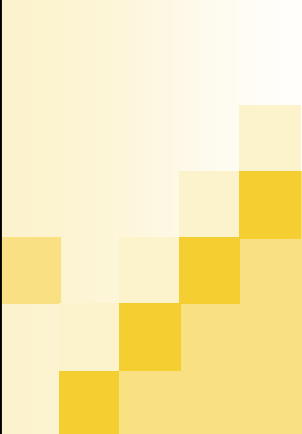




UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT

Evaluation du potentiel solaire photovoltaïque et thermique dans un environnement urbain

*Etude de cas de deux territoires
genevois : Les Pâquis et Veyrier*

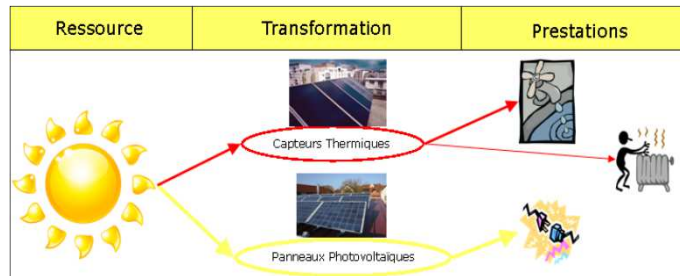
Loïc Quiquerez Séminaire de recherche – UNIGE 14.03.2013



Plan de la présentation

- Contexte et caractéristiques des filières solaires
- Présentation de la méthode d'évaluation du potentiel solaire et des résultats
- Conclusions

Les filières solaires

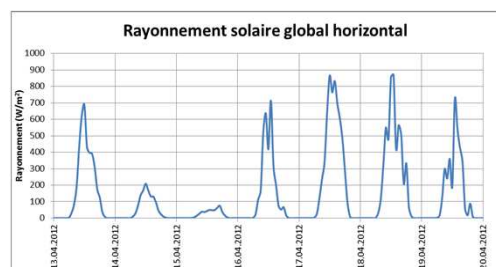


Source: Faessler

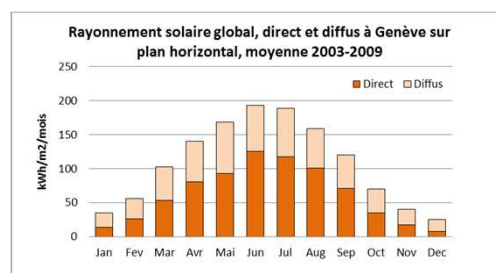
- Une ressource locale
- Inépuisable et presque illimitée
- Variable spatialement et temporellement
 - Dynamique jour/nuit (rotation de la terre)
 - Dynamique été/hiver (inclinaison de l'axe de la terre)
 - Conditions météorologiques (couverture nuageuse)

Ressource: variabilité temporelle

- Jour/nuit



- Saisonnalité

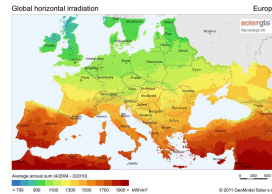
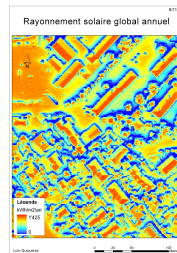


Source: Groupe énergie UNIGE

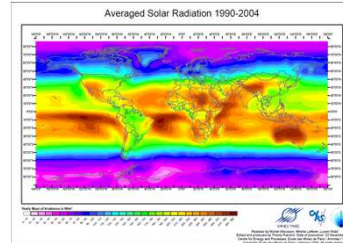
Ressource: variabilité spatiale

■ Plusieurs échelles

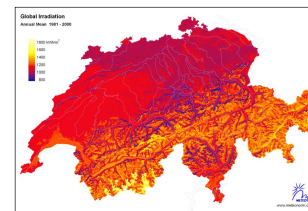
- Monde
- Continent
- Pays
- Ville
- Quartier



Source: PV-GIS



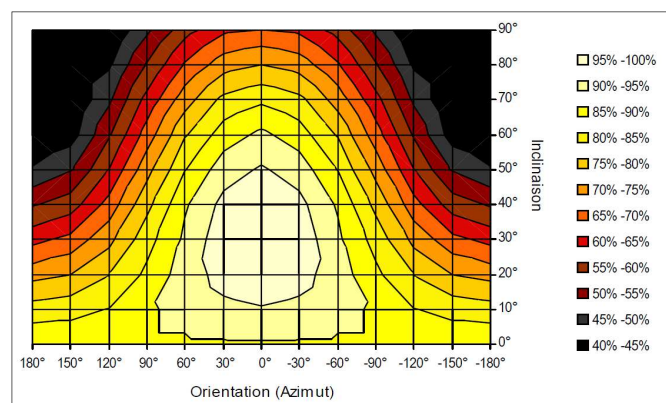
Source: Helioclim-Soda



Source: Meteonom

Ressource: inclinaison et orientation

Pour Genève



Source: NOWAK

Valorisation: des contraintes techniques

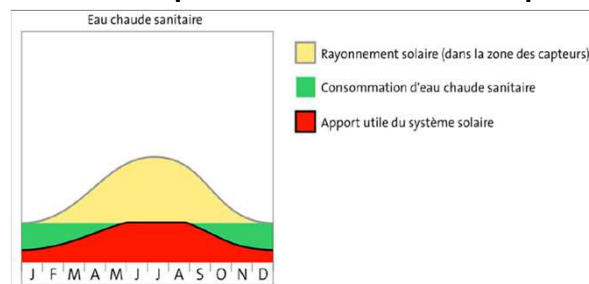
- Adéquation spatio-temporelle entre ressource et besoins
 - PV: réinjection de la production dans le réseaux
 - Production non-liée spatialement et temporellement à la demande locale
 - Thermique: difficulté de stockage et de transport de la chaleur
 - Production liée spatialement et temporellement à la demande locale
 - Importance du dimensionnement (en fonction de la consommation)



