les extrêmes, plein nord=-180° / 180°

L'axe vertical indique l'inclinaison avec:

- inclinaison maximale en haut, surface verticale=90°
- inclinaison minimale en bas, surface horizontale=0°

La qualité solaire est subdivisée en catégories de critère relatif (pas de 5°). Le graphique montre que, par exemple:

- une surface orientée plein sud atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle si son inclinaison est entre env. 2° et 62°
- une surface inclinée de 25° atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle si son orientation se trouve entre env. - 67° et 67°, donc grosso modo entre ESE et WSW.



Graphique 4: Irradiation solaire annuelle pour Genève-Cointrin représentée en termes relatifs pour toute surface définie par l'orientation (azimut) et l'inclinaison. L'irradiation en termes relatifs est à la base du critère solaire. Sources: irradiation absolue calculée avec PVSYST et Meteonorm

Il est à noter que les montants de l'irradiation solaire sur une surface et de la production d'électricité ne sont pas forcément proportionnels. On constate que plus les surfaces sont déviées de l'orientation idéale, moins d'irradiation peut effectivement pénétrer la surface du module (p.e. réflexion accrue due à l'angle d'incidence plus important). Néanmoins, l'irradiation est un très bon indicateur et il serait difficile de le „corriger" par des facteurs imprécis et nombreux pour toute sorte de surfaces et technologies photovoltaïques.

[2] L'orientation est présentées par deux manières: ici, le sud est mis égal 0°. Souvent et aussi par ailleurs dans le rapport, le nord est égal 0° et les valeurs augmente dans le sens de la montre avec, p. ex. 90° pour l'est, 180° pour le sud et 270° pour le ouest.

2.4 Caractéristiques Architecturales

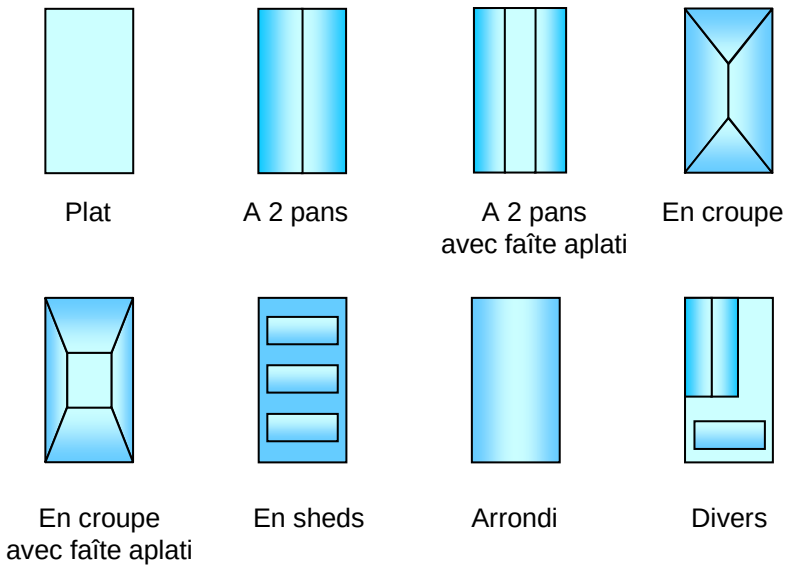
Les caractéristiques architecturales sont déterminées essentiellement par:

- la construction de base de la toiture (forme et orientation);
- les éléments faisant partie de la toiture (obstruction par cheminée, fenêtre, terrasse, construction pour la ventilation ou l'ascenseur, etc.)

La toiture est décrite par la forme, l'orientation et l'inclinaison de la toiture, plus précisément:

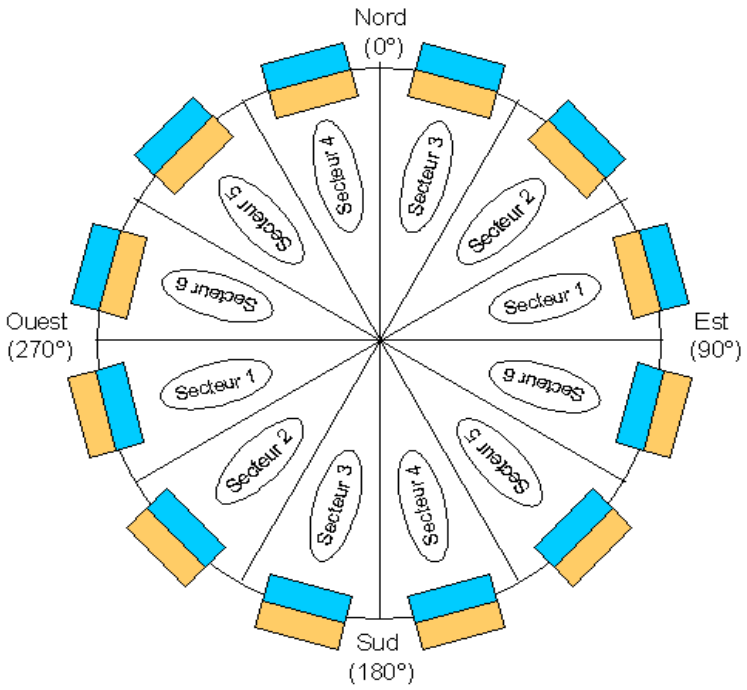
- huit types de la toiture (voir tableau ci-dessous);
- six secteurs d'orientation (voir graphique ci-dessous);
- quatre degrés d'inclinaison (voir tableau ci-dessous).

Les toitures sont classifiées selon leurs formes de base, par exemple toit plat ou toit à deux pans. Les toitures dont la construction ne correspond pas exactement à un type-modèle sont attribuées à la catégorie la plus proche. Ces informations sur la forme des toitures sont particulièrement utiles quand il s'agit de décrire le paysage des toitures du parc immobilier genevois. En plus, les types impliquent une structure et subdivision des surfaces déterminantes pour l'aptitude solaire et architecturale.



Graphique 5: Les huit types de toiture principaux - schématisés et à vol d'oiseau

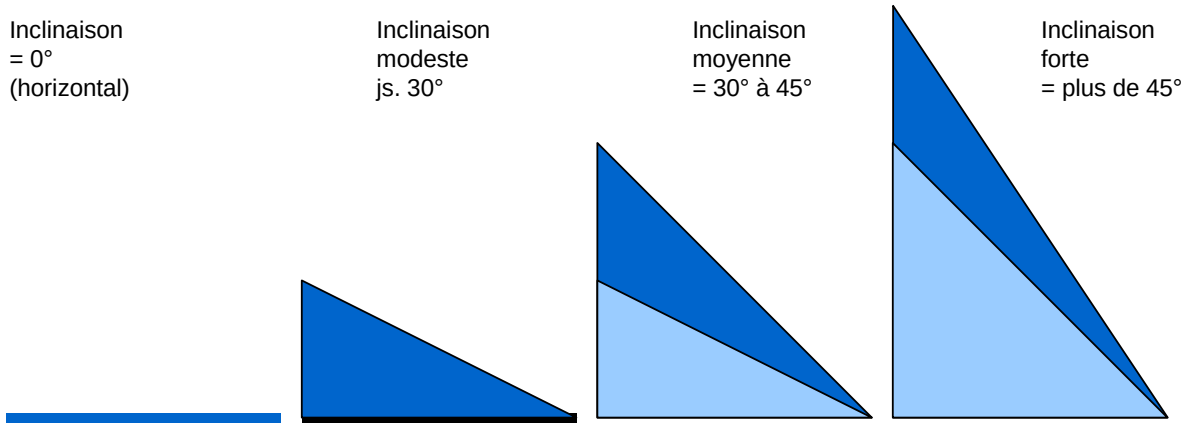
L'orientation est déterminée en fonction de l'axe principal qui est normalement donné par la direction du faîte. Outre l'axe principal, l'orientation est aussi saisie pour chaque surface jugée potentiellement utilisable. Le spectre d'orientation est subdivisé en six secteurs, chaque secteur comprend un angle de 30° (voir graphique ci-dessous). Cette catégorisation est jugée adaptée pour le dépouillement de résultats soit suffisamment précis et concis et pour une lecture efficace des données.



Graphique 6: Les six secteurs d'orientation pour les surfaces inclinées, chaque secteur comprend un angle de 30°.

A part l'orientation des surfaces, l'inclinaison joue un rôle primordial pour (évaluer) la récolte d'énergie solaire. Deux aspects sont particulièrement importants: l'inclinaison influence naturellement a) le montant d'énergie solaire irradié pour une surface donnée (par mètre carré) mais aussi b) les dimensions de la surface totale d'une toiture concernée. L'importance de ce dernier aspect s'explique par le fait que les informations „directement disponibles" en rapport avec les superficies sont les surfaces projetées au sol horizontal et non pas les surfaces réelles. Ainsi, l'emprise au sol indique la surface du bâtiment au rez-de-chaussée. La surface d'un toit plat correspond normalement à l'emprise au sol tandis que la surface des toits inclinés est plus grande et dépend essentiellement de l'inclinaison / angle (voir tableau en bas). Comme exemple, la surface d'un toit incliné de 40° est env. 31% plus grande que l'emprise au sol. Si l'emprise au sol est de 300 m^2, la surface réelle du toit est de 393 m^2, le coefficient de surface réelle est de 1.31 (voir tableau en bas).

Les orthophotos permettent une interprétation approximative de la pente des surfaces. Il est jugé adéquat de retenir quatre catégories. Les quatre degrés d'inclinaison sont déterminés en fonction de l'angle de la pente par rapport à une surface horizontale (voir graphique en bas). Cette catégorisation est jugée adaptée pour le dépouillement de résultats suffisamment précis et concis et pour une lecture efficace des données.



Graphique 7: Les quatre degrés d'inclinaison (en bleu foncé).

Tableau 2: Valeurs relatives de la toiture (en relation avec la largeur de la surface projetée sur un plan horizontal)

Inclinaison	Largeur	Hauteur	Longueur	Catégories retenues	Coefficient de surface réelle
0°	1	0	1	Plat	1
10°	1	0.20	1.02	Inclinaison modeste	1.1
20°	1	0.35	1.06		
30°	1	0.56	1.15		
30°	1	0.56	1.15	Inclinaison moyenne	1.3
40°	1	0.85	1.31		
50°	1	1.20	1.56		
50°	1	1.20	1.56	Inclinaison forte	1.6
60°	1	1.73	2		
70°	1	2.74	2.92		

L'orientation et l'inclinaison décrivent l'architecture de la toiture dans ces éléments de base (la construction). Les caractéristiques architecturales sont complétées par des indications concernant l'impact d'autres éléments (cheminée, terrasse, fenêtre, etc.) sur la qualité et l'aptitude des surfaces (l'obstruction). Ces indications sont des facteurs de réduction qui quantifient les surfaces inaptes dues à la présence de ces éléments pour deux raisons majeures: les éléments eux-mêmes occupent une partie de la surface (par exemple terrasse) et / ou projettent de l'ombre sur une partie de la surface (par exemple mansarde, cheminée).

L'interprétation des orthophotos se fait en deux étapes.

- La première étape consiste à sélectionner des surfaces potentiellement utilisable grâce à une orientation et position favorable. Les surfaces résultantes sont classifiées „surfaces avec bonne exposition". Typiquement, la partie d'une toiture avec une bonne exposition pourrait être 50% pour un toit à deux pans réguliers.
- La deuxième étape consiste à évaluer l'impact des éléments présents sur cette surface. Le facteur de réduction est indiqué en pourcentage. Si le facteur de réduction est de 60%, c'est donc le 40% des surfaces potentiellement utilisables qui passe cette qualification. Ces surfaces sont classifiées „bonne exposition et architecture". Pour le cas cité en haut, la partie de la toiture classifiée „bonne exposition et architecture" est de 20%: 40% „bonne architecture" et 50% „bonne exposition" (40% du 50%).

Ombre portée

N'importe quelle ombre portée entrave l'utilisation de l'énergie solaire. Néanmoins, une distinction est faite entre l'ombre portée par les éléments décrits plus haut (cheminée, mansarde, etc.) et l'ombre portée par les objets qui ne font pas partie intégrante du bâtiment même. C'est donc l'impact de l'environnement du bâtiment qui est analysé et saisi par „l'ombre portée". Les objets à considérer sont principalement les autres bâtiments et les arbres. Quelques obstacles schématiques illustrent cet impact sur l'irradiation solaire sur une surface donnée (voir les tableaux en bas).

Tableau 3: Quelques obstacles schématiques illustrant l'horizon depuis le point de vue d'une surface concernée. Six situations sont présentées et calculées : a) la dimension verticale avec trois hauteurs différentes (20°, 40° et 60°) et b) la dimension horizontale avec deux largeurs différentes (standard et large). Sources : les situations sont dessinées avec Meteonorm

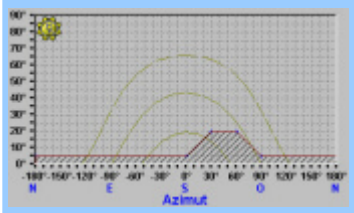
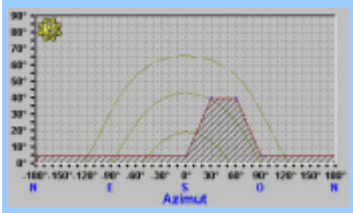
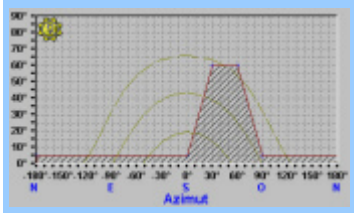
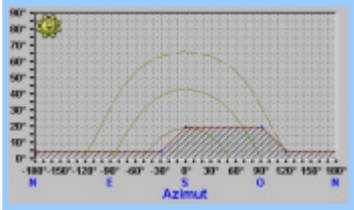
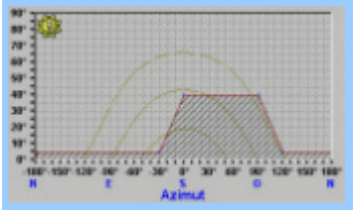
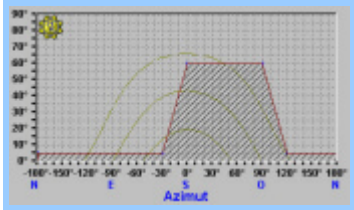
		Dimension verticale		
		Hauteur 20°	Hauteur 40°	Hauteur 60°
Dimension horizontale	Version standard			
	Version large			

Tableau 4: L'impact de l'ombre portée sur l'irradiation d'une surface. La valeur de référence est de 1205 kWh par mètre carré et année. En plus des six situations différentes dues aux dimensions verticales et horizontales des obstacles, il y a trois positions différentes de ces obstacles : a) au sud, b) au sud-est / sud-ouest et c) est / ouest. Sources : les situations sont calculées avec Meteonorm

	20° - standard	20° - large	40° - standard	40° - large	60° - standard	60° - large
Est / ouest	1175	1160	1117	1047	1075	921
Sud-est / -ouest	1177	1157	1108	997	957	795
Sud	1192	1167	1110	948	966	735

La somme d'énergie solaire irradiée varie en fonction de la dimension verticale et horizontale ainsi que de la position de l'obstacle. Les résultats montrent que l'impact est modeste pour un obstacle d'une hauteur de 20°, et ceci même pour un obstacle relativement large. La récolte solaire est réduite de 4% au maximum. L'impact est encore plus modeste pour un obstacle situé au sud comme le soleil arrive à „surmonter" l'obstacle vers les heures de midi pendant une bonne partie de l'année. Plus cet obstacle d'une dimension relativement modeste se trouve à l'est respectivement à l'ouest, plus le soleil - qui se lève, respectivement qui se couche - est caché. A partir d'une certaine hauteur et surtout à partir d'une certaine largeur de l'obstacle, l'impact d'une position méridionale devient nettement plus grave. Ainsi, les obstacles larges diminuent considérablement la récolte solaire: l'obstacle d'une hauteur à 40° à l'est résulte en une réduction de 13% et de 21% quand il se trouve au sud. Les valeurs respectives sont 24% et 39% pour un obstacle d'une hauteur de 60°.

