

De la chaleur solaire comme source froide

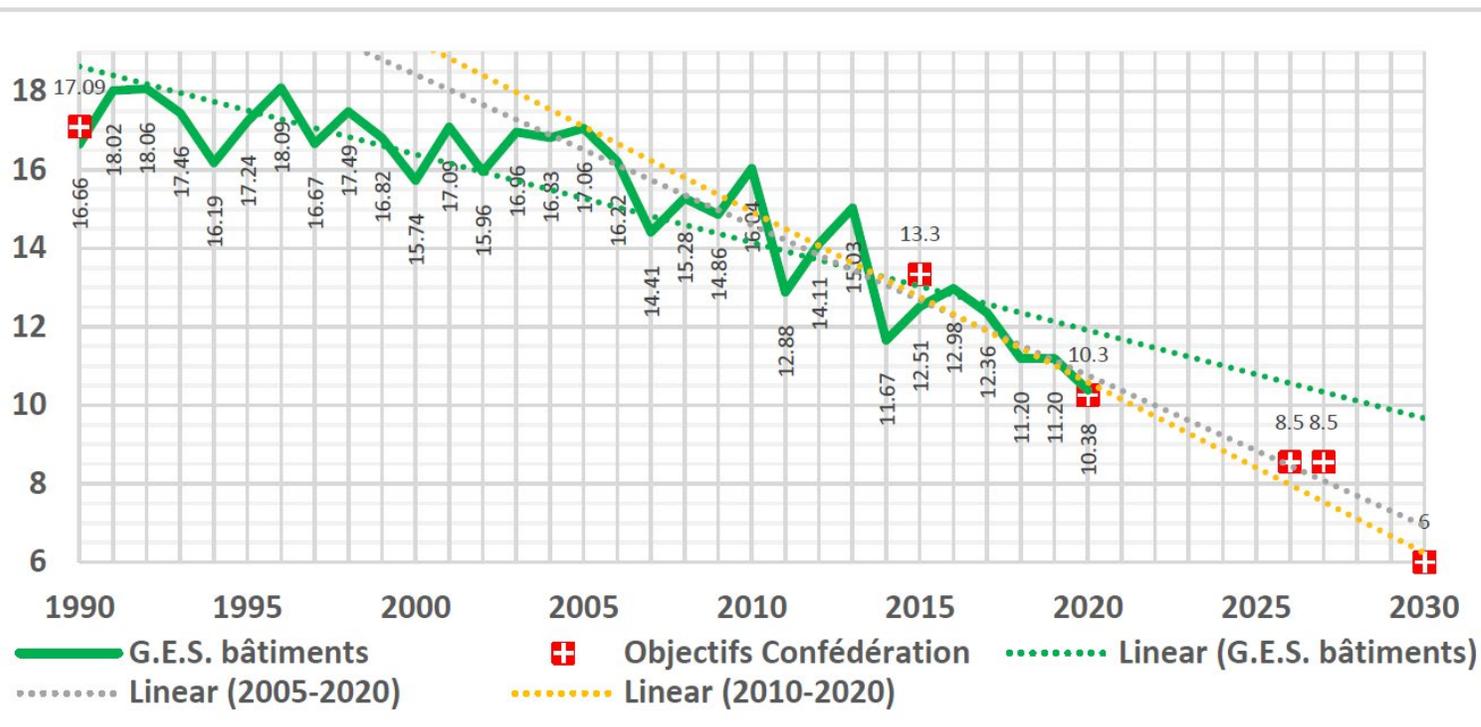
Couplage PAC et solaire thermiques – Des solutions prometteuses



- Agenda**
1. Parc immobilier et transition énergétique - Contexte et constat
 2. Décarboner avec les PAC
 3. La chaleur solaire comme source froide pour les PAC
 4. Système TriSolHP - Une alternative attractive
 5. Conclusion & perspectives

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Emission de gaz à effet de serre suivant les secteurs d'activités



- Les sources majeurs d'émission de gaz à effet de serre (GES) sont:
1. Transport (32%)
 2. Industrie + émission de procédés (20%)
 3. Les ménages (17%)
 4. Agriculture (13%)
 5. Secteur tertiaire (10%)

Industrie, ménage et service représentent **plus du tiers** des émissions de GES

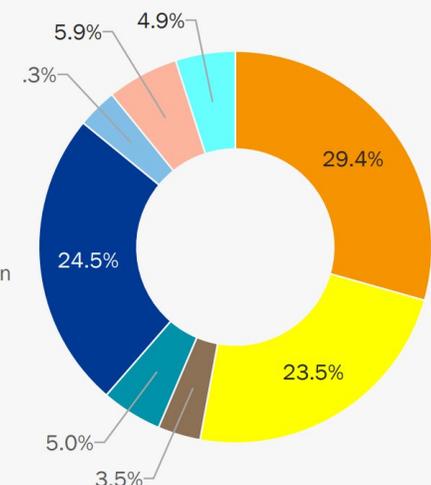
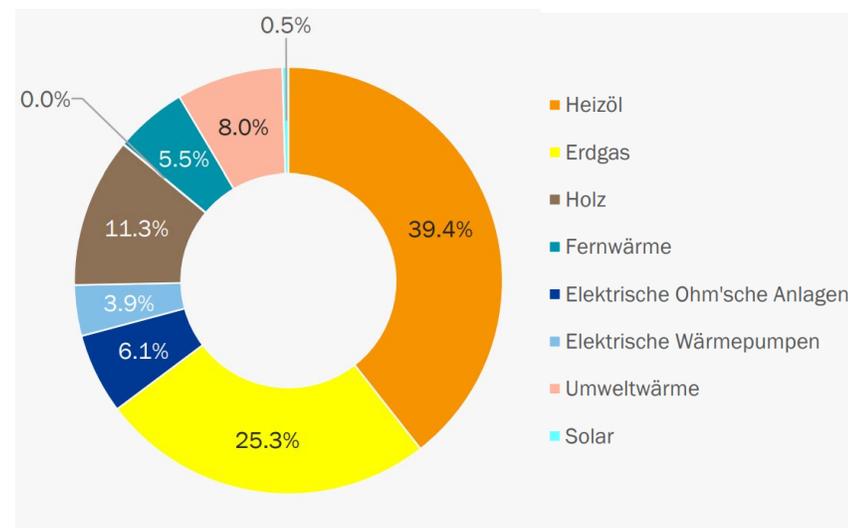
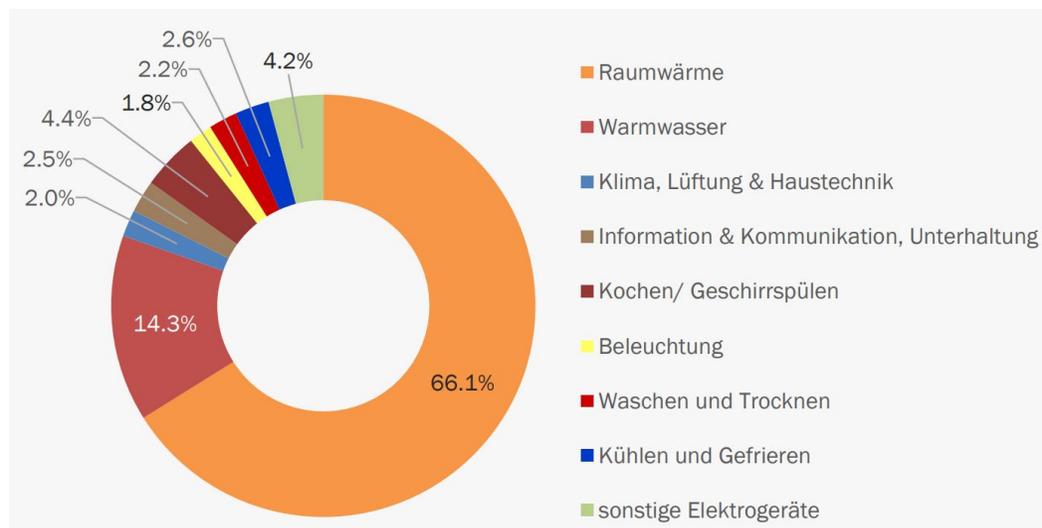
Source: Inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse, OFEV (2021), présentation EnDK (2021)