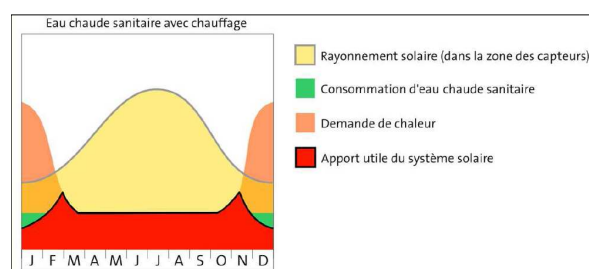
Il faut prendre en compte la demande thermique dans ses dimensions spatiales et temporelles

Concordance de temps: solaire thermique

■ ECS

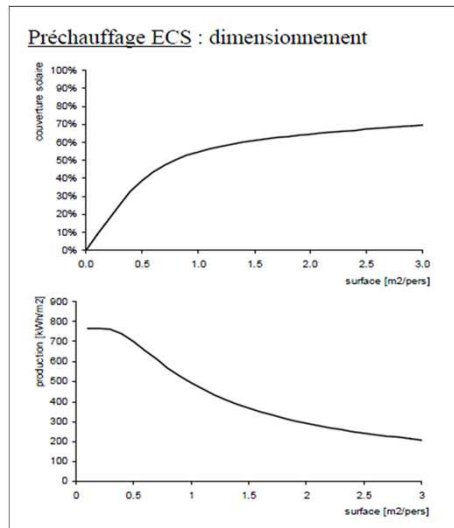


■ ECS et appoint chauffage



Source: solarpraxis

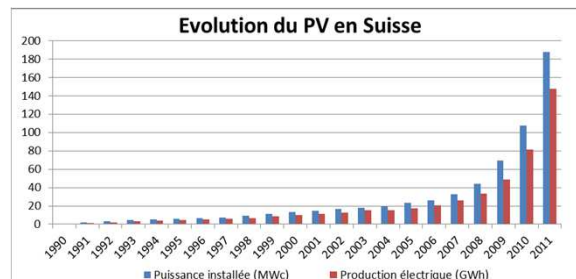
Importance du dimensionnement dans le cas du solaire thermique pour l'ECS



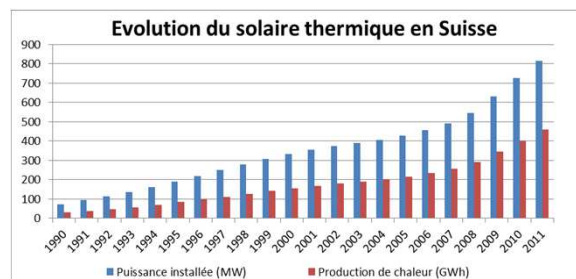
Valorisation: d'autres contraintes

- Contraintes liées à l'occupation du sol
 - Exploitation de la ressource : surfaces de captage
 - Conflits d'usage
 - En ville: option décentralisée privilégiée (installations sur toitures)
- Contraintes économiques
 - Pas rentable d'installer un panneau PV sur un toit mal orienté/incliné
 - Pas rentable d'installer un capteur thermique mal dimensionné
- Acceptation
 - Installations PV vs patrimoine

Les filières solaires en Suisse



~ 0.25% de la consommation électrique finale



~ 0.5-1% de la consommation énergétique finale de chauffage et eau chaude sanitaire

Source: OFEN

Perspectives

■ PV

- 20% des besoins électrique en 2025 avec du PV
- 90 km² de panneaux, soit 12 m²/hab.

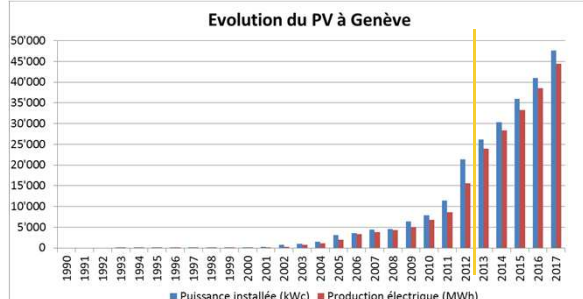


■ Thermique

- 20% des besoins thermiques des logements (chauffage et ECS) en 2035

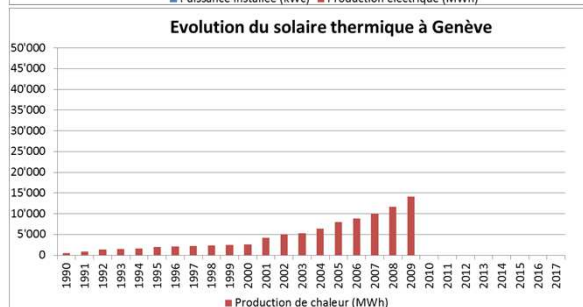
Source: Swissolar

Les filières solaires à Genève



~ 0.5% de la
consommation
électrique finale

Source: SIG, 2013



~ 0.5% de la
consommation finale
d'énergie thermique

Source: OCEN, 2010

Les objectifs pour Genève

■ Horizon 2030

- PV: 128 MWc (càd ~119 GWh/an) (OCEN)
- Thermique: 60 GWh/an (OCEN)

■ Constat: on est encore loin des objectifs !!!