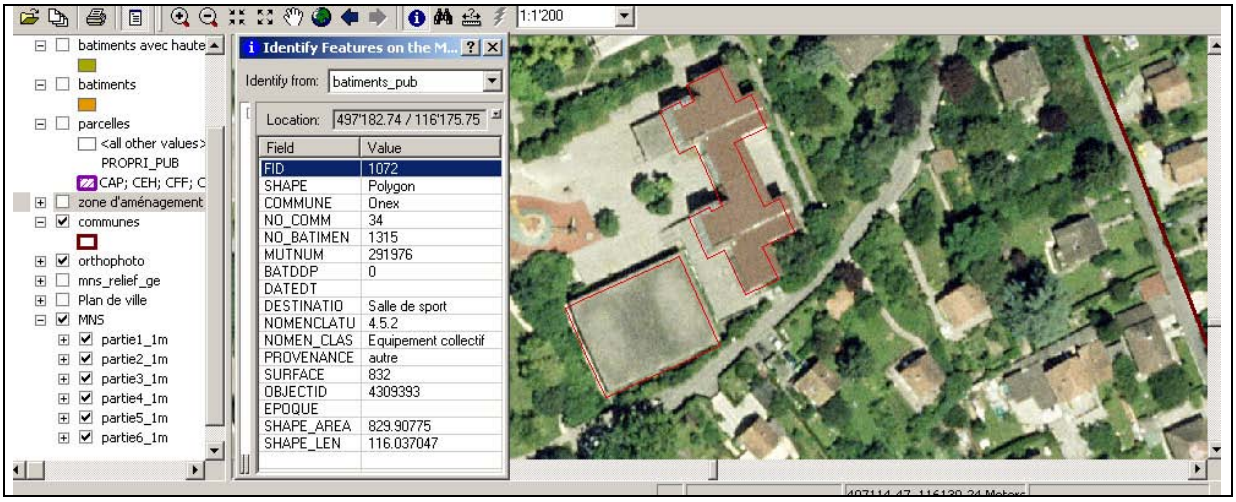
L'impact négatif de l'ombre portée sur les surfaces des installations solaires est évident. Les illustrations et les calculs ci-dessus ne sont néanmoins pas toute la vérité. Un effet relativement complexe et néfaste peut survenir lorsque la surface d'une installation photovoltaïque (d'un module ou d'une série de modules) est partiellement touchée par l'ombre portée. En général, l'impact est donc encore plus important que les calculs montrés.

En somme, il est bien possible d'estimer l'impact de l'ombre portée (voir le tableau en bas) mais il est difficile de le quantifier de façon très précise au vu de la complexité des situations variables dans le temps (journalier, saisonnier) et dans l'espace (l'horizon concret) et encore de la configuration du système solaire. Pour cette analyse, les estimations donnent des résultats satisfaisants du point de vue statistique. Il est clair que des efforts plus considérables sont indiqués quand il s'agit d'un projet concret et d'optimiser la configuration d'une installation solaire.

Tableau 5: Cinq catégories retenues pour l'ombre portée, son impact et son effet sur l'utilisation de la surface

Catégorie	Impact de l'ombre portée	Effet sur l'utilisation de la surface
0	Il n'y a pas d'impact du tout.	Aucun problème se pose pour l'utilisation de la surface.
1	L'impact est négligeable car une partie infime est concernée.	Le 3% de la surface devrait être exclu en moyenne.
2	L'impact est manifeste car une partie de la surface concernée.	Un dixième de la surface devrait être exclu en moyenne.
3	L'impact est important car une bonne partie de la surface est concernée	Un tiers de la surface devrait être exclu en moyenne.
4	L'impact est trop néfaste car une partie trop importante est concernée.	L'utilisation de la surface devient inintéressante.

La source d'information la plus précieuse est le SITG (voir le graphique en bas) car il comprend et un éventail de données statistiques et des orthophotos pour l'analyse des toitures. En outre les caractéristiques solaires et architecturales, quelques informations statistiques ont été cherchées de façon manuelle dans les cas où le SITG n'a pas pu composer les informations liées aux bâtiments (par exemple le propriétaire) dans un même fichier parce que ces informations se trouvent dans de couches d'information différentes.



Graphique 8: Une vue d'analyse avec les sources d'informations statistiques et optiques. Source : SITG

3 Résultats

1759 objets ont été sélectionnés pour l'analyse (v. chapitre 2.1). 4% d'entre eux n'ont pas pu être analysé à un degré plus détaillé. Les raisons principales sont la surexposition sur les orthophotos (lumière reflétée sur la surface de la toiture) et les chantiers (la construction n'étant pas encore terminée lors de la prise des photos aériennes). Une cinquantaine d'objets ont été regroupés par code de gestion parce que leurs séparations initiales étaient d'ordre technique (délimitation définie par SITG). Ce sont finalement 1637 bâtiments publics qui sont pris en considération pour le dépouillement. Ces 1637 bâtiments publics correspondent à env. 17.9% du parc immobilier public et env. 2.2% du parc immobilier global du Canton de Genève. Du point de vue „surface", l'échantillon comprend env. 51.6% de l'emprise au sol des bâtiments publics et env. 14.6% de l'emprise au sol de l'ensemble des bâtiments.

Il est à noter que les critères de pré-sélection, et tout particulièrement celui de l'emprise au sol minimal de 300 m^2, ont un impact sur la „représentativité". Il n'est pas interdit mais il est déconseillé d'extrapoler les résultats au-delà de la sélection des objets analysés.

Les résultats sont présentés le long des étapes de l'analyse:

- Parc immobilier public
- Irradiation solaire
- Surfaces utilisables
- Potentiel énergétique

3.1 Parc Immobilier Public

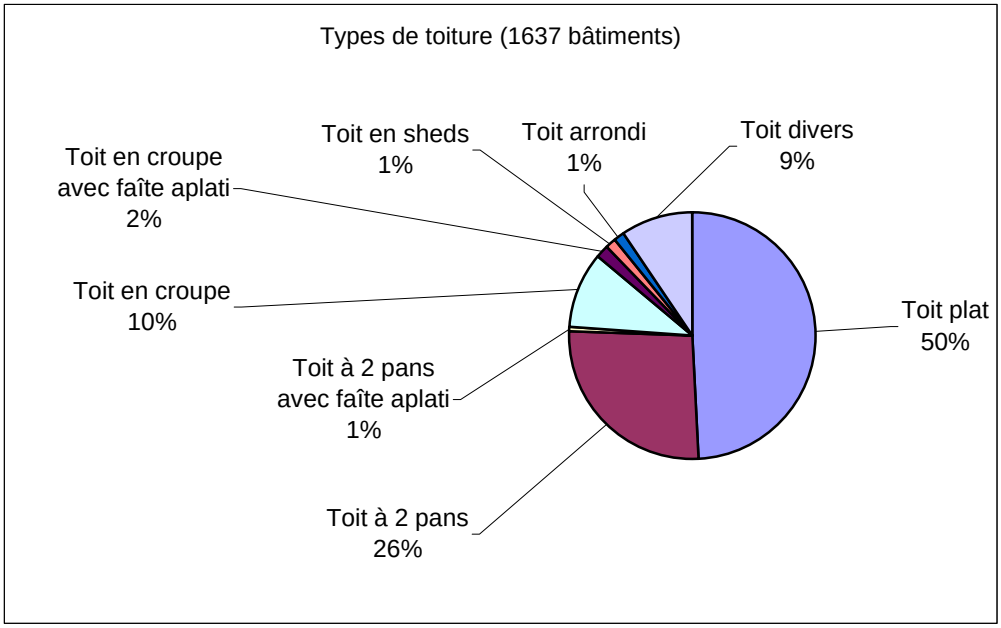
La saisie d'informations statistiques et morphologiques permet de décrire le parc immobilier et les zones urbanisées et de cerner le potentiel solaire. Ces descriptions s'avèrent utiles dans l'interprétation architecturale et urbanistique.

Propriétaires

Tout juste 50% des objets analysés se trouvent sur des parcelles de l'Etat de Genève (code 1 selon le SITG), 23% des objets sur des parcelles qui appartiennent à la ville de Genève (inclus les objets qui se trouvent sur le territoire d'autres communes genevoises). Le 27% restants se trouvent sur des parcelles qui appartiennent aux autres communes genevoises.

Toitures - les Formes

Les toitures retrouvées sont essentiellement des toits plats (part de 50%), des toits à deux pans (part de 26%) et des toits en croupe (part de 10%), voir aussi graphique et tableau en bas.

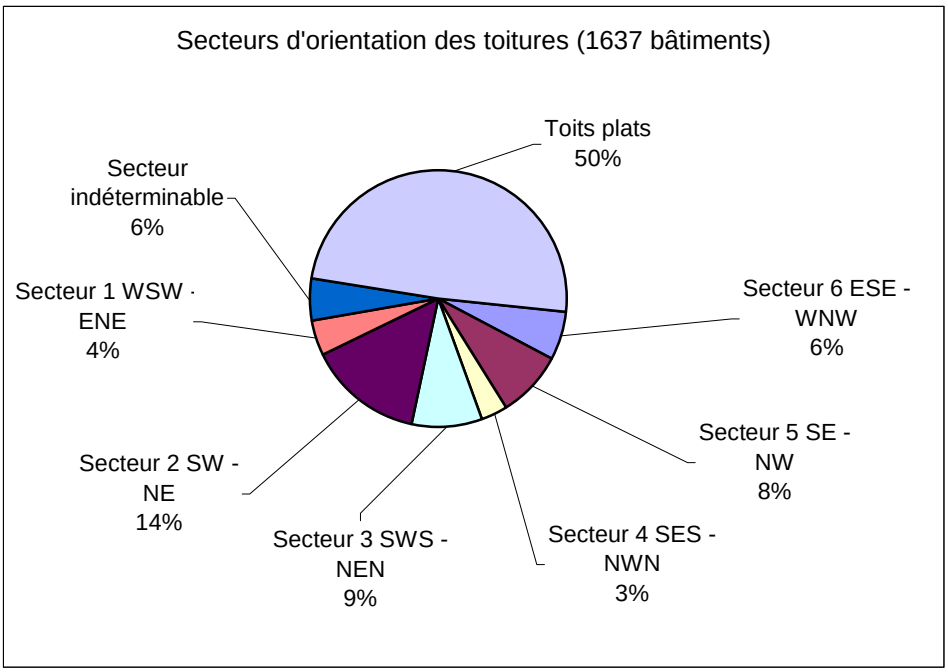


Graphique 9: Parts relatives des différents types de toitures (par nombre d'objets sur un total de 1637)

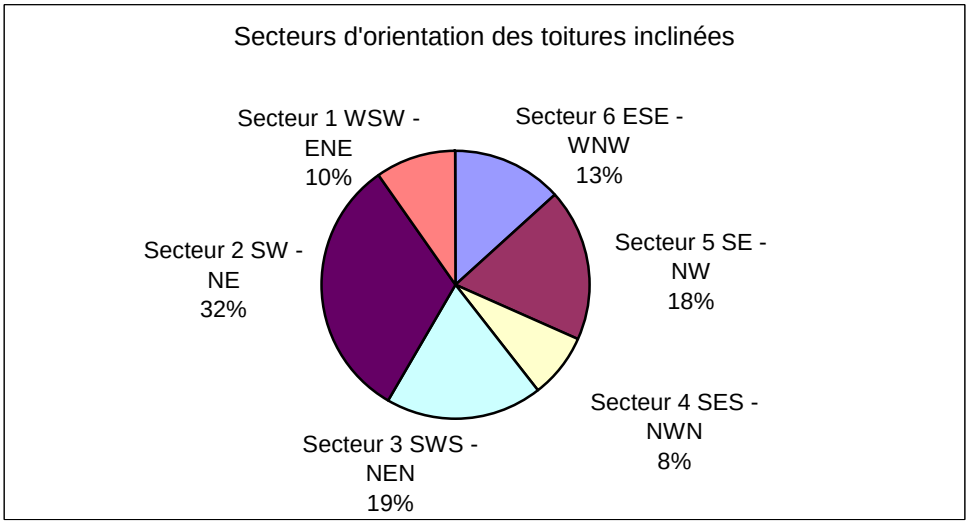
Toitures - les Orientations

En ce qui concerne l'orientation de l'axe principal des toitures, le secteur 0 – les toits plats - est dominant dû au nombre très élevé des toits plats - probablement une conséquence du critère de l'emprise au sol de 300 m^2 minimum.

Parmi les objets avec un axe principale identifié, ce sont les secteurs „diagonaux" qui sont très fréquents - le secteur 2 sud-ouest - nord-est a une part de 32%, le secteur 5 sud-est - nord-ouest de 18%. En outre, le secteur sud-ouest-sud - nord-est-nord est présent au-dessus de la moyenne avec 19%.Les trois secteurs restants sont présents nettement en-dessous de la moyenne.



Graphique 10: Parts relatives des différents secteurs pour toutes les surfaces (par nombre d'objets sur un total de 1637)



Graphique 11: Parts relatives des différents secteurs pour les surfaces inclinées

A l'aide d'une base de données complète, tout un éventail d'informations plus détaillées et spécifiques peut être généré. Le potentiel solaire peut ainsi être subdivisé, par exemple, par les types d'utilisation des bâtiments (basés sur la nouvelle nomenclature du Service Cantonal du Cadastre) ou les périodes de construction. Ces critères et caractéristiques ne sont pas encore utilisés. Une analyse systématique tenant compte des données statistiques concernant par exemple les types d'utilisation des bâtiments et des périodes de construction permet de mieux cerner les possibilités d'exploiter le potentiel solaire.

3.2 Irradiation Solaire

L'irradiation solaire sur le territoire genevois est présentée moyennant:

- Irradiation
- Irradiation relative et topographie solaire
- Catégorisation des surfaces irradiées

Irradiation

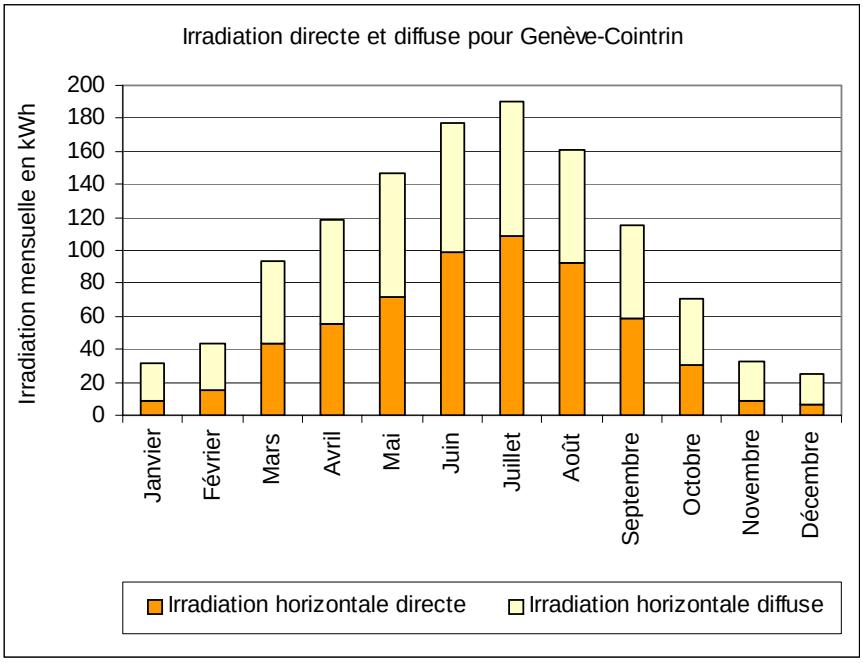
La région genevoise profite d'une irradiation relativement élevée. En comparaison avec d'autres régions fortement peuplées en Suisse, elle occupe une position favorable. Une surface horizontale reçoit 1205 kWh par année et par mètre carré (en comparaison: 1085 kWh par année et par mètre carré pour Zurich-SMA ou 1135 kWh par année et par mètre carré pour Bern-Liebefeld). Cette valeur est de 1350 kWh par année et par mètre carré sur une surface orientée de manière optimale (orientation plein sud, inclinaison 30°).