Parc immobilier ~ 45% demande d'énergie finale et ~25% émission GES

Perspective énergétique: -40 à 45% d'émission d'ici 2030!!

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Consommation chaleur bâtiments



Source: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2019 nach Verwendungszwecken, Infrac TEP & Prognos, 2020

Consommation d'énergie finale par application (2019)

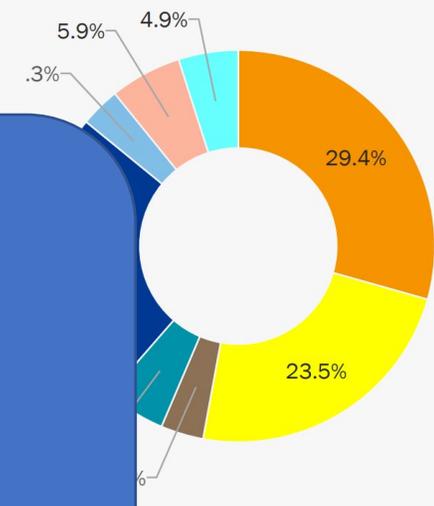
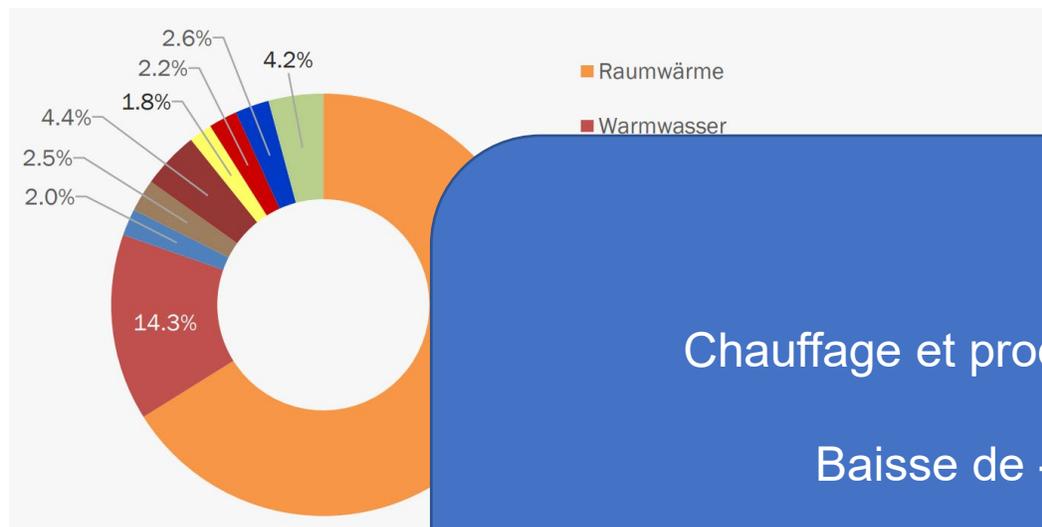
Chauffage des bâtiments par source d'énergie (2019)

Production d'ECS par source d'énergie (2019)

1. **Chauffage et ECS** représente **80%** de la consommation d'énergie finale
2. **Chauffage** produit principalement avec **énergie fossile (~65%)**
3. **ECS** produite avec **gaz/mazout (~53%)**, part électricité directe encore importante (~25%)
4. Part bois et PAC encore faible mais en croissance!

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Consommation chaleur bâtiments



Chauffage et production ECS parc immobilier très carboné

Baisse de -40 à 45% des émissions d'ici 2030

→ Il est urgent de décarboner rapidement

1. Chauffage et ECS représente 80% de la consommation d'énergie finale
2. Chauffage produit principalement avec énergie fossile (~65%)
3. ECS produite avec gaz/mazout, part électricité directe encore importante
4. Part bois et PAC encore faible mais en croissance!

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Solution de décarbonation

Deux chemins possibles:

1. «Voie royale»:

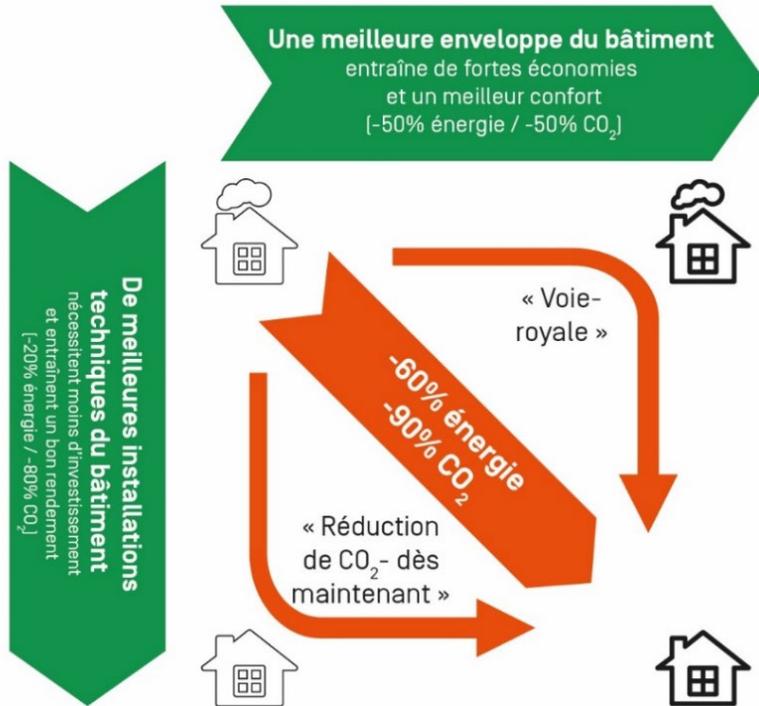
- A. Rénovation d'enveloppe: -50% de consommation d'énergie, -50% émission GES
- B. Substitution chaleur «fossile» par chaleur renouvelable: -20% consommation d'énergie, -80% émission GES