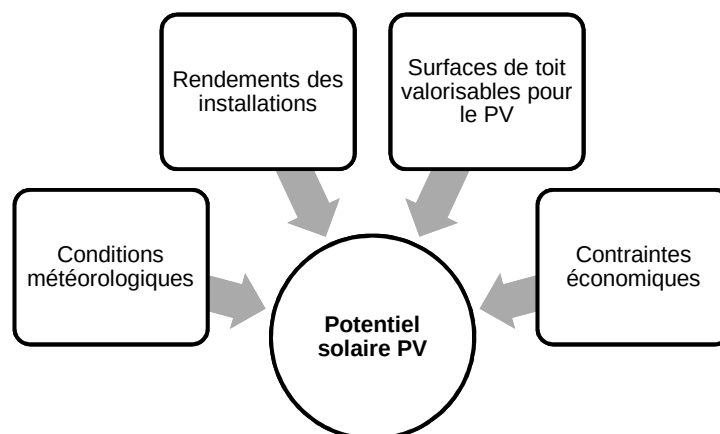
■ Pour y arriver:

- Instruments de politiques énergétiques
 - Subventions à l'investissement (Thermique)
 - Rachat à prix coûtant (PV)
 - Instruments réglementaires
- Planification énergétique territoriale
- Outil d'aide à la décision, stratégie de développement
 - Identification du potentiel

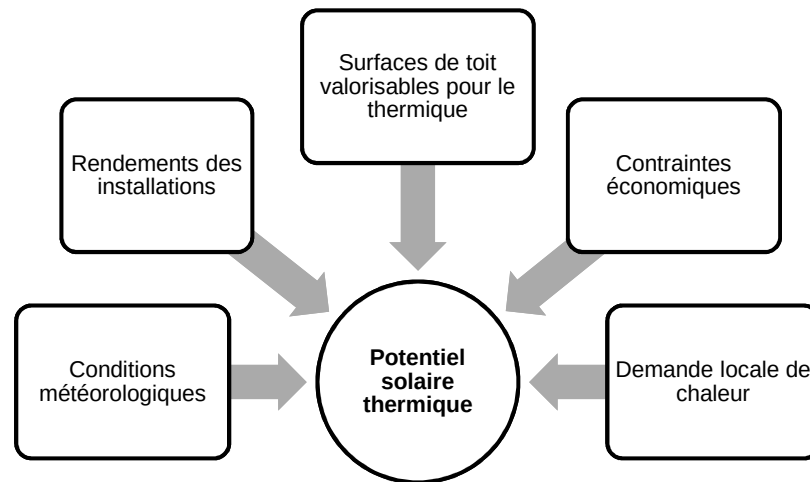
Objectif de l'étude

- Evaluer le potentiel des filières solaires au niveau territorial
- Comparer des territoires avec des caractéristiques morphologiques différentes
- Comparer différents scénarios (PV/thermique)

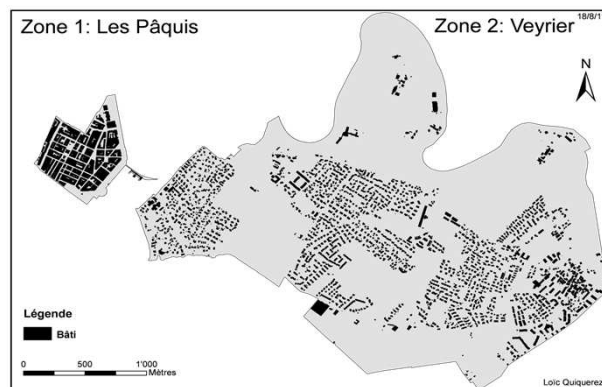
Définition du potentiel solaire photovoltaïque