La répartition de l'irradiation solaire sur l'année est typique. L'irradiation atteint en moyenne 180 kWh par mois estival et par mètre carré de surface horizontale tandis que l'énergie irradiée n'est qu'autour de 30 kWh par mois hivernal et par mètre carré de surface horizontale. Une surface inclinée peut récolter jusqu'à 50% de plus dans cette période et peut donc réduire l'effet saisonnier, néanmoins le niveau absolu reste inférieur.

La part diffuse de l'irradiation solaire est importante aussi à Genève (voir graphique en bas) comme pour la plupart des régions fortement urbanisées en Suisse.

Tableau 6: Irradiation solaire annuelle (valeurs absolues en kWh par année et par mètre carré) pour douze orientations (en pas de 30°) et dix inclinaisons (en pas de 10°) à Genève-Cointrin. Les valeurs des surfaces analysées de manière plus détaillée sont mises en exergue. Source : Calculs des valeurs crues avec Meteonorm et PVSYST

Orientation *Inclinaison*	180° (Nord)	150°	120°	90° (Ouest)	60°	30°	0° (Sud)	-30°	-60°	-90° (Est)	-120°	-150°	-180° (Nord)
90°	386	422	536	663	783	862	880	862	783	663	536	422	386
80°	410	470	597	747	886	982	1013	982	886	747	597	470	410
70°	446	518	663	832	982	1097	1133	1097	982	832	663	518	446
60°	518	579	735	910	1073	1181	1229	1181	1073	910	735	579	518
50°	615	669	814	988	1145	1254	1290	1254	1145	988	814	669	615
40°	735	777	904	1061	1205	1302	1338	1302	1205	1061	904	777	735
30°	856	898	994	1121	1229	1326	1350	1326	1229	1121	994	898	856
20°	988	1013	1079	1163	1248	1308	1326	1308	1248	1163	1079	1013	988
10°	1109	1121	1151	1205	1235	1266	1278	1266	1235	1205	1151	1121	1109
0°	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205	1205

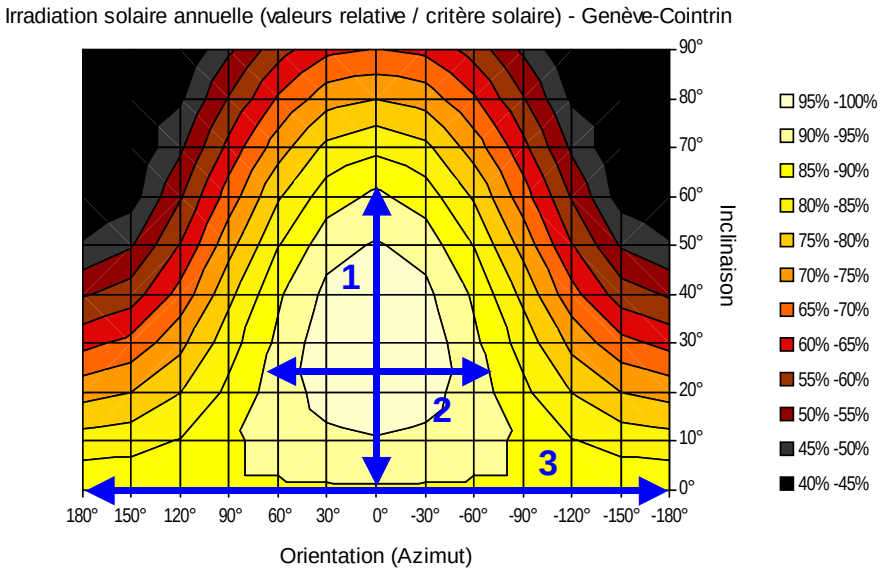


Graphique 12: Les valeurs d'irradiation solaire absolues par mois - subdivisée en irradiation directe et diffuse. Source : Calculs des valeurs crues avec Meteonorm

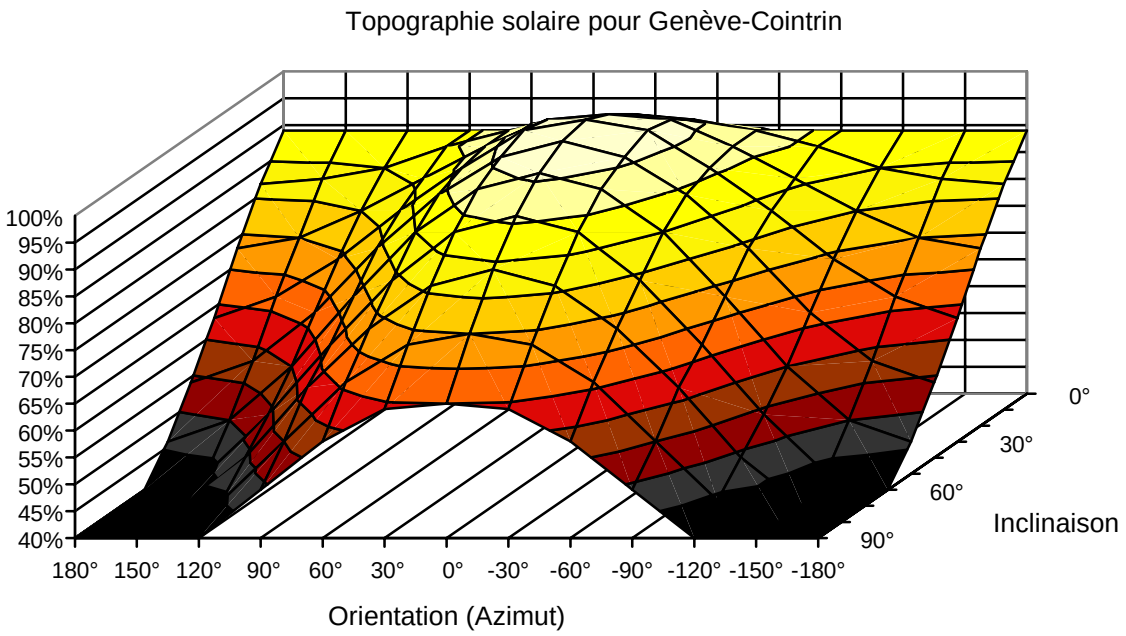
Topographie Solaire

Le ciel se montre assez généreux pour une bonne partie des surfaces / des toitures. Quelques exemples peuvent l'illustrer:

1. Une surface orientée plein sud atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle maximale si son inclinaison est entre env. 2° et 62°.
2. Une surface inclinée de 25° atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle maximale si son orientation se trouve entre env. - 67° et 67°, donc grosso modo entre ESE et WSW.
3. Une surface horizontale atteint toujours le 89% de la somme d'irradiation annuelle maximale.



Graphique 13: Trois exemples qui montrent l'interprétation du critère solaire et qui illustrent en même temps la générosité du ciel comme une bonne partie des surfaces „désorientées" sont bien irradiées.



Graphique 14: Une vue différente sur la qualité solaire des surfaces - la topographie solaire pour Genève-Cointrin. L'axe vertical indique le pourcentage de la somme d'irradiation solaire annuelle pour une surface définie par l'orientation (azimut) et l'inclinaison. Les valeurs supérieures (90% minimum) sont atteintes par des surfaces avec une orientation méridionales entre sud-est et sud-ouest et avec une inclinaison allant jusqu'à 50°. Visible au fond du graphique, les surfaces horizontales (toit plat) atteignent toujours le 89%. Source: Calculs des valeurs absolues avec Meteonorm

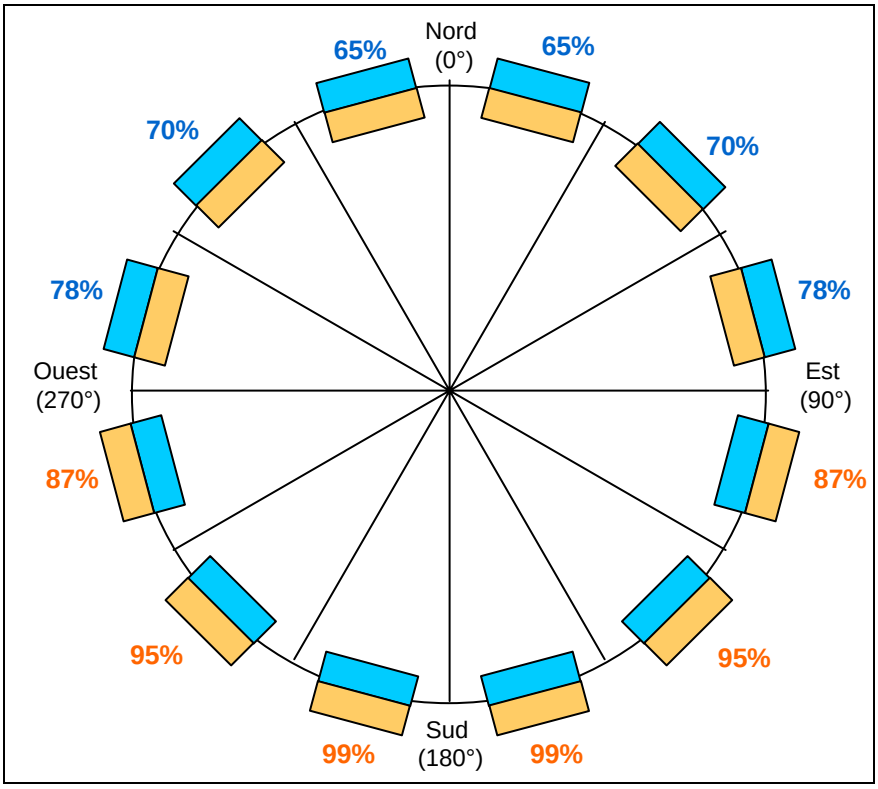
Une des raisons principale pour la générosité du ciel est la part relativement importante de la lumière diffuse (voir graphique en haut).

Tableau 7: Irradiation solaire annuelle (valeurs relatives) pour douze orientations (en pas de 30°) et dix inclinaisons (en pas de 10°). Les valeurs des surfaces analysées de manière plus détaillée sont mises en exergue. Source : Calculs des valeurs crues avec Meteonorm et PVSYST

Orientation *Inclinaison*	180° (Nord)	150°	120°	90° (Ouest)	60°	30°	0° (Sud)	-30°	-60°	-90° (Est)	-120°	-150°	-180° (Nord)
90°	29%	31%	40%	49%	58%	64%	65%	64%	58%	49%	40%	31%	29%
80°	30%	35%	44%	55%	66%	73%	75%	73%	66%	55%	44%	35%	30%
70°	33%	38%	49%	62%	73%	81%	84%	81%	73%	62%	49%	38%	33%
60°	38%	43%	54%	67%	79%	88%	91%	88%	79%	67%	54%	43%	38%
50°	46%	50%	60%	73%	85%	93%	96%	93%	85%	73%	60%	50%	46%
40°	54%	58%	67%	79%	89%	96%	99%	96%	89%	79%	67%	58%	54%
30°	63%	67%	74%	83%	91%	98%	100%	98%	91%	83%	74%	67%	63%
20°	73%	75%	80%	86%	92%	97%	98%	97%	92%	86%	80%	75%	73%
10°	82%	83%	85%	89%	92%	94%	95%	94%	92%	89%	85%	83%	82%
0°	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%

Catégorisation des Surfaces Irradiées

Il convient de décrire la qualité solaire des toitures non pas uniquement par l'orientation des surfaces - le plus souvent par un secteur méridional plus ou moins strict comme par exemple sud ± 30° - mais aussi par l'irradiation solaire effective (voir graphique et tableau en bas).



Graphique 15: Illustration de l'irradiation solaire annuelle en termes relatifs pour les six secteurs et une surface inclinée de 30° - les valeurs pour les surfaces méridionales sont indiquées en orange.

Les surfaces sont catégorisées en fonction de leurs orientations et inclinaison - tout en tenant compte de la qualité solaire et de la précision possible et utile. Ainsi, 18 catégories sont retenues basées sur six secteurs et trois degrés d'inclinaison. La 19e catégorie est constituée par les surfaces horizontales. Les valeurs relatives (qualité solaire) sont représentées dans le tableau en bas pour les 19 catégories.

Tableau 8: Irradiation solaire annuelle (valeurs relatives pondérées, voir aussi les valeurs mises en exergue dans le tableau en haut) pour les six secteurs et quatre inclinaisons définies pour la saisie des données morphologiques et solaires.

Orientation *Inclinaison*	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4	Secteur 5	Secteur 6
Grande	78%	86%	92%	92%	86%	78%
Moyenne	85%	92%	98%	98%	92%	85%
Petite	88%	95%	97%	97%	95%	88%
Surface plate	89%					

3.3 Surfaces Utilisables

Les surfaces utilisables sont les surfaces:
1. avec une bonne exposition et
2. avec une bonne architecture et
3. sans impact d'ombre portée.

Ces trois critères reflètent trois niveaux de qualité solaire et architecturale et correspondent aux trois étapes dans l'approche adoptée.

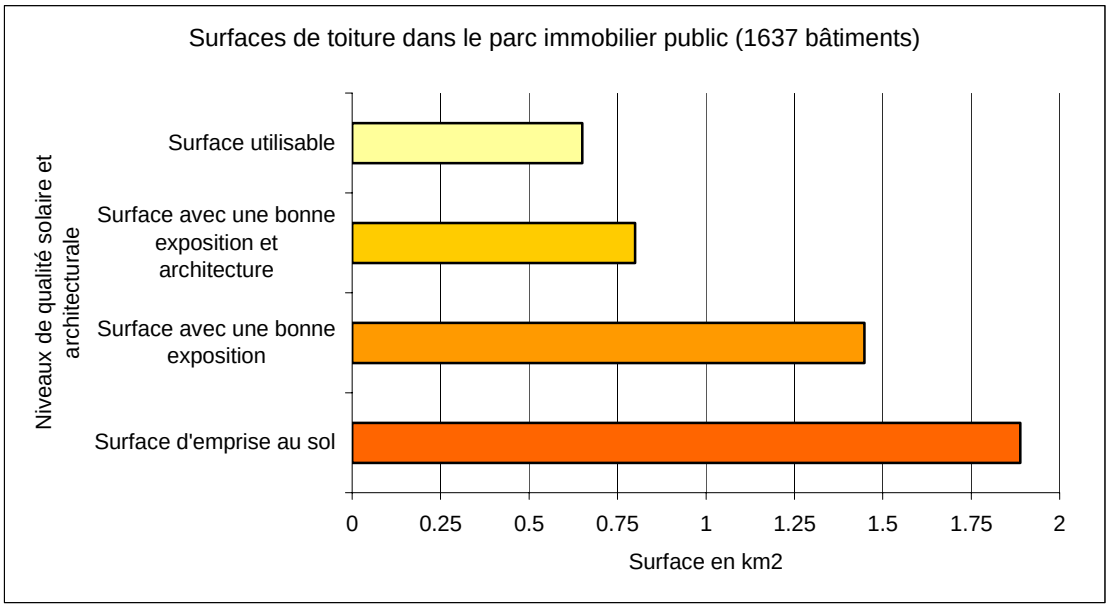
Surfaces

La **surface d'emprise au sol** totale (des 1688 bâtiments analysés de manière plus détaillée) est de 1'888'440 m^2 (1.88 km^2).

Les **surfaces avec une bonne exposition** sont déterminées en éliminant les surfaces qui sont orientées vers l'hémisphère septentrional ou qui sont „perdues" par exemple dans une cour. Tenant compte de l'inclinaison de les toitures, ces surfaces comprennent 1'447'921 m^2 (1.48 km^2).