Programmes subventions suivent cette voie

2. «Voie pragmatique»:

- A. Substitution chaleur «fossile» par chaleur renouvelable
- B. Rénovation d'enveloppe → plus tard

Taux rénovation trop faible → il faut suivre une voie médiane



Source : Office fédérale de l'énergie (OFEN)

Avec un **taux de rénovation de <1%/an** → il faut adapter la stratégie et mettre la priorité sur **la décarbonation**

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Solution de décarbonation

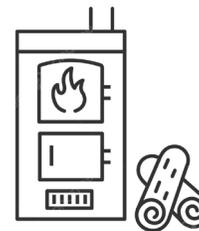
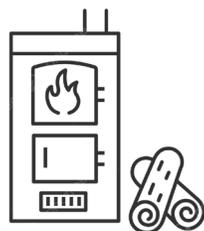
Maison individuelle



Bâtiment multi familial



Zone rurale/Peu dense



Zone urbaine/Dense



Peu de technologie disponible

Parc immobilier Suisse – Contexte et constat

Solution de décarbonation

individuelle



multi familial



Zone rurale/Peu dense

Bâtiment habitation collectif en zone urbaine (35% consommation énergie primaire) ont peu d'option pour décarboner leur production de chaleur

→ Il faut développer/tester **de nouvelles solutions de production de chaleur renouvelable**

Zone urbaine/Dense



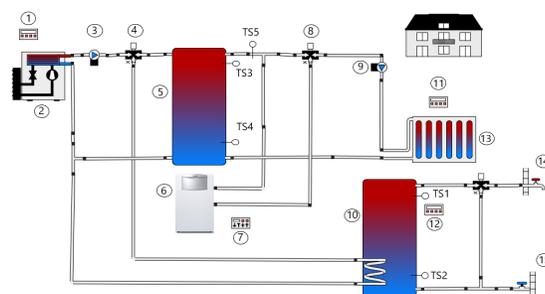
Décarboner avec les PAC

PAC → -75 à -80% de GES par kWh par rapport au gaz!!!

Mais

- ✓ Dépend du **COP**: source froide, niveau de température, ratio chauffage/ECS
- ✓ PAC géothermique: pas partout envisageable
- ✓ PAC Air/Eau: intégration PAC et gestion bruit

Cas d'étude: un bâtiment multi familial année 60'



Installation PAC en bivalence sans rénovation

Scénarios [-]	Réduction des émissions [%]	Part PAC [%]	Emissions [gCO ₂ -eq/kWh _{th} ·an]	Prix de revient de la chaleur [ct/kWh]
1	60	80%	110	15.17
Actuel	-	-	247	18.00

Technologie	Emission de gaz à effet de serre
Gaz	249 g/kWh
Mazout	322 g/kWh
Pellet	38 g/kWh
Plaquette	20 g/kWh
Solaire thermique (eau chaude villa)	37 g/kWh
Solaire thermique (eau chaude immeuble)	14 g/kWh
PAC Air/eau (COPa ~2.8)	63 g/kWh
PAC Géothermique (COPa ~3.9)	46 g/kWh
CàD (moy. Suisse)	67 g/kWh

Selon KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

Décarboner avec les PAC

PAC → -75 à -80% de GES par kWh par rapport au gaz!!!

- ✓
- ✓
- ✓

- **Projet AirBiVal:** Monitoring et optimisation de PAC air/eau dans bâtiments multifamiliaux
- **Eco21** et **SIG** développe des solutions de contracting et subvention



Scénarios [-]	Réduction des émissions [%]	Part PAC [%]	Emissions [gCO ₂ -eq/kWh _{th} ·an]	Prix de revient de la chaleur [ct/kWh]
1	60	80%	110	15.17
Actuel	-	-	247	18.00

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et Cleantech

Rapport final du 30 septembre 2021

AirBiVal

Développement et optimisation de concepts hybrides de pompes à chaleur sur l'air pour des immeubles résidentiels collectifs.



<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:156969>

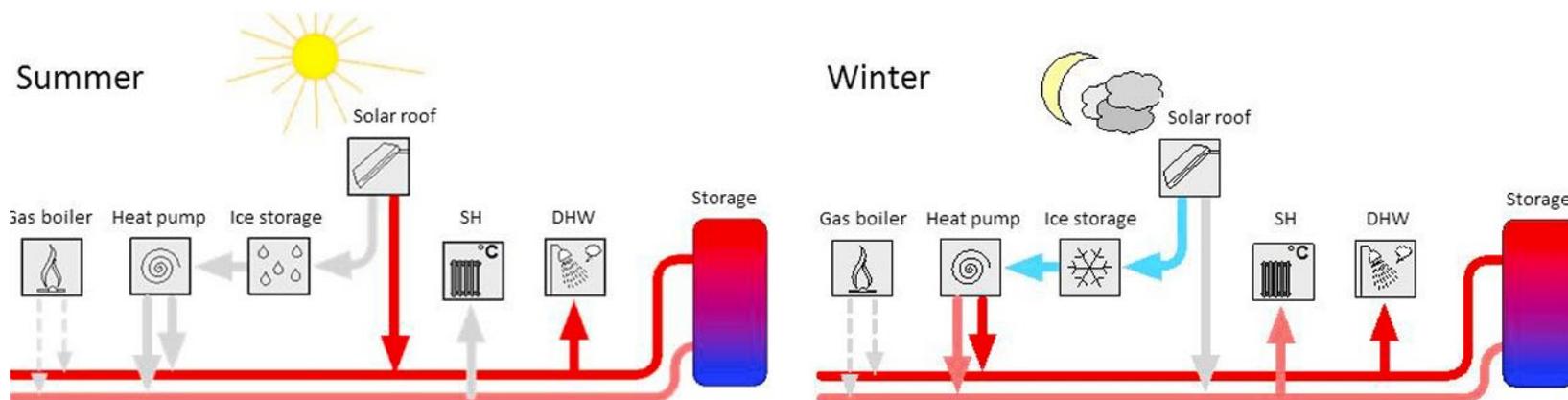
Te

P
Solai
(eau
Solai
(e
ir
PAC A
PAC G
(C
CàD
Se

La chaleur solaire comme source froide

Collecteurs plans non vitrés en source froide ~ **chaleur solaire** + **Chaleur de l'environnement**