Définition du potentiel solaire thermique

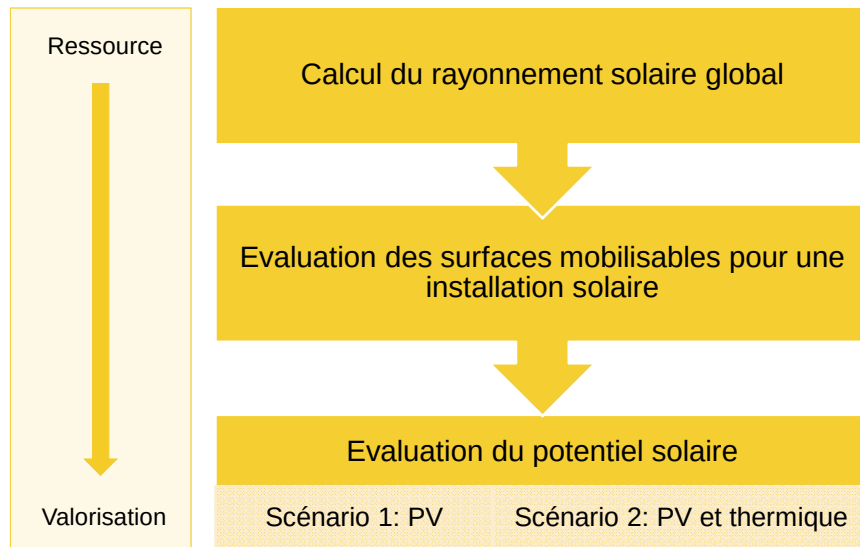


Présentation des deux territoires



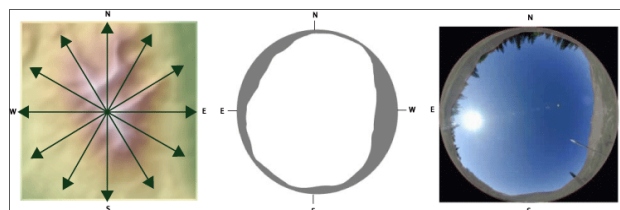
Indicateurs morphologiques	Pâquis	Veyrier
Population	10'642	9'411
Nombre de bâtiments	637	4'052
Emprise au sol du bâti (m ²)	191'331	467'743
Surface des toits	212'897	521'548
Densité de population par rapport au bâti (pers./m ²)	0.06	0.02

Méthode d'évaluation du potentiel solaire



Evaluation de la ressource solaire

- L'outil *solarradiation*
 - Intègre la géométrie solaire pour dériver l'irradiance sur chaque pixel d'un MNS
- Le Sky View Factor
 - Calcul de l'horizon

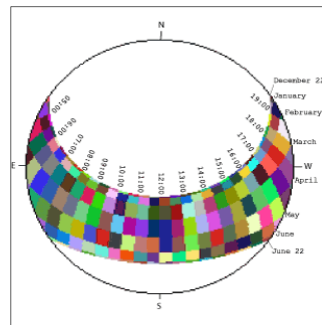


Source: ESRI

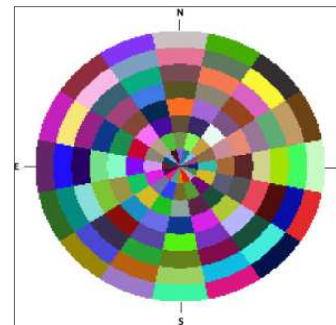
Evaluation de la ressource solaire

■ Division du ciel en secteurs

Direct



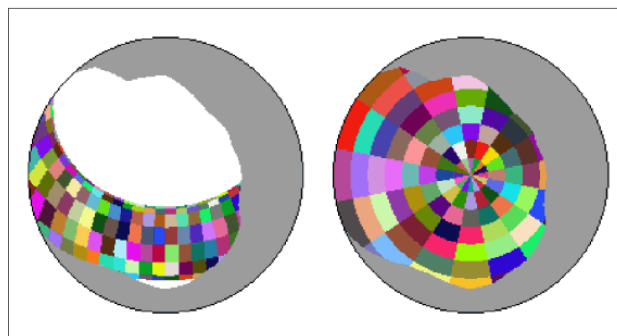
Diffus



Source: ESRI

Evaluation de la ressource solaire

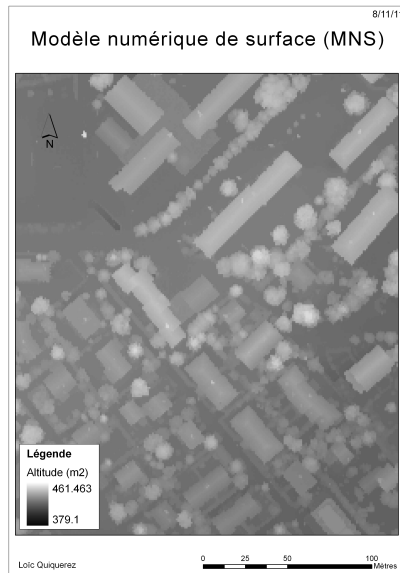
■ Superposition



Source: ESRI

■ Direct + Diffus = Global

Evaluation de la ressource solaire



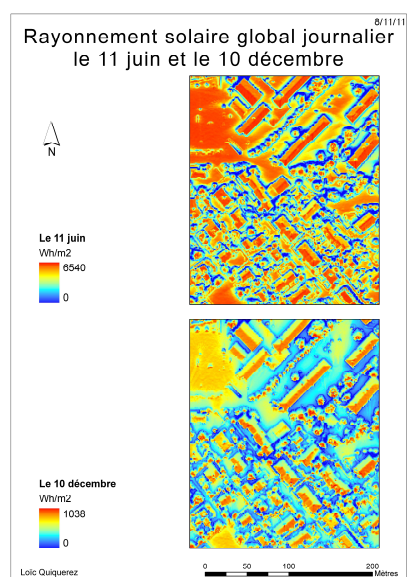
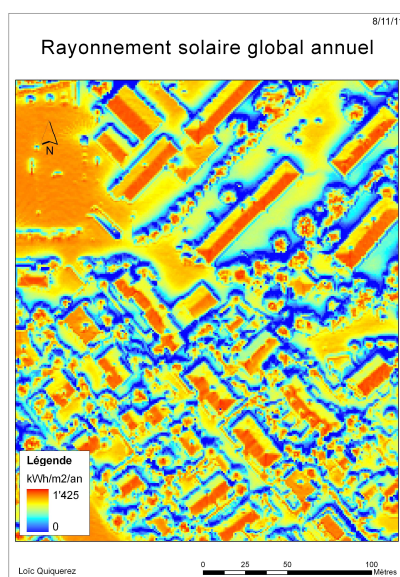
■ L'outil *areasolarradiation*