Les **surfaces avec une bonne exposition et architecture** sont déterminées en considérant les facteurs de réduction „construction - obstruction", c.-à-d. en éliminant les surfaces occupées par d'autres éléments sur la toiture (par exemple fenêtre, terrasse, etc.) et / ou touchés par l'ombre portée par ces éléments (par exemple cheminée). Ces surfaces sont de 799'517 m^2 (0.80 km^2).

Finalement, les **surfaces utilisables** sont déterminées en considérant les facteurs de réduction „ombre portée", c.-à-d. en éliminant les surfaces concernées par l'ombre portée due aux autres bâtiments (voisins) et / ou à la végétation. Les surfaces utilisables pour les installations solaires se montent à 650'546 m^2 (0.65 km^2).



Graphique 16: Les quatre types de surfaces particulièrement importante dans l'approche pour déterminer les surfaces utilisables et les surfaces identifiées en km^2.

Tableau 9: Les niveaux de qualité solaire et architecturale et les facteurs de réduction avec les surfaces en mètres carrés et les indices d'aptitude (valeurs référence « surfaces utilisables / emprise au sol »)

Niveaux de qualité solaire et architecturale - *facteurs de réduction*	Surfaces	Indice d'aptitude
Surface d'emprise au sol	1'888'400 m^2	1.00
Surface de toiture avec une bonne exposition	1'447'921 m^2	0.77
Facteur de réduction « construction - obstruction »	*44.8%*	
Surface avec bonne exposition et architecture	799'517 m^2	0.42
Facteur de réduction « ombre portée »	*18.6%*	
Surface utilisable	650'546 m^2	0.34

Facteurs de Réduction

Les facteurs de réduction sont „construction - obstruction" et „ombre portée". Le facteur de réduction „construction - obstruction" est de 45% pour l'ensemble de l'échantillon de 1637 bâtiments publics de plus de 300 m^2 d'emprise au soleil. Il réduit la surface „bonne exposition" de 0.68 km^2. La surface restante est classifiée „bonne exposition et architecture".

L'impact de l'ombre portée se monte à 18.6%. La surface „bonne exposition et architecture" de 0.80 km^2 est réduit de 0.15 km^2. Le facteur de réduction principal est la végétation qui est à l'origine de 56% de la surface concernée par l'ombre portée.[3]
Les bâtiments voisins sont à l'origine de presque 44% de la surface concernée. Il est intéressant de noter ici que la topographie naturelle du territoire genevois devrait présenter très peu d'obstacles qui dépassent la hauteur de 20° voire 10° et l'impact global devrait être proche de zéro.

Indice d'Aptitude

Des indices d'aptitude sont particulièrement intéressants. Ces valeurs relatives mettent en relations comparatives la surface de référence (l'emprise au sol) et les différents niveaux de qualité solaire et architecturale.

Pour une surface d'1.00 m^2 (emprise au soleil), il y a une surface de
- 0.77 m^2 de qualité „bonne exposition";
- 0.42 m^2 de qualité „bonne exposition et architecture»;
- 0.34 m^2 de qualité „surface utilisable".

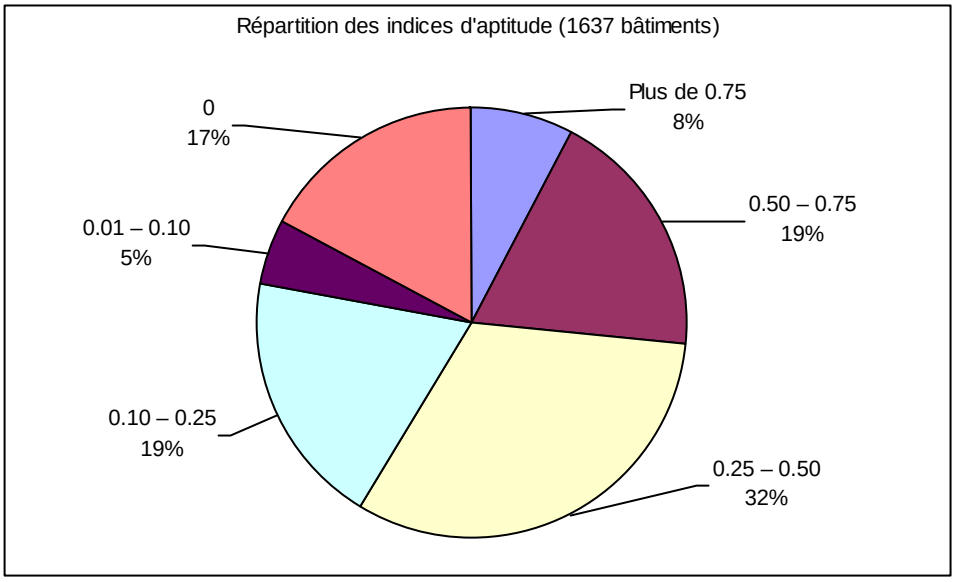
La répartition des bâtiments en fonction de l'indice d'aptitude calculée montre grosso modo que:
- Un bâtiment sur trois a 2.5 à 5 m^2 de surface utilisable sur 10 m^2 d'emprise au sol.
- Un bâtiment sur cinq a 5 à 7.5 m^2 de surface utilisable sur 10 m^2 d'emprise au sol.
- Un bâtiment sur cinq a 1 à 2.5 m^2 de surface utilisable sur 10 m^2 d'emprise au sol.
- Un bâtiment sur six n'a aucune surface utilisable.

La part des bâtiments qui n'ont aucune surface utilisable est relativement faible en comparaison avec un échantillon représentatif d'un parc immobilier „standard". Comme l'ensemble de la sélection ne comprend que des bâtiments avec plus de 300 m^2 d'emprise au sol, il est moins fréquent d'y trouver un bâtiment qui n'offre plus aucune surface utilisable dû à l'ombre portée et / ou aux constructions sur le toit.

[3] Ce chiffre est assez corroboré. Les deux méthodes d'extrapolation (la surface et le nombre de bâtiment) indique un pourcentage de 56% (56.02% respectivement 56.47%).

Tableau 10: Répartition des indices d'aptitude.

Indice d'aptitude	Explication	Nombre d'objets
Plus de 0.75	Plus de 0.75 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	129
0.50 – 0.75	0.50 – 0.75 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	309
0.25 – 0.50	0.25 – 0.50 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	520
0.10 – 0.25	0.10 – 0.25 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	316
0.01 – 0.10	0.01 – 0.10 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	80
0	Aucune surface utilisable	283



Graphique 17: Répartition des indices d'aptitude.

3.4 Potentiel Energétique

Les surfaces utilisables des 1637 bâtiments publics reçoivent en somme l'énergie solaire d'environ 800 GWh par année. Le potentiel énergétique est

- d'environ 50 GWh d'électricité photovoltaïque par annéeou
- d'environ 300 GWh thermiques par année.

Il est calculé de la manière suivante:

- les surfaces inclinées sont utilisées à 100%;
- les surfaces horizontales sont utilisées à 67% pour le photovoltaïque (production optimisée au moyen de modules légèrement inclinés);
- les surfaces horizontales sont utilisées à 33% pour le thermique (production optimisée moyennant des capteurs inclinés à 35°).

Ces chiffres globaux peuvent être précisés et différenciés en fonction des critères pour mieux cerner le potentiel le plus intéressant selon les applications, types de bâtiments, propriétaires, types de toitures, zones, territoires communaux, etc. moyennant le fichier complet contenant les données statistiques, morphologiques et les indices calculés.

Les paragraphes suivants présentent le potentiel énergétique en fonction de quelques critères en rapport avec l'irradiation et le potentiel énergétique de surface.

Surfaces Utilisables selon les Critères Solaires

Un critère pertinent pour le photovoltaïque est le critère solaire (minimal) qui se base essentiellement sur la somme d'irradiation solaire annuelle maximale. Trois catégories peuvent être retenues:
1) Très bon potentiel énergétique défini de la manière suivante: > 90% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale
2) Bon à très bon potentiel énergétique défini de la manière suivante: 89% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale. En fait, c'est la valeur typique des surfaces horizontales (toits plats). Cette valeur peut être „facilement" améliorée par une légère inclinaison des surfaces „actives" des installations solaires. Il va de soi que les surfaces utilisables sont réduites en fonction de l'angle appliqué pour les surfaces „actives".[4]
3) Bon potentiel énergétique défini de la manière suivante: 80% - 88% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale

La quatrième catégorie est implicite et comprend toutes surfaces avec une irradiation en dessous de 80% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale.

Tableau 11: Surfaces utilisables selon les trois catégories / critères solaires

Cat.	Critères solaires	Surfaces utilisables (arrondies)
1	> 90% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale	150'000 m^2
2	89% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale	462'000 m^2
3	80% - 88% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale	38'000 m^2
	Total 1,2 et 3	*649'000 m^2*

Puissance à Installer

Les données peuvent être interprétées pour déterminer la grandeur des systèmes solaires photovoltaïques qui pourraient être installées sur les surfaces utilisables. Les systèmes solaires peuvent ainsi être subdivisés en catégories de puissance à installer, allant de la catégorie de très petites installations avec une puissance entre 1 et 3 kWc jusqu'à la catégorie de très grandes installations avec une puissance de plusieurs centaines de kWc (plus précisément 300 à 1000 kWc).[5]

Le nombre de bâtiments publics peut être définis en fonction d'un critère en rapport avec une somme d'irradiation minimale et / ou avec un certain type de surface de toiture. Pour un critère solaire minimal de 90% (donc des surfaces inclinées avec une très bonne irradiation), 569 bâtiments peuvent être identifiés. Il y a par exemple 2 bâtiments avec pour chacun une surface utilisable se prêtant à l'installation d'un très grand système solaire entre 300 et 1000 kWc. Pour la catégorie „ moyenne inférieure" de 10 à 30 kWc, 269 bâtiments publics se présentent dans la statistique.

[4] Hypothèse : une installation avec les modules inclinées de 35° demande trois fois plus de surfaces utilisables qu'une installation horizontale. De plus en plus, les installations sont „montées" de quelques degrés. Ceci permet d'optimiser le rendement solaire, l'utilisation des surfaces de toits plats et la propreté des surfaces des modules.
[5] Pour une partie des bâtiments analysés, un tel système solaire pourrait être installé de façon plus ou moins compacte. Selon la structure de la toiture, il est indiqué de subdiviser ce système solaire dans le monde réel mais statistiquement ceci est considéré un seul système.

Tableau 12: Le nombre de bâtiments pour six catégories de surface utilisable par bâtiment. Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture avec une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

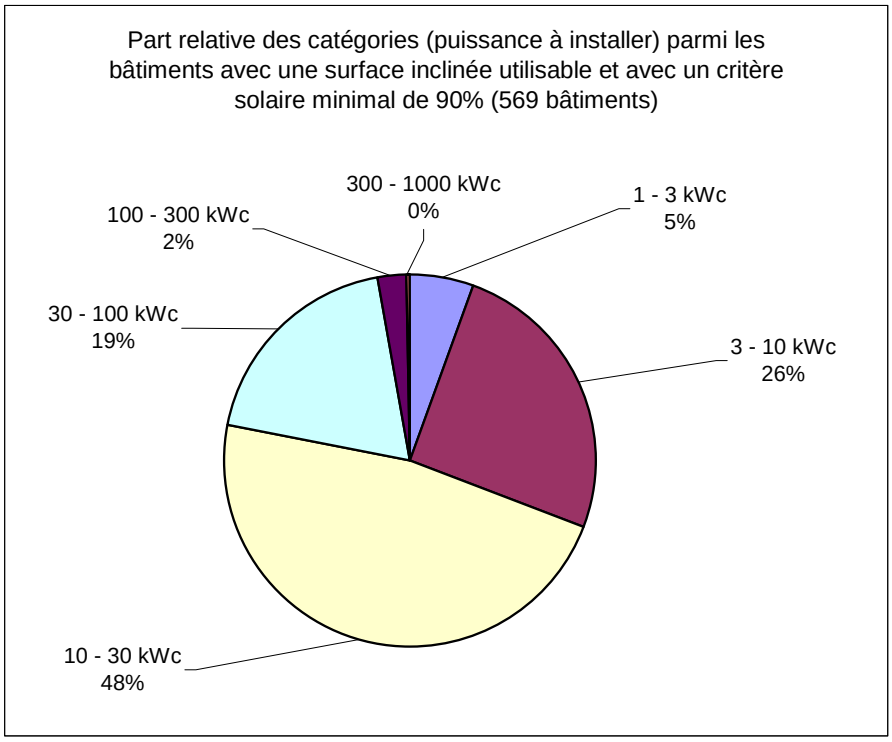
Catégories de surface utilisable par bâtiment	Surface inclinée	Surface horizontale utilisable
10 m^2 à 30 m^2	31	12
30 m^2 à 100 m^2	144	44
100 m^2 à 300 m^2	269	218
300 m^2 à 1000 m^2	109	305
1000 m^2 à 3000 m^2	14	101
3000 m^2 à 10000 m^2	2	20
Total	*569*	*700*

Parmi les 700 bâtiments avec une surface horizontale utilisable - ce qui correspond automatiquement au critère solaire de 89% - 20 bâtiments peuvent être identifiés dans la catégorie des très grands systèmes solaires de 300 à 1000 kWc (voir tableau 13). Il reste encore 5 bâtiments publics pour la catégorie des très grands systèmes solaires si les modules sont installés de manière légèrement inclinée. Autre exemple: le nombre est de 218 pour la catégorie „moyenne inférieure“ de 10 à 30 kWc et ce nombre s'élève à 274 si les modules sont installés de manière légèrement inclinée.

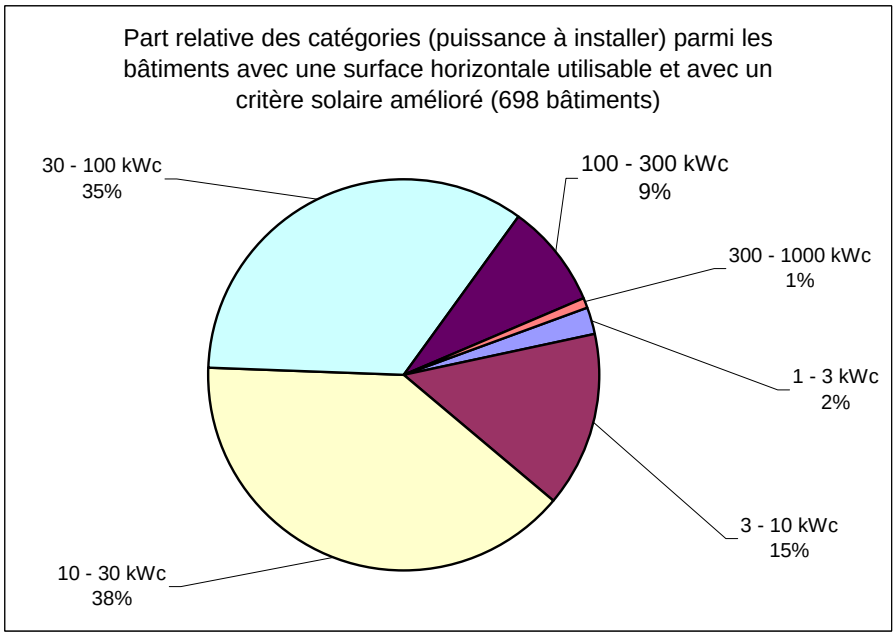
Tableau 13: Le nombre de bâtiments pour six catégories de systèmes solaires basés sur la puissance à installer dans la première colonne. Trois types de critères sont considérés: a) critère solaire minimal de 90% pour une surface inclinée utilisable (deuxième colonne), b) surface horizontale utilisable avec un critère solaire de 89% (troisième colonne) et c) surface horizontale utilisable avec un critère solaire amélioré (quatrième colonne). Il y a deux notions pour les surfaces horizontales: a) le critère solaire 89% considère une intégration horizontale des modules tandis que b) le critère solaire amélioré considère un montage de module incliné de quelques degrés pour un rendement solaire amélioré. Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de systèmes solaires (puissance totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable avec un critère solaire minimal de 90% 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire de 89%) 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire amélioré) 15 m^2 ~ 1 kWc
1 - 3 kWc « très petit »	31	12	15
3 - 10 kWc « petit »	144	44	102
10 - 30 kWc « moyen inférieur »	269	218	274
30 - 100 kWc « moyen supérieur »	109	305	241
100 - 300 kWc « grand »	14	101	61
300 - 1000 kWc « très grand »	2	20	5
Total	*569*	*700*	*698*

L'importance relative des six catégories est représentée dans les deux graphiques ci-dessous. Il ressort clairement que la catégorie de systèmes solaires de 10 à 30 kWc est la plus répandue avec une part de 47% parmi les 569 bâtiments identifiés avec une surface inclinée utilisable et avec un critère solaire minimal de 90%, respectivement 40% parmi les 698 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable et avec un critère solaire amélioré.