La Cigale à Genève système IceSol



- Deux bâtiments rénovés Minergie-P de 19'000 m²
- 1'740m² de collecteurs plan non vitrés
- 500kW de PAC B0W35
- ECS ~51% et Chauffage ~49%
- Stockage thermique deux niveaux:
 - Stock de froid: 60m³
 - Stock chaud stratifié: 32m³

- Monitoring des performances du système de 06.2014 à 05.2016 (projet p+d)
- COPa de PAC de 3.0
- COP système de 3.5 (bypass de la PAC en été)
- Répartition source chaleur
 - 78% de PAC/Solaire indirect
 - 14% de Solaire direct
 - 8% de source auxiliaire (gaz)

La chaleur solaire comme source froide

Collecteurs plans non vitrés en source froide ~ **chaleur solaire** + **Chaleur de l'environnement**

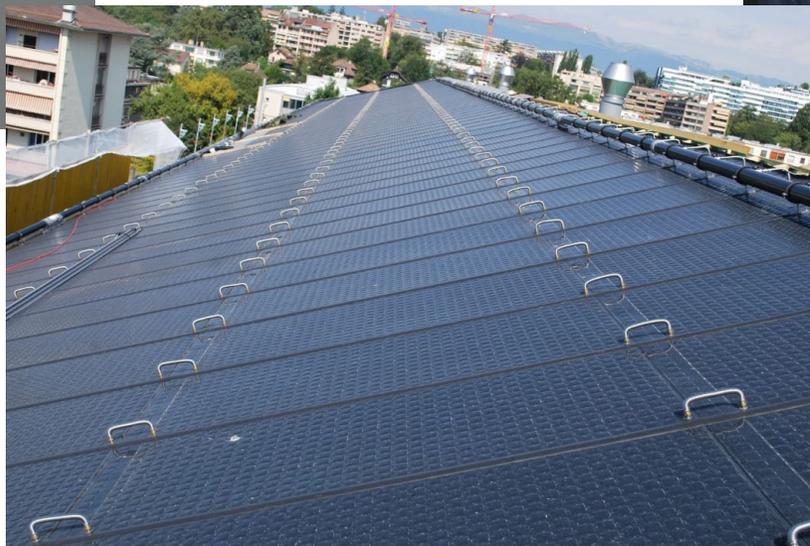
La Cigale à Genève système IceSolc



Stock de glace de 60m³



Vue des deux bâtiments

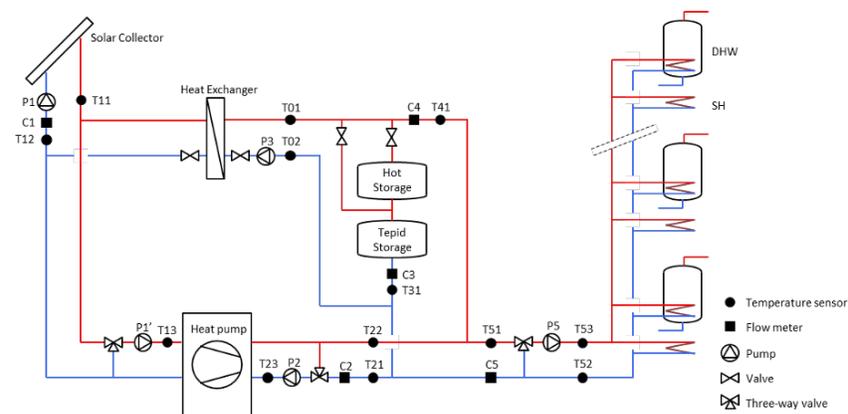


Détail champs solaire

La chaleur solaire comme source froide

Collecteurs plans non vitrés en source froide ~ **chaleur solaire** + **Chaleur de l'environnement**

Quartier SolarCity à Genève



- Quatre bâtiments neuf Minergie-P de 10'000 m²
- 1'200m² de collecteurs plan non vitrés (120m² x10)
- Distribution chauffage et ECS identique
- ECS ~67% et Chauffage ~33%
- Stockage thermique deux niveaux:
 - Stock eau chaude: 2x3m³
 - Stock ECS (par appart): 0.3m³

- Monitoring des performances du système de 11.2011 à 10.2013 (projet p+d)
- COPa de PAC de 2.7
- COP système de 2.9 (bypass de la PAC en été)
- Répartition source chaleur
 - 80% de PAC/Solaire indirect
 - 20% de Solaire direct
 - 0% de source auxiliaire (électricité)

La chaleur solaire comme source froide

Collecteurs **plans non vitrés** en source froide ~ **chaleur solaire** + **Chaleur de l'environnement**

Avantages

1. Bon COP pour différentes typologies de bâtiments sans problème de bruit
2. COP pour ECS ok
3. Offrir une alternative au PAC Air/eau
4. Grande puissance de PAC eau/eau disponible sur le marché

Limitations

1. Stock de glace pour IceSOL: besoin de volume/place
2. Surface de toiture disponible pour bâtiment avec plusieurs étages: **pas ou peu adapté pour bâtiment > 4 étages**
3. Système déployés que sur des bâtiments à haute efficacité énergétique
4. Fonctionnement du système par grand froid
5. Stratégie pour limiter la formation de givre