■ Les inputs

- Un modèle numérique de surface
- La latitude
- L'intervalle de temps
- La proportion diffus/global
- La transmissivité atmosphérique

■ Calibration sur des données mesurées

Evaluation de la ressource solaire



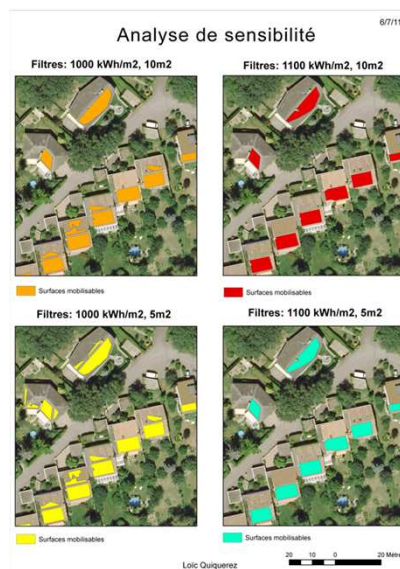
Déterminer les surfaces de toit mobilisables



- A partir des surfaces de toit
- Application de filtres
 - Retirer les superstructures
 - Retirer les bordures
 - Irradiance > 1'100 kWh/m²/an
 - Prise en compte des effets de pente, d'orientation et d'ombrage
 - Surfaces minimales (10m²)

Résultats	Pâquis	Veyrier
Surfaces mobilisables (m ²)	56'244	132'313
Surfaces mobilisables/hab (m ² /hab)	5.3	14.1
Part des surfaces mobilisables (%)	27	25

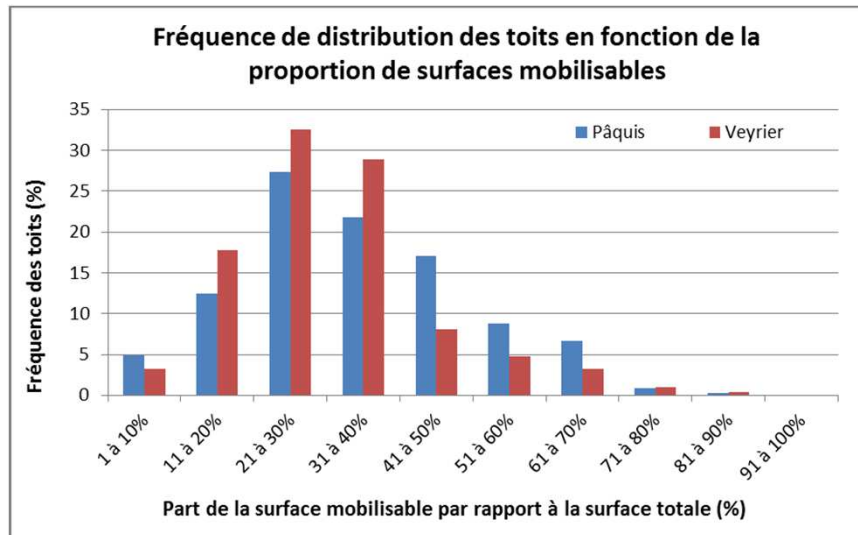
Le choix des filtres



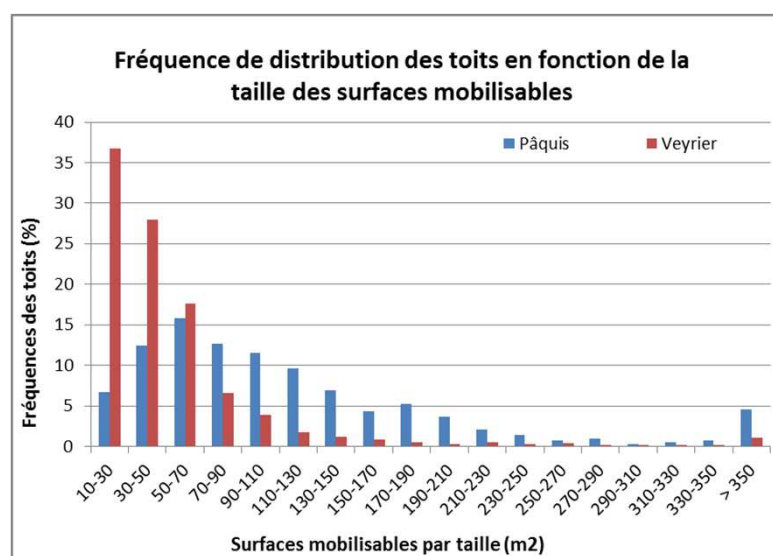
- Les critères
 - Faisabilité technique
 - Faisabilité économique