Graphique 18: Parts relatives des catégories (puissance à installer) parmi les 570 bâtiments identifiés avec une surface inclinée utilisable et avec un critère solaire minimal de 90%



Graphique 19: Parts relatives des catégories (puissance à installer) parmi les 729 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable et avec un critère solaire amélioré

Classification selon l'Orientation

Un critère pertinent pour le thermique est le critère „orientation" qui se base essentiellement sur la bonne orientation qui favorise une irradiation plutôt intense.[6] Trois catégories peuvent être retenues:

1) Très bonne orientation définie de la manière suivante: Secteur plein sud (180° ± 30°)
2) Bonne à très bonne orientation définie de la manière suivante: Secteur horizontal (surface horizontale). En fait, les surfaces horizontales - normalement[7]
- permettent d'optimiser l'orientation des installations. Il va de soi que les surfaces utilisables sont réduites en fonction de l'angle appliqué pour les surfaces „actives".[8]
3) Bonne orientation définie de la manière suivante: Secteur sud-est (120° - 150°) et sud-ouest (210° - 240°)

La quatrième catégorie est implicite et comprend toutes surfaces avec une orientation „au-delà" des secteurs sud-est (120° - 150°) et sud-ouest (210° - 240°).

Tableau 14: Surfaces utilisables selon les trois catégories / critères „orientation"

Cat.	Critères « orientation »	Surfaces utilisables (arrondies)
1	Secteur plein sud (180° ± 30°)	47'000 m^2
2	Secteur horizontal (surface horizontale)	462'000 m^2
3	Secteur sud-est (120° - 150°) et sud-ouest (210° - 240°)	99'000 m^2
	Total 1, 2 et 3	*609'000 m^2*

Surfaces de Captage

Pour les systèmes solaires thermiques, il convient mieux de recourir à la surface de captage et à l'orientation des surfaces pour catégoriser les bâtiments publics identifiés avec une surface utilisable. Ainsi, les critères retenus sont l'orientation sud (secteur sud ± 30°) pour les surfaces inclinées utilisables et un montage plus incliné sur les surfaces horizontales utilisables.

Parmi les 202 bâtiments identifiés avec une surface inclinée utilisable orientée sud, il y a par exemple 19 bâtiments qui présentent une surface de captage de 10 à 30 m^2 ou 61 bâtiments pour la catégorie supérieure suivante de 30 à 100 m^2.

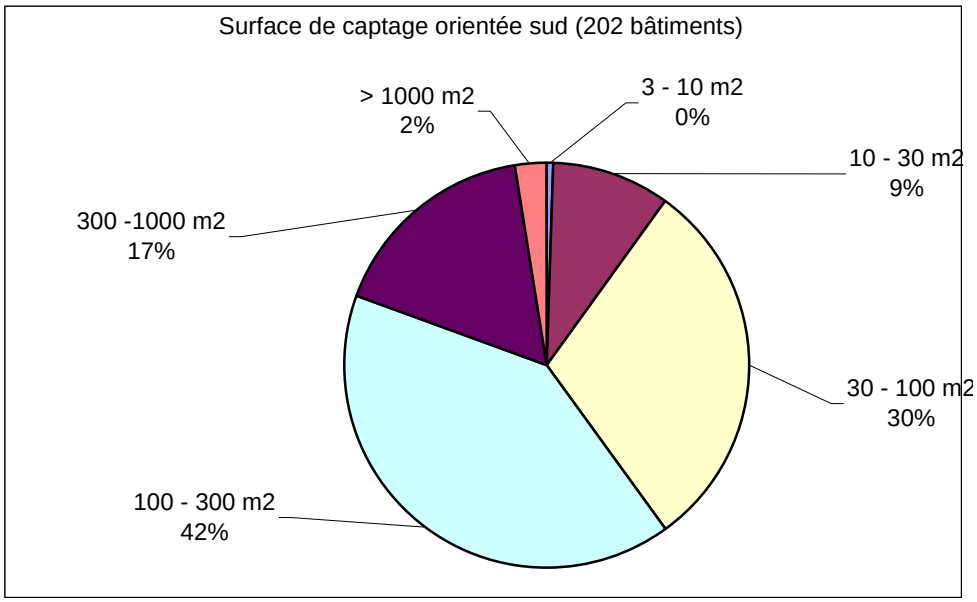
Parmi les 708 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable, il est indiqué de ne s'intéresser qu'à la colonne tout à droite concernant les surfaces actives. Tenant compte d'un angle de 35° pour les capteurs solaires, les surfaces horizontales utilisables sont divisées par trois pour calculer les surfaces de captage dites actives. Là, il y a 37 bâtiments qui présentent une surface de captage de 10 à 30 m^2 ou 230 bâtiments pour la catégorie supérieure suivante de 30 à 100 m^2. L'ensemble des chiffres pour les six catégories et les critères retenus se trouvent dans le tableau en bas.

[6] Evidemment, il y a bien de chevauchements entre les deux critères. Une différence dans la détermination de la qualité des surfaces entre le photovoltaïque et thermique est le point de départ où „ça vaut la peine de déclencher l'installation". Une installation photovoltaïque produit déjà un bénéfice énergétique avec une irradiation modeste tandis qu'une installation solaire thermique risque de perdre de la chaleur autant que les surfaces exposées ne sont pas suffisamment préchauffées.
[7] Outre les raisons architecturales et technologiques, des lois ou ordonnances peuvent prescrire une certaine orientation des installations pour satisfaire à des critères esthétiques.
[8] L'hypothèse: une installation avec les modules incliné de 35° demande trois fois plus de surfaces utilisables qu'une installation horizontale - ce qui n'est pas conseillé pour les systèmes solaires thermiques, non pas seulement du point de vue rendement mais aussi pour le fait qu'un tel système demande normalement moins d'espace (qu'une installation photovoltaïque)

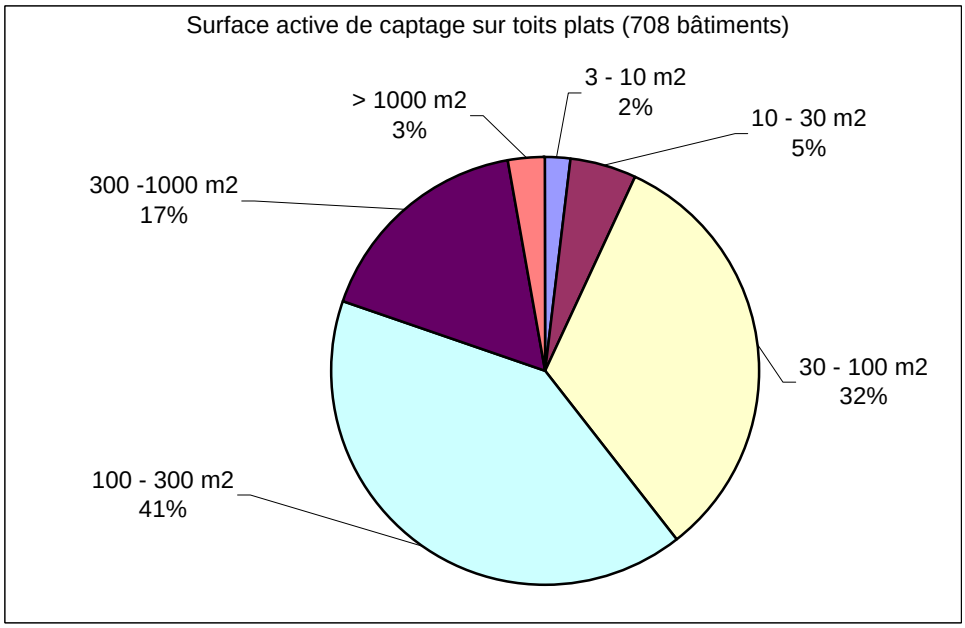
Tableau 15: Le nombre de bâtiments pour les six catégories de surface de captage. Les deux critères retenus sont l'orientation sud (secteur sud ± 30°) pour les surfaces inclinées utilisables et un montage plus incliné sur les surfaces horizontales utilisables. Tenant compte d'un angle de 35° pour les capteurs solaires, les surfaces horizontales utilisables sont divisées par trois pour calculer les surfaces de captage dites actives. Remarque: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de surface de captage (surface totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable et orientée vers le sud (secteur sud ± 30°)	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (angle de la surface active 35°) 3m^2 de surface horizontale utilisable ~ 1 m^2 de surface active (capteur)
3 - 10 m^2 « très petit »	1	0	13
10 - 30 m^2 « petit »	19	13	37
30 - 100 m^2 « moyen inférieur »	61	47	230
100 - 300 m^2 « moyen supérieur »	82	220	289
300 -1000 m^2 « grand »	34	308	119
> 1000 m^2 « très grand »	5	120	20
Total	*202*	*708*	*708*

L'importance relative des six catégories est représentée dans les deux graphiques en bas. Une répartition similaire peut être trouvée pour les six catégories (surface active de captage) et parmi les 202 bâtiments identifiés avec une surface inclinée utilisable et parmi les 708 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable plus montage des capteurs inclinés de 35°. La catégorie de surface de captage allant de 100 à 300 m^2 atteint deux fois une part d'environ 2 sur 5. La catégorie de surface de captage allant de 30 à 100 m^2 atteint une part d'environ 1 sur 3.



Graphique 20: Parts relatives des catégories (surface active de captage) parmi les 202 bâtiments identifiés avec une surface inclinée utilisable



Graphique 21: Part relative des catégories (surface active de captage) parmi les 708 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable et avec montage des capteurs incliné de 35°

3.5 Bâtiments DAEL

Le DAEL gère bon nombre de bâtiments et est, par conséquent, un des acteurs les plus importants dans le parc immobilier public. Parmi les objets analysés, il y a 250 bâtiments:

- qui ont une emprise au sol de 300 m^2
- qui ont une surface utilisable pour le solaire et
- qui sont sous gestion directe par le DAEL.

Dans les entrevues avec les gens responsables, il est devenu clair que le potentiel solaire thermique vraiment utile est très faible. Les raisons principales sont:

- une consommation en eau chaude relativement faible et
- un système qui s'avère relativement coûteux quand il s'agit de connecter les capteurs solaires au système (p.e. moyennant de très longs tuyaux).

Il a donc été décidé de présenter le potentiel photovoltaïque dans le parc immobilier géré par le DAEL.

Les éléments sont:

- Surfaces utilisables
- Potentiel énergétique
- Utilisation pratique, dynamique et stratégique

Surfaces

Près du 80% des surfaces utilisables sur les bâtiments DAEL se trouve sur des toits plats (voir tableau 16). La raison principale est le fait que la part des toits plats dans cette catégorie de bâtiments est très importante. Une deuxième raison est un indice d'aptitude souvent plus important pour les toits plats, c.-à-d. les toits plats présentent une structure et une surface plus simple, donc une bonne partie de la surface brute est apte pour l'utilisation photovoltaïque.

Tableau 16: Surfaces utilisables selon les trois catégories / critères solaires sur les bâtiments gérés par le DAEL et avec une emprise au sol d'au moins de 300 m^2

Cat.	Critères solaires	Surfaces utilisables (arrondies)
1	> 90% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale (surfaces inclinées)	29'000 m^2
2	89% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale (surfaces horizontales)	136'000 m^2
3	80% - 88% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale (surfaces inclinées)	7'000 m^2
	Total 1,2 et 3	*172'000 m^2*

Trois quarts des bâtiments DAEL avec un toit plat possèdent des surfaces utilisables de plus de 300 m^2, c.-à-d. 112 bâtiments sur 150. 41 bâtiments montrent un potentiel qui dépasse même 1000 m^2 de surface utilisable (voir tableau18).

Parmi les bâtiments DAEL avec une toiture inclinée, un tiers montre une surface utilisable de plus de 300 m^2, c.-à-d. 31 bâtiments sur 87 (voir tableau 19).

Tableau 17: Répartition des bâtiments DAEL en fonction des surfaces utilisables totales.

Catégories de surface utilisable (surface totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée et / ou horizontale
Jusqu'à 100 m^2	32
100 - 300 m^2	70
300 -1000 m^2	102
> 1000 m^2	46
Total	*250*

Tableau 18: Répartition des bâtiments DAEL en fonction des surfaces utilisables horizontales.

Catégories de surface utilisable (surface totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale
Jusqu'à 100 m^2	5
100 - 300 m^2	33
300 -1000 m^2	71
> 1000 m^2	41
Total	*150*

Tableau 19: Répartition des bâtiments DAEL en fonction des surfaces utilisables inclinées avec critère solaire de 90%.

Catégories de surface utilisable (surface totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée avec critère solaire de 90%
Jusqu'à 100 m^2	22
100 - 300 m^2	34
300 -1000 m^2	26
> 1000 m^2	5
Total	*87*

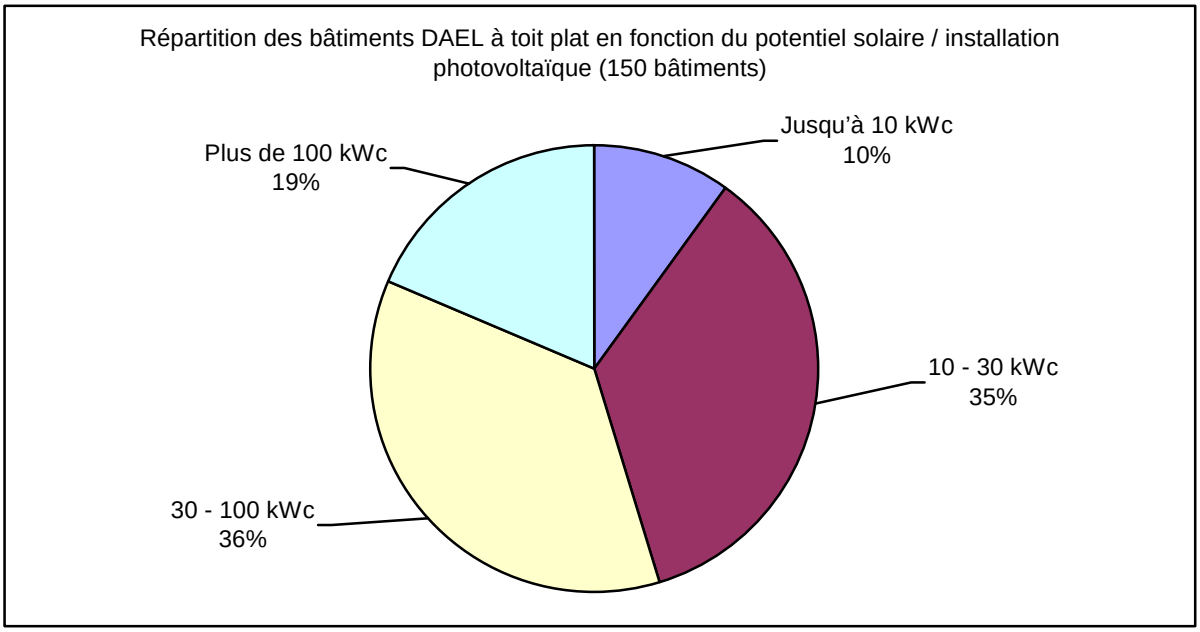
Potentiel énergétique

Le potentiel énergétique est d'env. 15 GWh pour la production annuelle d'électricité solaire sur les bâtiments DAEL. Il est à noter qu'il y a bon nombre d'installations potentielles avec une puissance supérieure. Ceci signifie aussi qu'il y a en théorie non pas uniquement un potentiel énergétique intéressant mais aussi un potentiel d'économie d'échelle grâce aux dimensions importantes des systèmes. Quelques observations montrent que des économies d'environ 15% sont possibles avec des systèmes solaires plus grands.