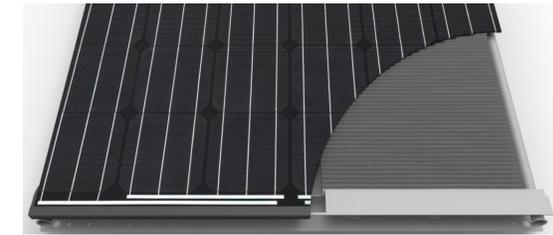
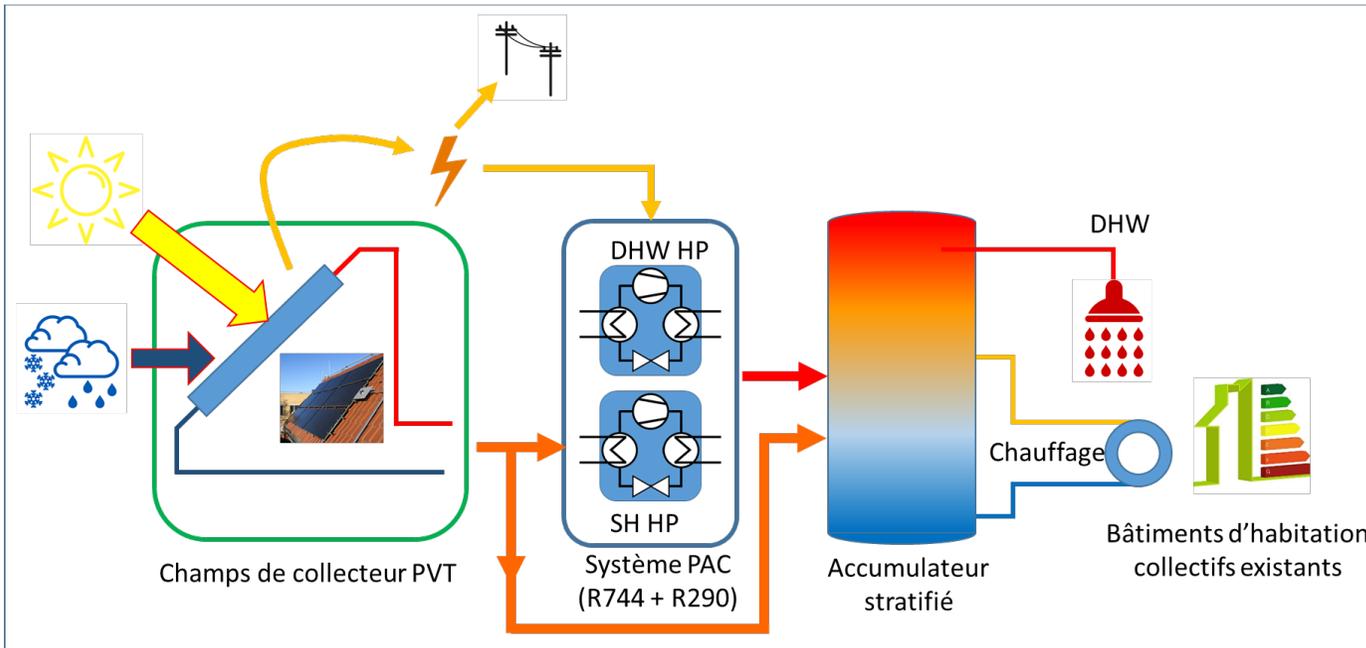
Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Collecteurs PVT en source froide ~ **Chaleur solaire** + **Chaleur de l'environnement** + **Electricite solaire**

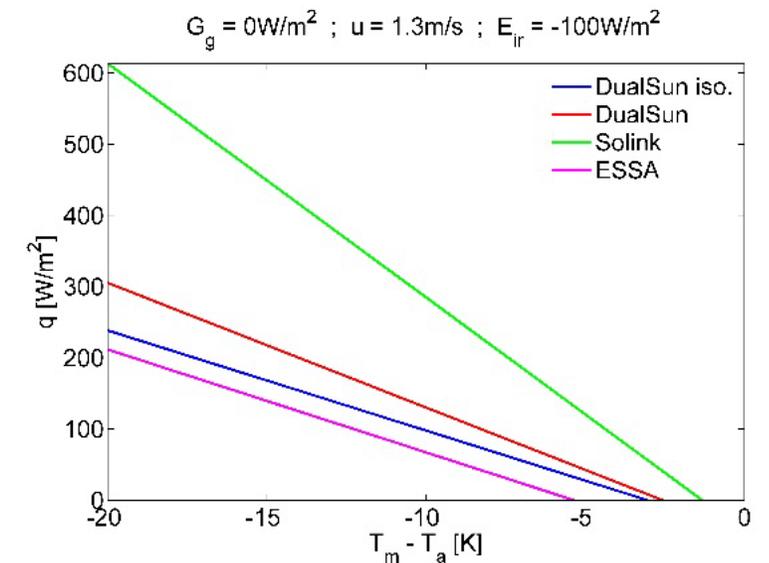
Cible: batiments multifamiliaux existants

Elément du concept TriSolHP:

Systeme PVT optimise pour echange thermique avec l'ambient ($10\text{m}^2/\text{m}^2$)



PVT SOLINK, source Consolar



Avantages du Systeme TriSolHP:

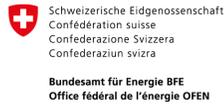
1. Installation solaire plus compacte \rightarrow > 4 étages
2. Maximisation utilisation surface solarisable
3. Bon COP en intersaison grâce à la chaleur solaire
4. Compatible avec bâtiment multi familial énergivore

Systeme TriSolHP - Une alternative attractive



Projet TriSolHP:

✓ Financement OFEN



✓ Cofinancement SIG



✓ Partenaires industriels



✓ Partenaires académiques



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

✓ Calendrier: du 09.2021-11.2023

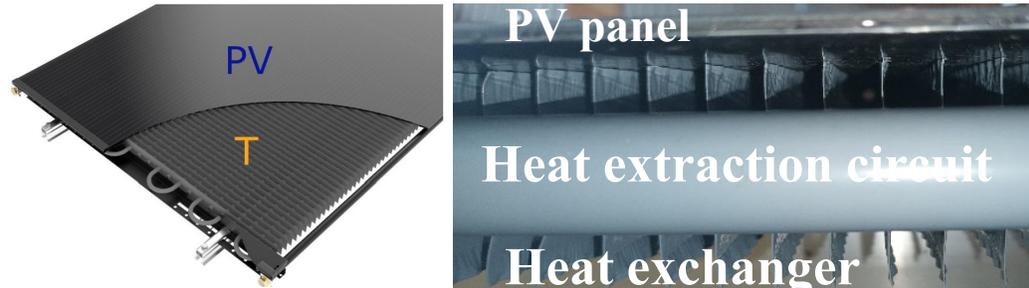
Projet TriSolHP – Objectifs:

Performance système modulaire couplant un **champ de collecteur PVT** avec un **PAC** pour **bâtiment multifamilial existant**

- ✓ Test/Mesures/Modélisation collecteur PVT
- ✓ Définition hydraulique et dimensionnement système
- ✓ Simulation et analyse performances
- ✓ Evaluation du potentiel de diffusion du système TriSolHP

Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Mesure et simulation collecteur PVT Solink