FILTRES :	1000kWh 10m ²	1100kWh 10m ²	1000kWh 5m ²	1100kWh 5m ²
Surfaces mobilisables (m ²)	70'236	56'244	73'580	58'986
Part des surfaces mobilisables	0.33	0.27	0.35	0.28
Rayonnement mobilisable (MWh)	75'453	62'083	78'740	64'922

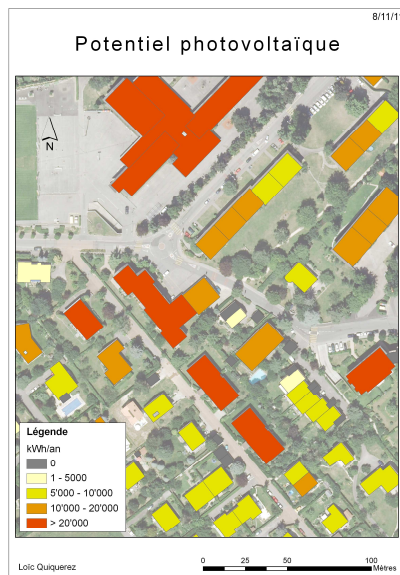
Surfaces mobilisables: analyse



Surfaces mobilisables: analyse



Scénario 1: PV



■ Surfaces de toit valorisées pour le PV

- Surface minimum 15m²

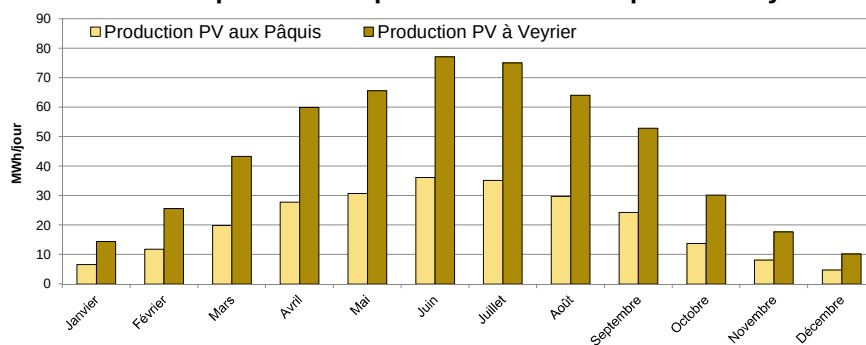
■ Production PV (Silicium cristallin)

- Irradiance sur les panneaux PV
- Rendement de système 12%

Scénario 1: Résultats

		Pâquis	Veyrier
PV	Surfaces valorisées PV (m ²)	56'165	129'397
	Production PV (MWh)	7'440	17'548
	Puissance installée (MWc)	8.4	19.4
	Productivité (kWh/m ²)	132	136
	Taux de couverture (%)	8.8	55.8

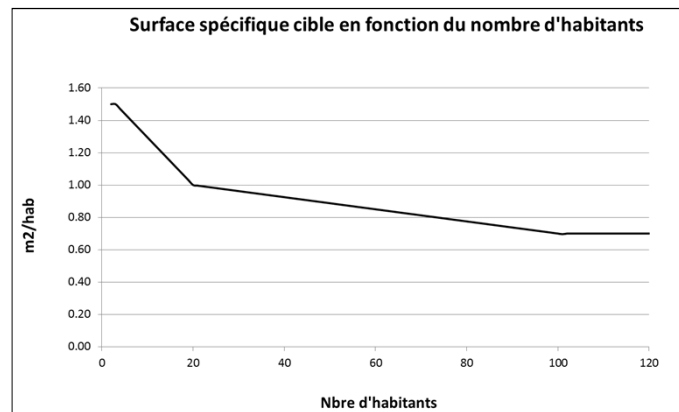
Comparaison du potentiel PV aux Pâquis et à Veyrier



Scénario 2: ECS et PV

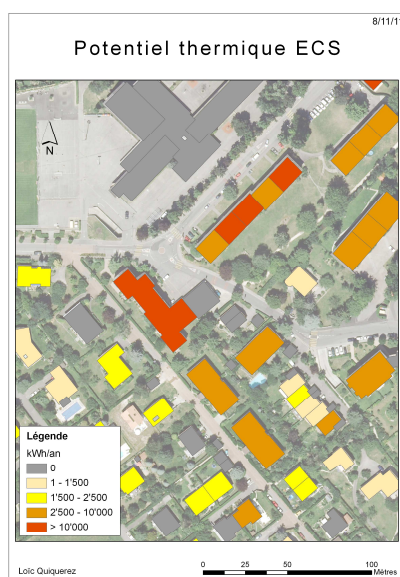
■ Surfaces de toit valorisées ECS

- Dimensionnées en fonction du nombre d'habitants
- Prise en compte de la place disponible en toiture



Inspiré de OFEN

Scénario 2: ECS et PV



■ Production de chaleur (capteurs vitrés)

- Modèle issu de simulations
- Irradiance sur les capteurs
- Prise en compte du dimensionnement
- Prise en compte de la consommation