Les 150 bâtiments DAEL avec des surfaces utilisables horizontales offrent théoriquement de la place pour 28 systèmes solaires de plus de 100 kWc et, en plus, 54 systèmes solaires de plus de 30 kWc jusqu'à 100 kWc (voir tableau 20 quatrième colonne).

Tableau 20: Le nombre de bâtiments pour quatre catégories de systèmes solaires basés sur la puissance à installer dans la première colonne. Trois types de critères sont considérés: a) critère solaire minimal de 90% pour une surface inclinée utilisable (deuxième colonne), b) surface horizontale utilisable avec un critère solaire de 89% (troisième colonne) et c) surface horizontale utilisable avec un critère solaire amélioré (quatrième colonne). Il y a deux notions pour les surfaces horizontales: a) le critère solaire 89% considère une intégration horizontale des modules tandis que b) le critère solaire amélioré considère un montage de module incliné de quelques degrés pour un rendement solaire amélioré. Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils sont une toiture avec et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de systèmes solaires (puissance totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable avec un critère solaire minimal de 90% 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire de 89%) 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire amélioré) 15 m^2 ~ 1 kWc
Jusqu'à 10 kWc « petit »	22	5	15
10 - 30 kWc « moyen inférieur »	34	33	53
30 - 100 kWc « moyen supérieur »	26	71	54
Plus de 100 kWc « grand »	5	41	28
Total	*87*	*150*	*150*



Graphique 22: Parts relatives des catégories (puissance à installer) parmi les 150 bâtiments identifiés avec une surface horizontale utilisable et avec un critère solaire amélioré (15 m^2 ~ 1 kWc)

Utilisation Pratique, Dynamique et Stratégique

Une cinquantaine de bâtiments – majoritairement sous gestion du DAEL – a été examiné de manière plus détaillée. Concrètement, l'examen a eu pour but d'établir un inventaire des surfaces utilisables pour recevoir une installation de capteurs photovoltaïques, et une évaluation succincte de faisabilité, tenant compte de la technologie et de l'état de la toiture, des contraintes techniques d'installation, etc. Pour chaque objet, au moyen d'une visite sur place, on établit une fiche technique comprenant les principales informations nécessaires (surfaces disponibles, orientations, structure des surfaces, âge, état, possibilités d'installation ou d'intégration, ombrages, place pour câbles et installations techniques, etc), avec quelques photographies. Les informations de ces fiches sont regroupées dynamiquement en un tableau récapitulatif. L'ensemble de ces informations est contenu dans un fichier EXCEL.

De cette étude, il convient de tirer quelques conclusions:

Sur le plan méthodologique, la saisie des données morphologiques se montre très efficace par le biais du SITG. Pour la grande majorité des objets, les données récoltées et calculées permettent une bonne indication pour le potentiel solaire. Les surfaces jugées „utilisables“ sont effectivement des surfaces intéressantes. L'approche permet donc de saisir de manière statistique (voir chapitre 2.2) et efficace le potentiel solaire dans un parc immobilier.

Sur le plan dynamique, l'examen montre bel et bien qu'il y a relativement peu d'objets susceptibles de recevoir immédiatement (et sans modifications) une installation photovoltaïque. Une des raisons principales est l'état de la toiture. Pour les toits plats, il convient de procéder à une installation quand l'étanchéité est et reste impeccable pour les 25 années à venir. La pose d'une installation PV devrait être réalisée après ou pendant la rénovation dans le cas des objets avec toitures anciennes.

Sur le plan stratégique, il est important de noter que l'exploitation concrète d'un potentiel solaire important passe par un fonctionnement impeccable des interfaces entre les différents partis impliqués dans la prise des décisions (budgétaire, architecturale, etc.) en rapport avec la construction et rénovation des bâtiments. Etant donné le nombre important de collèges et cycles d'orientations avec des importantes surfaces sur les toitures plates et datées, il serait indiqué de sensibiliser les instances concernées afin de garantir un processus qui considère aussi l'élément photovoltaïque ex-ante.

4 Résumé, Conclusions et Perspectives

4.1 Résumé

Le ScanE a fixé deux critères pour définir les objets à analyser:
a) propriétaire: l'état de Genève ou les communes
b) emprise au sol: le seuil minimum d'emprise au sol est de 300 m^2.

Le parc immobilier public sélectionné et analysé à un degré plus détaillé comprend 1637 bâtiments. Du point de vue „nombre", ces 1637 bâtiments publics correspondent approximativement à 17.9% du parc immobilier public et 2.2% du parc immobilier global du canton de Genève. Du point de vue „surface", l'échantillon comprend 51.6% de l'emprise au sol des bâtiments publics et 14.6% de l'emprise au sol de l'ensemble des bâtiments. L'analyse de ces objets permet d'évaluer le potentiel solaire dans le parc immobilier sous divers aspects, notamment en suivant les résultats présentés le long des étapes de l'approche:

- Parc immobilier public contenant des facteurs architecturaux, morphologiques, urbanistiques et statistiques.
- Irradiation solaire distinguée pour les différentes surfaces dans le contexte urbain genevois.
- Surfaces utilisables tenant compte des critères d'irradiation solaire, architecturaux ainsi que de l'ombre portée par les bâtiments et la végétation.
- Potentiel énergétique des surfaces utilisables pour les applications photovoltaïques et solaires thermiques.

Le Parc Immobilier Public Sélectionné et Analysé

Chacun des 1637 bâtiments publics peut être caractérisé par un éventail de facteurs et critères importants pour mieux cerner et exploiter le potentiel solaire.

Chaque bâtiment „connaît" ses surfaces utilisables

- avec une bonne exposition et
- avec une bonne architecture et
- sans impact d'ombre portée.

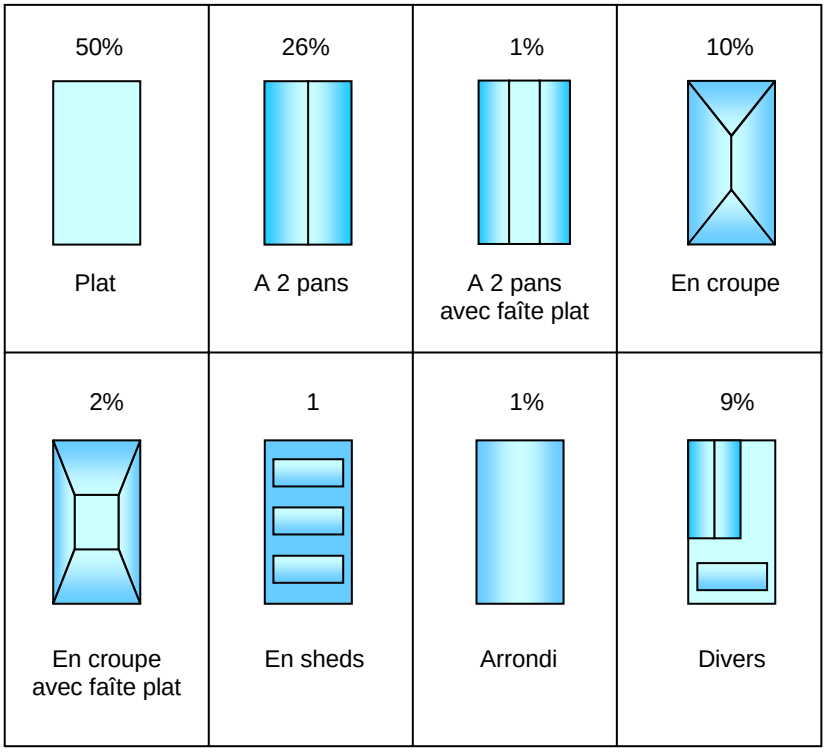
Des indices d'aptitude sont attribués à chaque bâtiment. Ces indices d'aptitude mettent en relations la surface de référence (l'emprise au sol) et les différents niveaux de qualité solaire et architecturale et permettent donc une comparaison et classification relatives des bâtiments.

Les surfaces utilisables peuvent être triées et sélectionnées (par exemple pour fournir une liste de priorités) en fonction de leur dimension, orientation ou encore par la récolte énergétique potentielle en termes relatifs et absolus.

Pour les installations photovoltaïques, les surfaces utilisables peuvent être sélectionnées de manière statistique par exemple par des critères de rendement solaire et de puissance à installer.

Pour les installations solaires thermiques, les surfaces utilisables peuvent être sélectionnées de manière statistique par les orientations, dimensions et catégories de surfaces de captage.

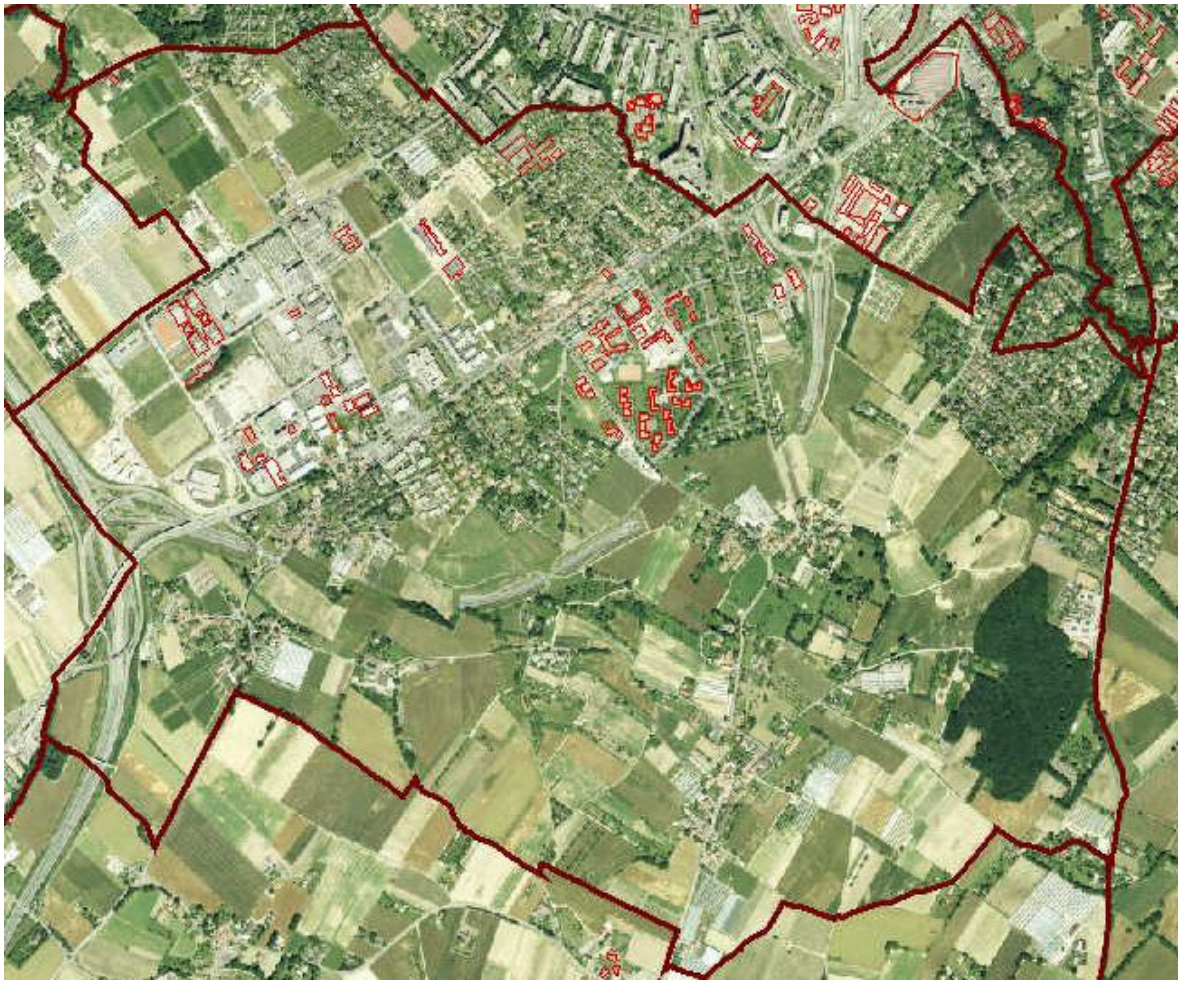
Il est donc bien possible de caractériser le parc immobilier public analysé par les données statistiques recensées et relevées ainsi que de sélectionner les objets les plus pertinents d'un point de vue solaire et architectural pour une approche pragmatique afin de mieux cerner les bâtiments potentiellement intéressants.



Graphique 23: Les parts des toitures-types parmi les 1637 bâtiments sélectionnés

Selon les acteurs intéressés (par exemple une commune ou un service cantonal ou encore des privés) et les applications visées (par exemple des installations photovoltaïques sur des toits plats ou sur les toits des écoles), les critères peuvent être appliqués et un triage ciblé peut être effectué.

Graphique 24: Quelques bâtiments scolaires saisis.



Graphique 25: Vue d'ensemble dans la commune de Plan-les-Ouates sur le parc immobilier public comprenant les bâtiments avec une emprise au sol de plus de 300 m^2

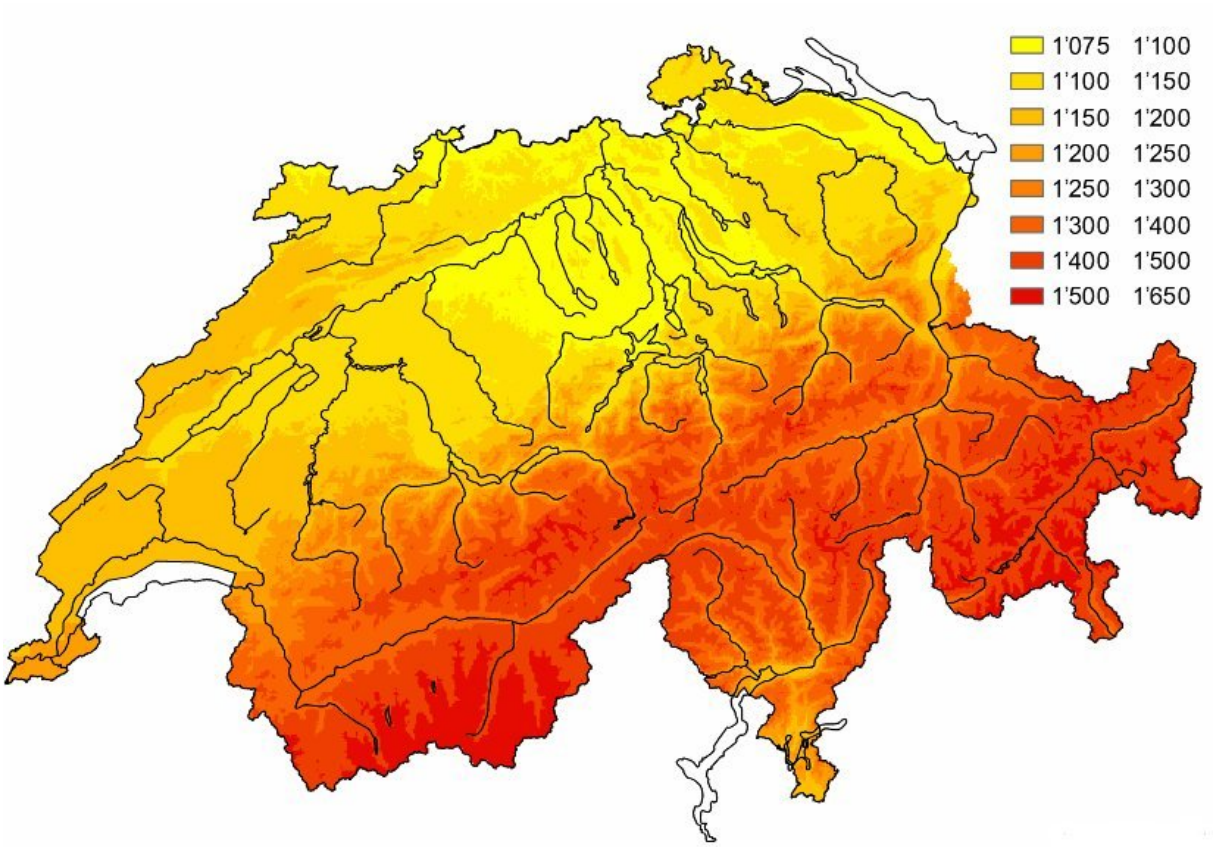
Grâce aux indices d'aptitude et aux données sur les surfaces utilisables définies par leur orientation, dimension, récolte solaire etc., il est aussi possible de visualiser les résultats pour chaque bâtiment dans le Système d'Information du Territoire Genevois (SITG).