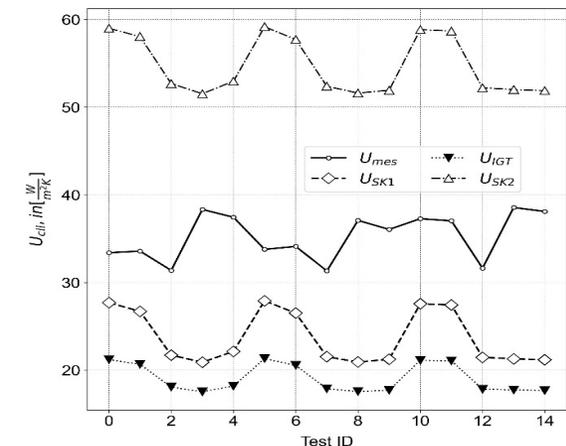


<https://www.consolar.de/fr/solink-le-capteur-de-pac/>

Paramètre	Value
Surface HT (m ²)	1.98
Surface échangeur air/eau (m ²)	19
Puissance crête du PV (W)	340

Résultats mesures/simulation

1. Importante capacité d'échange de chaleur avec l'environnement avec $T < T_{\text{ambient}}$
2. Givre a une influence acceptable
3. Capacité extraction de chaleur dépend fortement de vitesse/direction du vent
4. Modèle numérique (Solar Keymark): suit les tendances mais mauvaise prise en compte de l'effet du vent



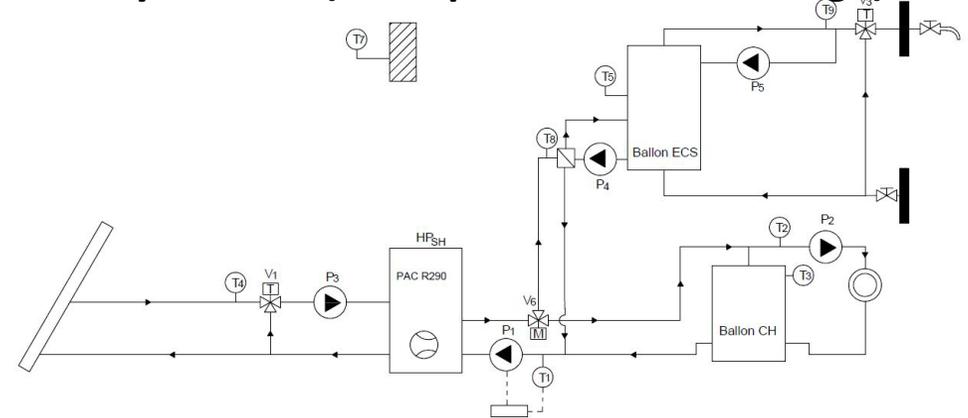
Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Simulation des performances du systeme TriSolHP

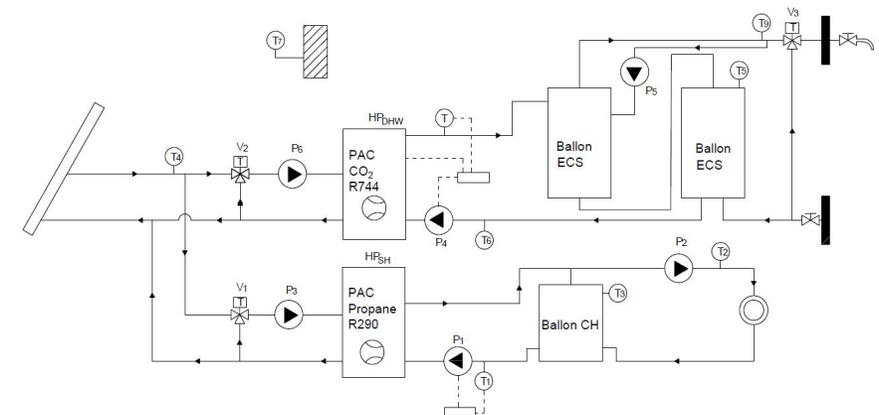
Simulation systeme :

- ✓ Deux schemas hydrauliques defines avec principe de dimensionnement/regulation
- ✓ Demande de chaleur des batiments: trois niveaux pour ECS et chauffage
- ✓ Surface de toiture disponible

Systeme 1 (R290 pour ECS & chauffage)



Systeme 2 (R290 pour Chauffage & R744 pour ECS)

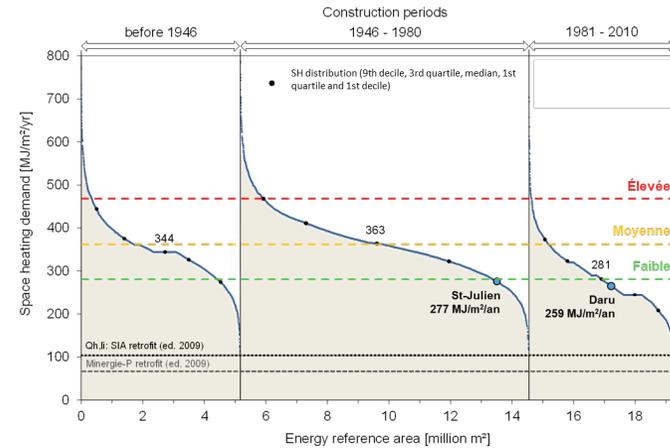


Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Simulation des performances du systeme TriSolHP

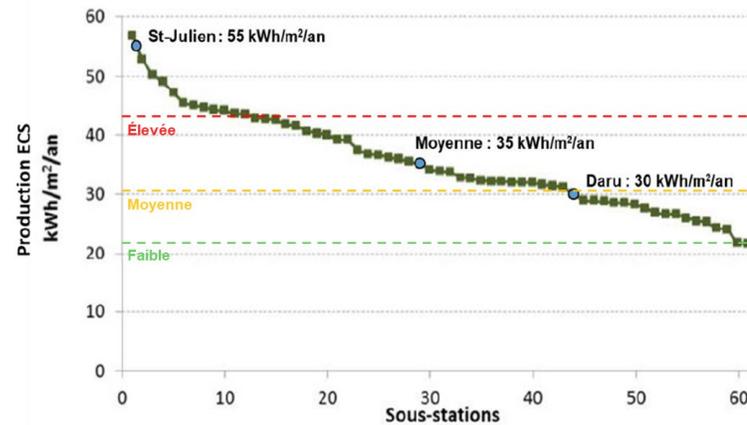
Simulation systeme :

- ✓ Deux hydrauliques definiées avec principe de dimensionnement/regulation
- ✓ Demande de chaleur du batiment: trois niveaux pour ECS et chauffage
- ✓ Surface de toiture disponible
- ✓ SRE du batiment de 4'000m² avec trois entrées (~1'300m²/entrée)



- **Faible** : 78 kWh/m².an (= 281 MJ/m².an)
- **Moyenne** : 101 kWh/m².an (= 363 MJ/m².an)
- **Élevée** : 130 kWh/m².an (= 468 MJ/m².an)

Khoury, Jad. 2014. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:48085>.