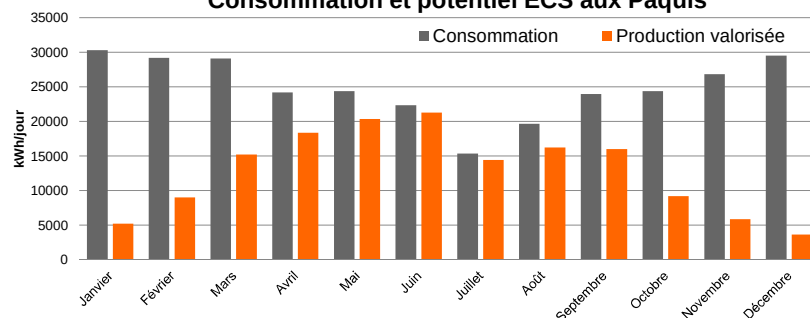
■ PV

- Retirer les surfaces de toit valorisées ECS

Scénario 2: Résultats

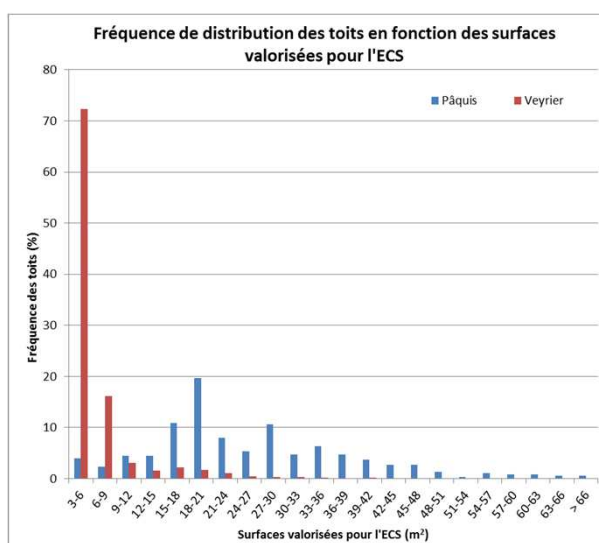
		Pâquis	Veyrier
ECS	Surfaces valorisées ECS (m ²)	9'715	10'969
	Production thermique ECS (MWh)	4'720	4'138
	Productivité ECS (kWh/m ²)	486	377
	Taux de couverture ECS (%)	51.9	54.5
PV	Surfaces valorisées PV (m ²)	46'315	117'549
	Potentiel PV (MWh)	6'135	15'946

Consommation et potentiel ECS aux Pâquis



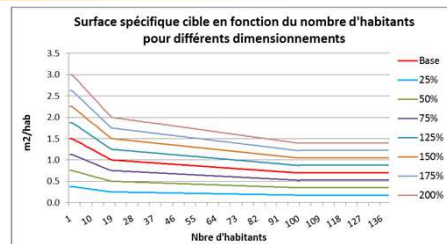
Scénario 2: Résultats

Des installations solaire thermique plus petites à Veyrier

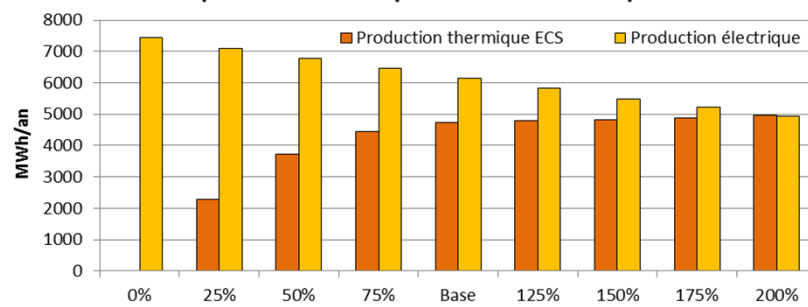


Dimensionnement:

Analyse de sensibilité

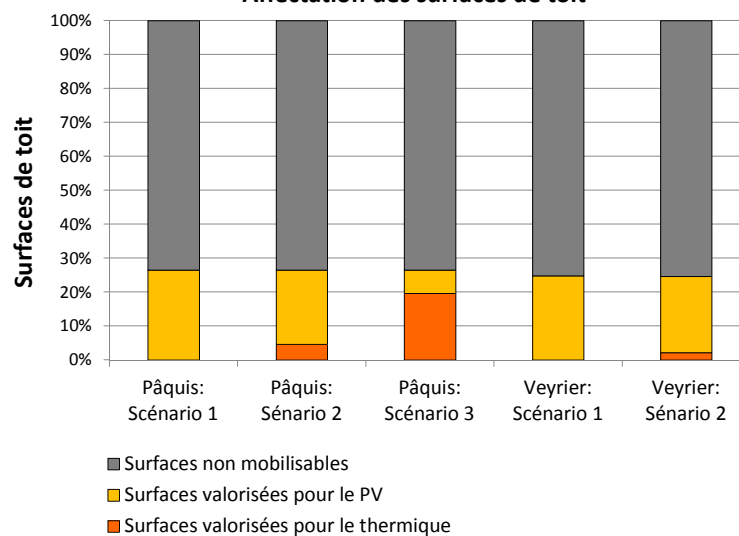


Impact du dimensionnement des capteurs thermiques sur le potentiel thermique ECS et PV aux Pâquis