Comme l'irradiation solaire est une source d'énergie relativement peu concentrée (en comparaison avec les énergies fossiles), son captage nécessite des surfaces particulièrement importantes. Néanmoins, le parc immobilier présente normalement un potentiel énorme: ses surfaces utilisables permettent de produire de l'électricité solaire dans l'ordre de l'équivalent de 10 à 35% de la consommation finale.[9] L'intégration de l'énergie solaire (ici plus précisément les installations solaires) dans les bâtiments est un avantage technologique qui est un atout important et durable dans un contexte fortement urbanisé comme celui du canton de Genève.

[9] Rien n'a été calculé en ce sens pour le Canton de Genève jusqu'à présent.

Irradiation Solaire dans le Canton de Genève

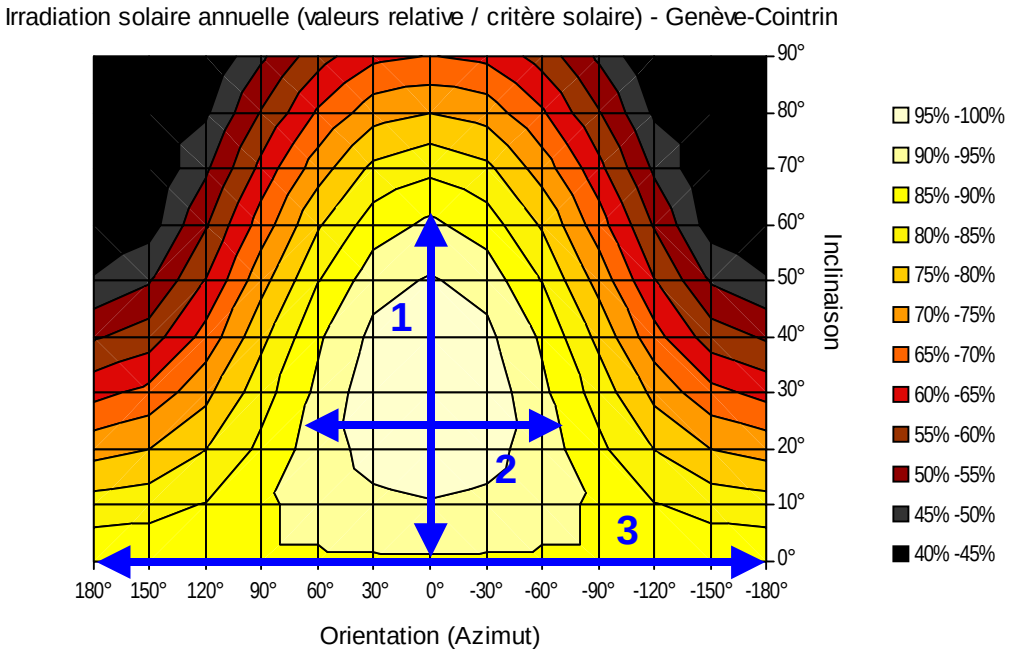
La région genevoise profite d'une irradiation relativement élevée (voir graphique en bas). En comparaison avec d'autres régions fortement peuplées en Suisse, elle occupe une position favorable. Une surface horizontale reçoit 1205 kWh par année et par mètre carré (en comparaison: 1085 kWh par année et par mètre carré pour Zurich-SMA ou 1135 kWh par année et par mètre carré pour Bern-Liebefeld). Cette valeur est de 1350 kWh par année et par mètre carré sur une surface orientée de manière optimale (orientation plein sud, inclinaison 30°) à Genève.



Graphique 26: Carte d'irradiation solaire suisse en kWh par mètre carré et année. La région genevoise a une position favorable parmi les régions hautement urbanisées. Source: Plot et données Meteonorm

Le ciel se montre assez généreux pour une bonne partie des surfaces / des toitures (voir graphique en bas). Quelques exemples peuvent l'illustrer:

1. une surface orientée plein sud atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle maximale si son inclinaison est entre env. 2° et 62°;
2. une surface inclinée de 25° atteint le 90% de la somme d'irradiation annuelle maximale si son orientation se trouve entre env. - 67° et 67°, donc grosso modo entre ESE et WSW;
3. une surface horizontale atteint toujours le 89% de la somme d'irradiation annuelle maximale.



Graphique 27: Trois exemples qui montrent l'interprétation du critère solaire et qui illustrent en même temps la générosité du ciel comme une bonne partie des surfaces „désorientées" sont bien irradiées.

Surfaces Utilisables Identifiées

Une surface utilisable d'env. 0.65 km^2 a été identifiée par étapes::

- La surface d'emprise au sol totale (des 1637 bâtiments analysés de manière plus détaillée) est de 1'888'440 m^2 (1.88 km^2).
- Les surfaces avec une bonne exposition sont déterminées en éliminant les surfaces orientées vers l'hémisphère septentrional ou „perdues" par exemple dans une cour. Tenant compte de l'inclinaison de les toitures, ces surfaces comprennent 1'447'921 m^2 (1.48 km^2).
- Les surfaces avec une bonne exposition et architecture sont déterminées en considérant les facteurs de réduction „construction - obstruction", c.-à-d. en éliminant les surfaces occupées par d'autres éléments sur la toiture (par exemple fenêtre, terrasse, etc.) et / ou touchés par l'ombre portée par ces éléments (par exemple cheminée). Ces surfaces sont de 799'517 m^2 (0.80 km^2).
- Finalement, les surfaces utilisables sont déterminées en considérant les facteurs de réduction „ombre portée", c.-à-d. en éliminant les surfaces concernées par l'ombre portée due aux autres bâtiments (voisins) et à la végétation. Les surfaces utilisables pour les installations solaires se montent à 650'546 m^2 (0.65 km^2).

Les **indices d'aptitude** sont indiqués en moyenne pour l'ensemble des 1637 bâtiments publics. La surface d'1.00 m^2 d'emprise au soleil correspond à une surface de

- 0.77 m^2 de qualité „bonne exposition";
- 0.42 m^2 de qualité „bonne exposition et architecture»;
- 0.34 m^2 de qualité „surface utilisable".

Tableau 21: Répartition des indices d'aptitude.

Indice d'aptitude	Explication	Nombre d'objets
Plus de 0.75	Plus de 0.75 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	129
0.50 – 0.75	0.50 – 0.75 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	309
0.25 – 0.50	0.25 – 0.50 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	520
0.10 – 0.25	0.10 – 0.25 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	316
0.01 – 0.10	0.01 – 0.10 m^2 de surface utilisable par m^2 d'emprise au sol	80
0	Aucune surface utilisable	283

Les surfaces utilisables peuvent être distinguées en fonction des critères solaires ou d'orientation.

Tenant compte de l'orientation, les surfaces utilisables se trouvent sur:
- 47'000 m^2 dans le secteur plein sud (180° ± 30°)
- 462'000 m^2 de surface horizontale
- 99'000 m^2 dans le secteur sud-est (120° - 150°) et sud-ouest (210° - 240°)

Tenant compte du critère solaire, les surfaces utilisables se trouvent sur:
- 150'000 m^2 avec > 90% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale
- 462'000 m^2 avec 89% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale
- 38'000 m^2 avec 80% - 88% de la somme d'irradiation solaire annuelle maximale

Potentiel Energétique Démontré

Les surfaces utilisables des 1637 bâtiments publics reçoivent en somme l'énergie solaire d'environ 800 GWh par année. Le potentiel énergétique est
- d'environ 50 GWh d'électricité photovoltaïque par annéeou
- d'environ 300 GWh thermiques par année.

Il est calculé de la manière suivante:
- les surfaces inclinées sont utilisées à 100%;
- les surfaces horizontales sont utilisées à 67% pour le photovoltaïque (production optimisée au moyen de modules légèrement inclinés);

les surfaces horizontales sont utilisées à 33% pour le thermique (production optimisée moyennant des capteurs inclinés à 35°).

Le potentiel énergétique dans le parc immobilier public sélectionné sous quatre aspects:
- catégories de surface utilisable inclinée et / ou horizontale par bâtiment en mètres carrés;
- catégories de puissance pour systèmes solaires photovoltaïques à installer sur les surfaces inclinées et / ou horizontales;
- catégories de surfaces de captage pour systèmes solaires thermiques à installer sur les surfaces inclinées et / ou horizontales;
- catégories de systèmes solaires photovoltaïques à installer sur les surfaces inclinées et / ou horizontales pour les bâtiments sous gestion du DAEL.

Tableau 22: Le nombre de bâtiments pour six catégories de surface utilisable par bâtiment. Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture avec et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de surface utilisable par bâtiment	Surface inclinée (critère solaire de plus de 90%)	Surface horizontale utilisable
10 m^2 à 30 m^2	31	12
30 m^2 à 100 m^2	144	44
100 m^2 à 300 m^2	269	218
300 m^2 à 1000 m^2	109	305
1000 m^2 à 3000 m^2	14	101
3000 m^2 à 10000 m^2	2	20
Total	*569*	*700*

Tableau 23: Le nombre de bâtiments pour six catégories de systèmes solaires basés sur la puissance à installer dans la première colonne. Deux types de critères sont considérés: a) critère solaire minimal de 90% pour une surface inclinée utilisable (deuxième colonne), b) surface horizontale utilisable avec un critère solaire amélioré (troisième colonne). Le critère solaire amélioré considère un montage de module incliné de quelques degrés pour un rendement solaire amélioré (nettement plus de 90%). Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture avec et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de systèmes solaires (puissance totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable avec un critère solaire minimal de 90% 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire amélioré) 15 m^2 ~ 1 kWc
1 - 3 kWc « très petit »	31	15
3 - 10 kWc « petit »	144	102
10 - 30 kWc « moyen inférieur »	269	274
30 - 100 kWc « moyen supérieur »	109	241
100 - 300 kWc « grand »	14	61
300 - 1000 kWc « très grand »	2	5
Total	*569*	*698*

Tableau 24: Le nombre de bâtiments pour les six catégories de surface de captage. Les deux critères retenus sont l'orientation sud (secteur sud ± 30°) pour les surfaces inclinées utilisables et un montage plus incliné sur les surfaces horizontales utilisables. Tenant compte d'un angle de 35° pour les capteurs solaires, les surfaces horizontales utilisables sont divisées par trois pour calculer les surfaces de captage dites actives. Remarque: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture avec et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de surface de captage (surface totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable et orientée vers le sud (secteur sud ± 30°)	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (angle de la surface active 35°) 3m^2 de surface horizontale utilisable ~ 1 m^2 de surface active (capteur)
3 - 10 m^2 « très petit »	1	13
10 - 30 m^2 « petit »	19	37
30 - 100 m^2 « moyen inférieur »	61	230
100 - 300 m^2 « moyen supérieur »	82	289
300 -1000 m^2 « grand »	34	119
> 1000 m^2 « très grand »	5	20
Total	*202*	*708*

Dans les entrevues avec les gens responsables, il est devenu clair que le potentiel solaire thermique vraiment utile est très faible. Les raisons principales sont:

- une consommation en eau chaude relativement faible et
- un système qui s'avère relativement coûteux quand il s'agit de connecter les capteurs solaires au système (p.e. moyennant de très longs tuyaux).

Tableau 25: Le nombre de bâtiments sous gestion du DAEL pour quatre catégories de systèmes solaires basés sur la puissance à installer dans la première colonne. Trois types de critères sont considérés: a) critère solaire minimal de 90% pour une surface inclinée utilisable (deuxième colonne), b) surface horizontale utilisable avec un critère solaire amélioré (quatrième colonne). Le critère solaire amélioré considère un montage de module incliné de quelques degrés pour un rendement solaire amélioré (nettement plus de 90%). Remarques: a) Les nombres de bâtiments ne sont pas accumulés. Chaque plus petite catégorie pourrait encore contenir le nombre de systèmes solaires des catégories plus grandes. b) Quelques bâtiments peuvent être comptés deux fois quand ils ont une toiture avec et une surface inclinée utilisable et une surface horizontale utilisable.

Catégories de systèmes solaires (puissance totale par bâtiment)	Nombre de bâtiments avec une surface inclinée utilisable avec un critère solaire minimal de 90% 10 m^2 ~ 1 kWc	Nombre de bâtiments avec une surface horizontale utilisable (critère solaire amélioré) 15 m^2 ~ 1 kWc
Jusqu'à 10 kWc « petit »	22	15
10 - 30 kWc « moyen inférieur »	34	53
30 - 100 kWc « moyen supérieur »	26	54
Plus de 100 kWc « grand »	5	28
Total	*87*	*150*

4.2 Conclusions Brèves en Rapport avec le Plan Directeur Cantonal de l'Energie

Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie
- contient un éventail de programmes d'actions et
- définit quatre plates-formes de prestations en fonction des principaux publics-cibles identifiés.

Deux programmes d'action dans le domaine des prestations énergétiques en faveur du développement des énergies renouvelables concernent directement le solaire photovoltaïque et le solaire thermique.

Une des „plates-formes" concerne les collectivités publiques.

Les résultats de l'analyse les plus relevants en rapport avec les deux programmes d'actions « solaire photovoltaïque » et « solaire thermique » sont résumés pour la plate-forme « collectivités publiques ».

Solaire Photovoltaïque

Le programme d'action 12 vise à un développement important de la production d'électricité d'origine solaire. L'analyse des bâtiments publics sélectionnés montre que le potentiel est important. Les surfaces utilisables identifiés sur les bâtiments sélectionnés est de 0.65 km^2. Cette surface présente un potentiel énergétique photovoltaïque d'au moins 50 GWh ou 180 TJ par année. Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie ne spécifie pas d'objectif photovoltaïque pour la plate-forme „collectivités publiques" mais il formule deux objectifs chiffrés dans le cadre des „actions globales":
- Production de 21 TJ électriques en 2010
- Production de 43 TJ électriques en 2015

Le potentiel énergétique photovoltaïque dépasse ces objectifs chiffrés d'un facteur (arrondi) de 8 respectivement 4. Il est donc évident que les bâtiments publics sélectionnés peuvent en principe recevoir toutes les installations nécessaires pour atteindre ces objectifs sans difficulté sur le plan des surfaces utilisables. Si l'on pense que les bâtiments sélectionnés ne comprennent qu'un septième des surfaces brutes et que le taux d'occupation des surfaces utilisables est plutôt conservateur, on dirait que les objectifs de cette „action globale" ne pose pas de problème particuliers du point de vue „surfaces utilisables".