- **Faible** : 25 L/jour/hab.
- **Moyenne** : 35 L/jour/hab. (SIA 385/)
- **Élevée** : 50 L/jour/hab.

Quiquerez, Loic. 2017. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:91218>.

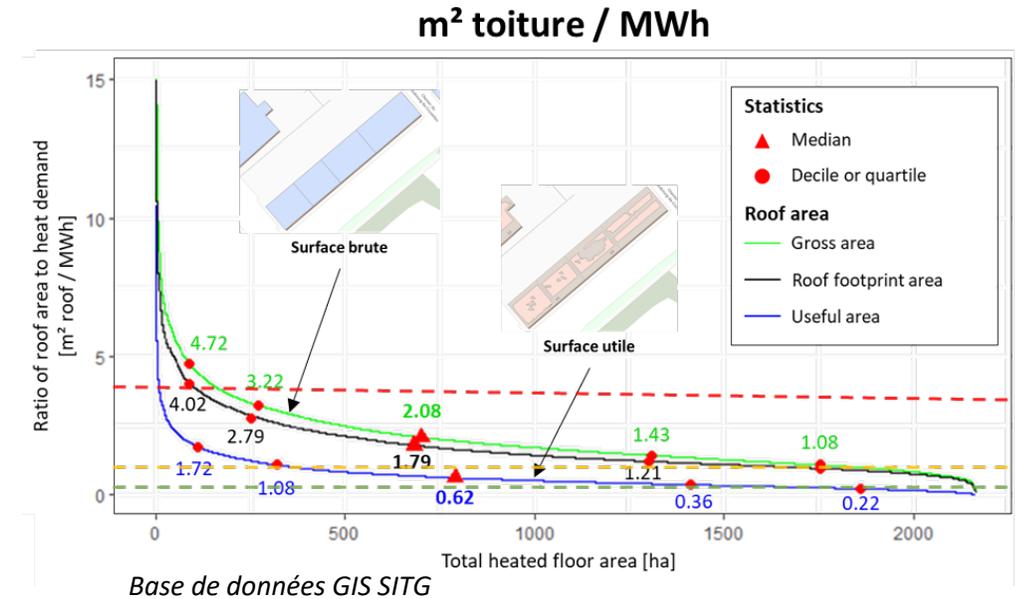
Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Simulation des performances du systeme TriSolHP

Simulation systeme :

- ✓ Deux hydrauliques definiées avec principe de dimensionnement/régulation
- ✓ Demande de chaleur des bâtiments: trois niveaux pour ECS et chauffage
- ✓ Surface de toiture disponible
- ✓ SRE du bâtiment de 4'000m² avec trois entrées (~1'300m²/entrée)

➔ 25 variantes par systemes (50 en tout)

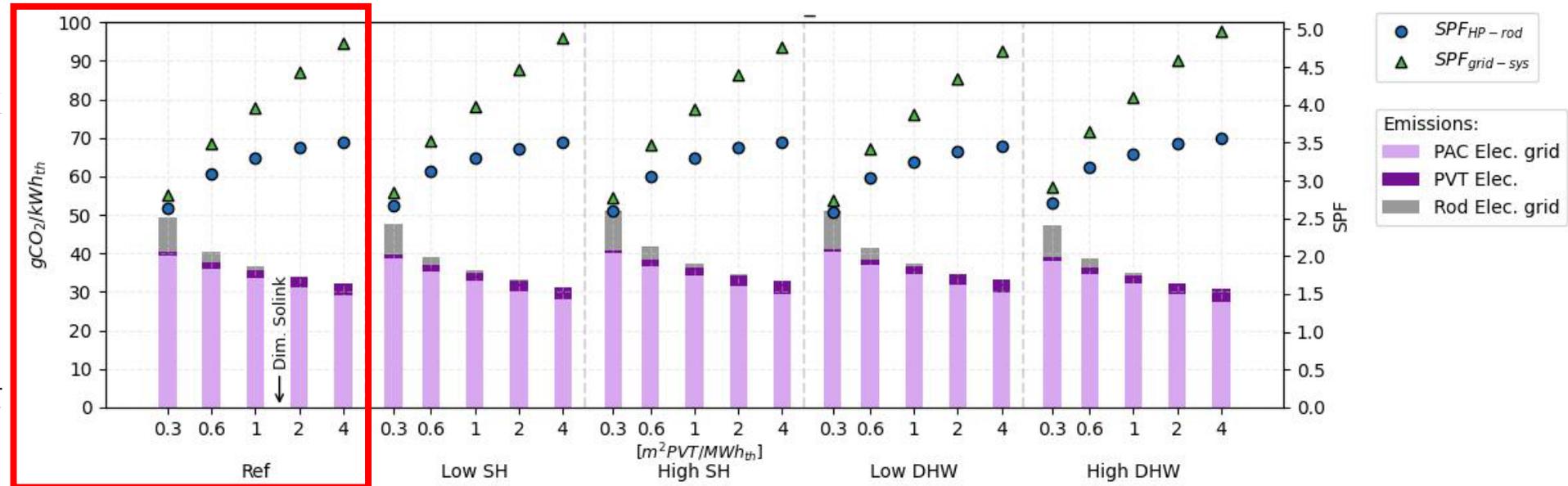
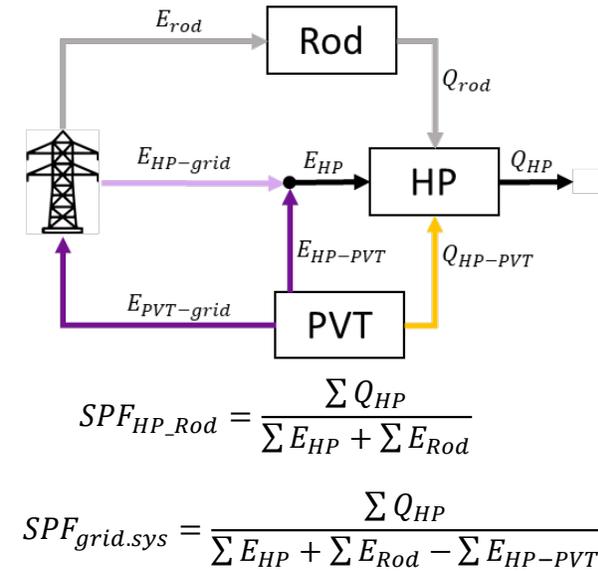