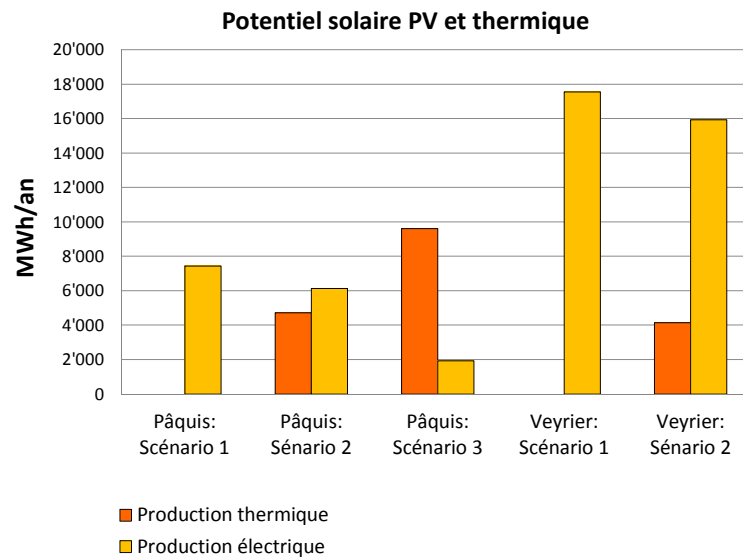


Comparaison des scénarios

Affectation des surfaces de toit



Comparaison des scénarios



Extrapolation sur le canton de Genève

Potentiel PV

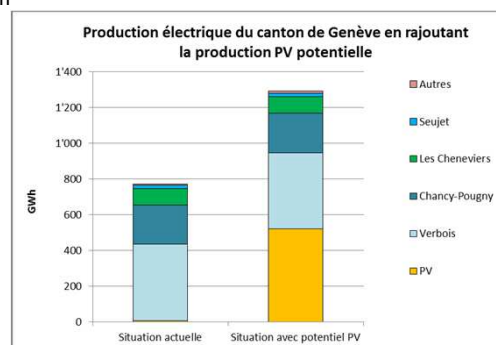
Variables utilisés:

- Surface de toit total sur le canton: 15 mio m²
- Surface mobilisable : 26%
- Productivité moyenne : 134 kWh/m²

Résultats:

- Surface mobilisable: **3.9 km²**
- Potentiel = **521 GWh** (583MWc)
- Taux de pénétration = 17%
- 40% de la production électrique

→ **8.4 m²/hab**



Source: OCSTAT

Extrapolation sur le canton de Genève

Potentiel solaire thermique ECS

■ Variables utilisées

- Production par habitants: 442 kWh/hab
- Population: 464'000

■ Résultats

- Potentiel solaire thermique = **205 GWh**
- Taux de couverture: 49% des besoins ECS dans le logement

—————→ **1 m²/hab**

Potentiel PV avec solaire thermique ECS

- Le potentiel PV en présence de capteurs thermiques ECS = **457 GWh**
- **7.4 m²/hab**

Conclusions: résultats

- Potentiel des filières solaires intéressants
- Pas vraiment de concurrence PV/thermique
- Importance d'analyser les caractéristiques morphologiques des territoires
- Potentiel vs réalité
 - Nécessite une vraie volonté
 - Dépasser les contraintes économiques
 - Réduire les contraintes techniques

Conclusion: méthode

■ Méthode générale

□ Avantages:

- Possibilité de la reproduire sur d'autres territoires facilement (pour autant qu'on ait les données)
- Possibilité de faire varier un certain nombre de paramètres (faire différents scénarios)
- Possibilité d'intégrer d'autres données géoréférencées

□ Limites:

- Attention aux données !
- Non-prise en compte de certains conflits d'usage (terrasses, toits végétalisés etc.)

■ Outil pour d'aide à la décision

- Planification énergétique territoriale
- Identification de zones intéressantes

Quelques références

■ Modélisation de la ressource solaire (*solarradiation*)

- Fu, P., Rich, P.M. (1999). *Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales*. Proc. IX Annual ESRI User Conference.
- ESRI, ArcGIS Resource Center
<http://resources.arcgis.com/en/home/>

■ Modélisation de la production des capteurs solaires

- Lachal, B. (2000) *Enercad, calcul de la production de chaleur des capteurs solaires thermiques à Genève* (Rapport technique).

■ Applications de l'outil solarradiation pour évaluer le potentiel solaire

- Brito, M.C., Gomes, N., Santos, T., Tenedorio, J.A. (2011). *Photovoltaic potential in a lisbon suburb using LiDAR data*. Elsevier editorial system for solar energy.
- Quiquerez, L. (2012). *Evaluation du potentiel solaire PV et thermique dans un environnement urbain*. Mémoire de master.
- Faessler, J. (2010). *Evaluation du potentiel solaire en milieu urbain: essais d'application aux toitures du canton de Genève*. Mémoire de certificat de géomatique.

■ Dimensionnement des capteurs solaires thermiques

- OFEN (2000). Dimensionnement d'installations à capteurs solaires.
<http://www.suisse-energie.ch>