Pour atteindre les objectifs, il faut installer grosso modo 1 MW de puissance photovoltaïque par année. Cette puissance nécessite environ 10'000 à 15'000 m^2 de surface utilisable. Ceci correspond approximativement à 2% des surfaces utilisables identifiées sur les bâtiments publics sélectionnés. Ce taux paraît bas. Mais si l'on considère le fait qu'env. 1 à 2% des surfaces sont effectivement dynamiques, c.-à-d. concernés par des travaux de réfection et de rénovation, il devient évident qu'il faut profiter de toutes les surfaces dynamiques pour exploiter les synergies importantes en combinant les travaux d'assainissement et d'installation du système solaire. Evidemment, il y a un potentiel dynamique important dans les nouvelles constructions qui n'ont pas été saisi dans le cadre de cette analyse.

Pour le potentiel existant et futur, il est important de noter que le potentiel solaire photovoltaïque peut être exploité au mieux par un fonctionnement impeccable des interfaces entre les différents partis impliqués dans la prise des décisions (budgétaire, architecturale, etc.) en rapport avec la construction et rénovation des bâtiments. Au vu d'un nombre important de bâtiments publics avec des importantes surfaces sur les toitures plates et datées et du moment que les autorités ont l'intention de mettre leurs toitures publiques au service photovoltaïque, il serait indiqué de sensibiliser les instances concernées afin de garantir un processus efficace et ciblé qui considère aussi l'élément photovoltaïque ex-ante.

Solaire Thermique

Le programme d'action 11 vise à accroître la part d'énergie d'origine solaire substituée aux combustibles fossiles pour la production d'eau chaude sanitaire. L'analyse des bâtiments publics sélectionnés montre que le potentiel est très important. Les surfaces utilisables identifiés sur les bâtiments sélectionnés est de 0.65 km^2. Cette surface présente un potentiel énergétique thermique de 300 GWh ou 1080 TJ par année. Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie spécifie des objectifs chiffrés pour la plate-forme „collectivités publiques" et la plate-forme „arts & métiers":

- Substitution de 5 TJ électriques en 2010
- Substitution de 8 TJ électriques en 2015

Les objectifs chiffrés précisent une installation annuelle de 200 m^2. Le potentiel dépasse largement ces objectifs. Cependant, le potentiel trouvé sur les surfaces des bâtiments contraste fortement avec le potentiel réalisable. En fait, dans les entrevues avec les gens responsables de la gestion des bâtiments publics, il est devenu clair que le potentiel solaire thermique vraiment utile n'est que très faible. Ils ont jugé quelques bâtiments rares „propice à recevoir des capteurs solaires thermiques". La part de ces bâtiments propices devrait osciller autour de 1%. Les raisons principales sont:

- une consommation en eau chaude relativement faible et / ou un décalage important entre le besoin et la production sur le plan saisonnier;
- un système qui s'avère relativement coûteux quand il s'agit de connecter les capteurs solaires au système (p.e. moyennant de très longs tuyaux).

Si action il y a dans le domaine „solaire thermique" pour la plate-forme „collectivités publiques", les résultats de l'analyse des bâtiments publics sélectionné suggère que cette action devrait viser la production d'eau chaude de chauffage là où l'opportunité technique se présente.

Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie présente des programmes d'actions qui englobent des objectifs généraux et clairs, des objectifs chiffrés ainsi une définition des rôles du ScanE. Ces programmes d'actions visent différents publics-cibles dits „plates-formes". L'analyse – close avec ce rapport final – s'est limitée au potentiel solaire sur une sélection de bâtiments publics. Il va de soi que le Plan Directeur Cantonal de l'Energie va bien au-delà de ce cadre limité. C'est dans ce sens-là que quelques perspectives et pistes sont esquissées afin de mieux connaître et exploiter le potentiel solaire dans le parc immobilier genevois et pour améliorer les bases de données, les informations et les interfaces y relatives.

4.3 Perspectives

Pour atteindre les objectifs du Plan Directeur Cantonal de l'Energie et, de manière plus générale, un développement urbain durable, il est important que les utilisateurs agissent et puissent agir. Le Service Cantonal de l'Energie joue un rôle crucial en tant que co-ordinateur et facilitateur. Les pistes esquissées sont censées pouvoir contribuer des informations et outils afin de développer et corroborer les stratégies avec un impact optimal dans le domaine de l'énergie solaire appliquée à un environnement hautement urbanisé. Ces pistes ne se veulent ni exhaustives ni exclusives.

Parc Immobilier Public Représentatif

La sélection effectuée constitue une part importante du parc immobilier public mais elle n'est guère représentative. Tout d'abord, les critères de pré-sélection - basés sur i) les trois propriétaires, notamment l'Etat de Genève, la ville de Genève et les communes et sur ii) une emprise au sol d'au moins de 300 m^2 - excluent une bonne partie du parc immobilier public. Il peut être souhaitable et utile d'englober aussi les bâtiments publics ayant une emprise au sol inférieure à 300 m^2 - au vu de la modularité des installations photovoltaïques et du dimensionnement relativement compact des installations solaires thermiques - et / ou d'élargir les types de propriétaires publics au-delà des trois types retenus. Cette extension et complémentarité ouvre en même temps des pistes envers une description et analyse du parc immobilier public plus poussées qui permettent d'affiner les données et de formuler des recommandations plus détaillées pour une stratégie effective et efficace d'exploitation de l'énergie solaire dans le contexte urbain genevois.

Parc Immobilier Englobant toutes les „Plates-formes"

Une stratégie effective et efficace d'exploitation / promotion de l'énergie solaire dans le contexte urbain genevois pourrait aussi inclure des données plus corroborées du secteur privé, notamment du parc immobilier „privé". Par nombre de bâtiments, le parc immobilier privé constitue environ sept huitième du parc immobilier genevois. Une analyse systématique tient donc compte des données statistiques concernant par exemple les types d'utilisation des bâtiments (basés sur la nouvelle nomenclature du Service Cantonal du Cadastre), les zones ou encore le facteur „patrimoine"et d'autres aspects juridiques et sociaux. Quelle est la structure du parc immobilier et des bâtiments avec un potentiel avantageux du point de vue „propriété"(bloc locatif possédé par des privés, coopératives, etc.)? Comment sont les bâtiments sont-ils utilisés et quels bâtiments se prêtent tout particulièrement pour profiter des valeurs non-monétaires (par exemple „image")? Une telle analyse permet de mieux développer des stratégies pour la promotion photovoltaïque et de mieux cerner les possibilités d'exploiter le potentiel solaire en ciblant les „plates-formes" et leurs particularités.

Dynamisme et l'Exploitation Synergétique du Solaire

Du point de vue „processus", la partie dynamique du parc immobilier (nouvelle construction, rénovation, assainissement, etc.) présente un potentiel particulièrement intéressant et plus important qu'on le pense. Sur le plan dynamique, l'examen montre bel et bien qu'il y a relativement peu d'objets susceptibles de recevoir immédiatement (et sans modifications) une installation photovoltaïque. Une des raisons principales est l'état de la toiture. Pour les toits plats, il convient de procéder à une installation quand l'étanchéité est et reste impeccable pour les 25 années à venir. La pose d'une installation PV devrait être réalisée après ou pendant la rénovation dans le cas des objets avec toitures anciennes. Ce constat est aussi significatif pour les autres toitures, d'autant plus que les cycles de rénovations sont plus importants pour les toitures inclinées. Il est donc utile de connaître la structure du parc immobilier selon les périodes de construction ainsi que les activités de construction et d'assainissement, de quantifier le potentiel et d'identifier les possibilités les plus intéressantes dans la partie dynamique d'un parc immobilier.

Outil ou Lignes Directrices

L'analyse peut focaliser les possibilités d'un ou plusieurs groupes d'acteurs (l'Etat de Genève, une commune, les SIG, etc.). Par exemple, l'approche appliquée ici peut être i) adaptée afin qu'elle devienne des outils simplifiés ou ii) traduite en quelques lignes directrices adressées aux communes et / ou d'autres acteurs pour identifier et déterminer le potentiel solaire dans leur parc immobilier. Ceci peut contribuer à améliorer les approches et l'efficacité des efforts - tout en jouant la carte de la subsidiarité - et rendre les analyses transparentes, cohérentes et orientées vers l'application.

Au vu d'un nombre important d'approches possibles et leurs implications sur la nature et la qualité des résultats et surtout dû aux expériences et attentes souvent divergentes des acteurs-clés dans le domaine, il convient de comparer quelques approches-types possibles.

- L'approche „**pragmatique**“: quand il s'agit de réaliser une ou plusieurs installations dans un très bref délai, il est indiqué de focaliser la recherche sur quelques bâtiments qui correspondent à quelques critères-clés comme p.e. grande surface, hors de la zone classée, bonne solidité de la toiture, etc. Cette approche sert **à trouver quelques toits utilisables** mais ne contribue que très peu à développer des bases de données et des stratégies pour exploiter le potentiel solaire d'un parc immobilier.
- L'approche „**architecturale**“: quand il s'agit de connaître le potentiel effectif et précis d'un bâtiment, il est indiqué d'analyser la structure de la toiture (esthétique, solidité du toit, éviter l'ombre portée par les arbres ou les bâtiments voisins ou les éléments même sur le toit comme p.e. des cheminées, mansardes, etc.) de manière détaillée. Cette approche sert surtout à **examiner correctement un toit pour y mener à bien un projet** englobant une installation solaire. Néanmoins, l'approche devient très lourde et onéreuse si un parc immobilier doit être analysé pour exploiter son potentiel solaire.
- L'approche „**statistique**“: lorsqu'il s'agit de cerner le potentiel solaire dans un parc immobilier, il est indiqué de relever les données les plus essentielles dans un échantillon représentatif. Cette approche sert – par le biais des extrapolations statistiques - à **créer une base de données pour déterminer le potentiel solaire** et à **développer des stratégies pour exploiter le potentiel solaire d'un parc immobilier concret**. Les informations collectées et générées par bâtiment sont à utiliser pour une évaluation statistique et pour une classification des bâtiments. Néanmoins, ces informations ne remplacent guère une analyse détaillée nécessaire dans le cadre d'une installation solaire concrète.

Il est important de bien articuler les objectifs et les approches pour que des outils / lignes directives soient simples et efficaces en même temps.

Urbanisme

L'architecture et l'urbanisme sont en interaction „permanente“. Il y a bien des relations intéressantes et pertinentes sous un angle solaire. Par exemple l'ombre portée: Quel est l'impact du voisinage? Quel est l'impact de l'ombre portée par la végétation? Quel est l'impact de l'ombre portée par les bâtiments? Y-a-t-il des zones / types de bâtiments / tranches d'âges / taille des bâtiments / formes de toiture / communes / etc. particulièrement touchés?

L'analyse présente déjà quelques indications intéressantes. Par exemple, parmi les objets avec un axe principale identifiée, ce sont les secteurs „diagonaux“ qui sont très fréquents - une orientation potentiellement intéressantes et favorables s'il s'agit d'évaluer le potentiel des façades dans un contexte fortement urbanisé.

Ce volet peut comprendre tout un éventail de questions d'intérêt pratique et académique. Quelle est la qualité solaire et architecturale des bâtiments protégés (le bâtiment même ou des zones comme par exemple 4BP)? Quelles directions / orientations priment à Genève, dans quelle zones avec quels types de bâtiment? Quels types de toiture sont présents dans quelle fréquence dans quelles zones avec quels types de bâtiment, etc.?

Technologie et Energie

L'évolution technologique est très dynamique, surtout en ce qui concerne le photovoltaïque qui présente un véritable potentiel de rendre la peau du bâtiment multi-fonctionnelle. Il existe un éventail grandissant de couleurs, formes, élasticités, etc., ce qui permet de trouver des solutions qui satisfassent l'architecture et la technologie. Quelles sont ces solutions existantes et futures pour quelles architectures et applications?

Le potentiel solaire peut être affiné en termes énergétiques, par exemple l'optimisation et l'harmonisation entre l'architecture et la technologie dans le contexte genevois. Quelle est l'utilisation optimale d'un toit plat? Quel est le rendement solaire dans des situations sub-optimales? Quelles sont les situations critiques?

Bases de Données et les Interfaces

Le SITG s'avère un outil utile, efficace et performant quand il s'agit d'analyser le potentiel solaire dans le parc immobilier. Néanmoins quelques difficultés de définitions et d'interfaces se sont manifestées pendant la phase de l'analyse. Ces difficultés risquent de créer des incompatibilités et une allocation des ressources sub-optimale. Quelques exemples:

Le terme „bâtiments publics" s'avère flou et complexe en même temps. Quelques observations dans le contexte du SITG et du registre foncier:

- Le terme de „bâtiments publics" est flou.
- Juridiquement, c'est plutôt le terme d' „immeuble" qui est appliqué. Il n'y a pas de notion de « bâtiment public".
- „Public" peut se référer au propriétaire qui lui-même est „public" s'il s'agit d'une collectivité de droit public.
- La propriété publique se réfère à la parcelle, donc c'est uniquement indirectement par la parcelle que le bâtiment public peut être défini.
- Il y a 21 types de propriétaires „publics" - des collectivités de droit public (voir tableau en bas).

En conclusion, le SITG définit un „bâtiment public" de manière indirecte par le biais du type de propriétaire de la parcelle sur laquelle se trouve le bâtiment. Théoriquement, le registre foncier a mis à disposition des informations qui pourrait indiquer si différence entre propriétaire de la parcelle et propriétaire de l'immeuble il y a.

Dans l'autre sens, il serait intéressant de lier les porte-feuilles – les bâtiments gérés par tel ou tel service – avec le SITG. En théorie, il n'y devrait pas y avoir de problème. En réalité, ce lien n'est pas toujours pratiqué ou praticable. Des fois, malgré un code administratif omnivalent et identique, il peut y avoir perte ou incompatibilité d'information de part et d'autre d'une interface. Le SITG offre en principe d'autres moyens pour trouver une communication sûre et efficace entre les différents secteurs et instances.

Finalement, quelques lacunes semblent exister pour certaines informations comme p.e. la période de construction ou l'adresse. Ceci peut limiter l'utilisation statistique des données et l'utilité des informations „sur terrain", tout particulièrement dans le domaine du parc immobilier.

5 Sources et Références

Sources et Adresses Oùebe

Meteonorm: http://www.meteotest.ch/en/mn_home?w=ber

PVSYST: http://www.pvsyst.com/

Scan-E: http://www.ge.ch/scane

SITG: http://www.sitg.ch/

Références (Sélection)

Scan-E / NET, Solar Energy Potential & Policy in Geneva, Genève / St.Ursen / Paris 2003

IEA PVPS (Agence Internationale de l'Energie), Potential for Building Integrated Photovoltaics, Paris / St.Ursen 2002

EC (Commission Européenne), Solar ElectriCity Guide, Brussels / Barcelona 2001

Nowak, S., Gutschner, M. et al, PV City Guide – Implementing Photovoltaics in the Urban Environment, Lausanne / St. Ursen 2000

Nowak, S., Gutschner, M., Konzeptgrundlagen und Handlungsmöglichkeiten zur Förderung und Kommerzialisierung der Photovoltaik im Kanton Freiburg, Fribourg / St.Ursen 1999

Nowak, S., Gutschner, M., Photovoltaisches Potential im Kanton Freiburg, Fribourg / St.Ursen 1998

Nowak, S., Gutschner, M., Photovoltaisches Potential in der Stadt Zürich, Teil 1: Flächenpotential, Zürich / St.Ursen 1998

Nowak, S., Gutschner, M., Photovoltaisches Potential in der Stadt Zürich, Teil 2: Analyse der technologischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Indikatoren, Zürich / St.Ursen 1998

Nowak, S., Gutschner, M., Potential and Implementation of Building-Integrated Photovoltaics on the Local Level – Case Studies and Comparison of Urban and Rural Areas in Switzerland, Vienna / St.Ursen 1998

BFE (Office Fédéral de l'Energie), Abschätzung des PV-Flächenpotentials im schweizerischen Gebäudepark, Bern / Fribourg 1996