- **Très faible** : 0.3 m² toiture/MWh
- **Faible** : 0.6 m² toiture/MWh
- **Moyenne** : 1.0 m² toiture/MWh
- **Élevée** : 2.0 m² toiture/MWh
- **Très élevée** : 4.0 m² toiture/MWh

Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Simulation des performances du systeme TriSolHP

Résultat simulation pour Systeme 1 (PAC R290)



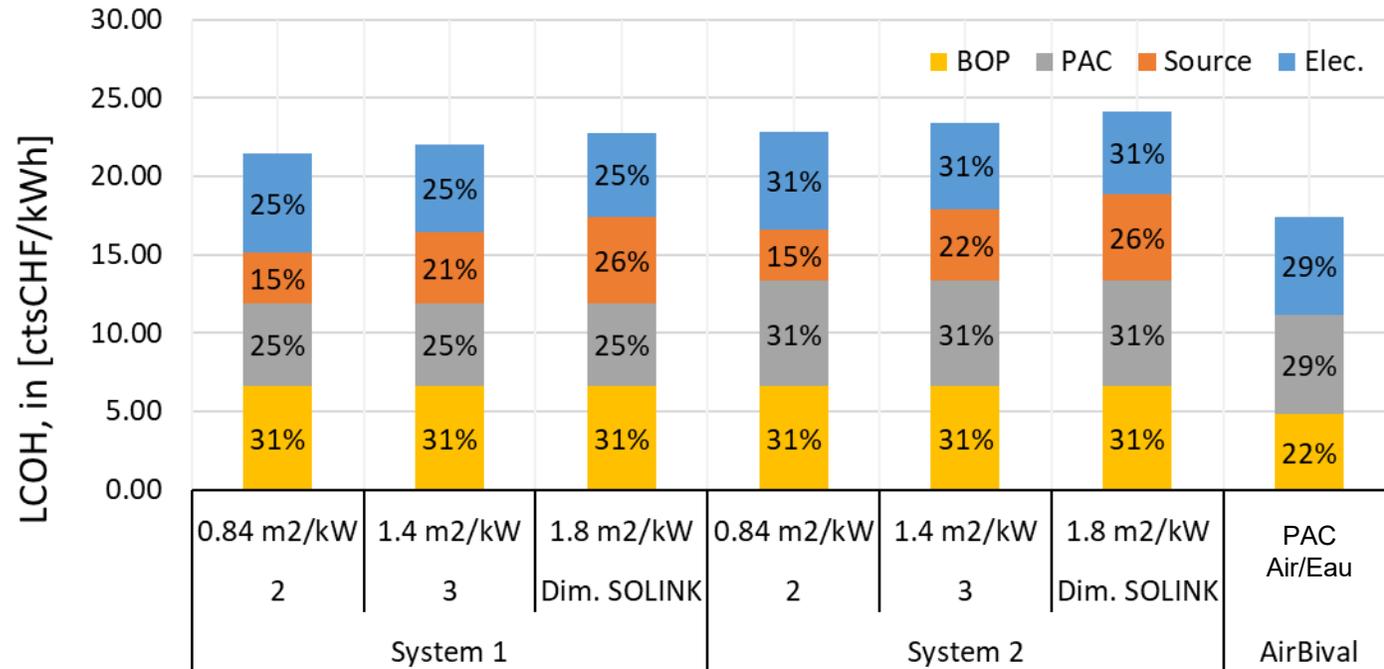
- Performances dependent principalement de la surface de l'installation solaire par rapport à la demande
- Performance peu dépendante de la demande de chaleur du bâtiment
- En augmentant la surface de PVT de 0.3 à 4.0 m² PVT/MWh_{th} améliore les performances de:
 - ✓ COPa (sans auto consommation PV): 2.58 → 3.56
 - ✓ COPa (avec auto consommation PV): 2.74 → 4.97
 - ✓ Emission GES: 51 → 31 gCO_{2eq}/kWh_{th}
- Peu de gain de performance au delà de 1.0 m² PVT/MWh_{th} (dimensionnement Solink 1.29)
- Meilleures performances que PAC Air/Eau (COPa ~2.8) au delà de 0.5 m² PVT/MWh_{th}

Systeme TriSolHP - Une alternative attractive

Simulation des performances du systeme TriSolHP

Résultat analyse financière pour Systeme 1 (PAC R290) & 2 (PAC R290 et PAC R744 ECS)

Calcul LCOH sur 30 ans avec 3% de taux d'actualisation



- TrisolHP: 21.5 – 24.2 ctsCHF/kWh
- Coût de revient augmente avec surface PVT en m²/kW
- PAC Air/Eau : 18 ctsCHF/kWh
- PAC air/eau moins chère
- PAC Air/Eau: plus grande sensibilité au prix de l'électricité (COP plus faible)

- **BOP (Balance of Plant):** Armatures, régulation, pose, études + Circuit chauffage, accumulateurs, pose, régulation
- **PAC:** CAPEX et maintenance PAC
- **Source:** CAPEX et OPEX champs PVT (- revente électricité)
- **Elec.:** consommation d'électricité du système

1. **PVT Solink difficile à modéliser** avec modèle Solar Keymark (direction du vent)
2. Système **TriSolHP ~alternatif au PAC Air/Eau** dans bâtiment multifamiliaux
3. **Maximisation utilisation toiture:** plus à choisir entre PV et thermique
4. PVT/PAC **COPa similaire voir supérieure** à PAC Air/Eau et **teneur CO_{2eq} par kWh plus faible**
5. **Coût PVT/PAC supérieur à PAC Air/Eau** car investissement initial plus élevé
6. **Potentiel de diffusion élevé** système TriSolHP sur canton de Genève (70% SRE à Gva) et de **décarbonation (-26 à -51%)**
7. **PAC:**
 1. R290 une alternative au R510a
 2. R744 en principe plus efficace pour production d'ECS: attention régulation/intégration hydraulique



Source projet AirBiVal bâtiment Daru

1. Installation pilote sur bâtiment collectif avec suivi de performance

1. En monovalence ou bivalence
2. Optimisation et suivi de performances

2. Configurations alternatives à étudier

1. **Bivalence** avec gaz dans immeuble à rénover → plus intéressant financièrement mais plus d'émission GES
2. Intégration du PVT en **façade**

3. Amélioration du PVT-WISC

1. Amélioration échange avec air: ailette avec configuration différente, convection forcée...
2. Bien pour échange avec air mais mauvais pour transformer le rayonnement solaire: améliorer capacité à utiliser rayonnement solaire pour des températures de source froide plus élevée

Merci pour votre attention...

... des questions!!



Remerciement à l'OFEN et SIG pour le soutien financière du projet TriSolHP