

Retour d'expérience sur quelques systèmes intégrant des pompes à chaleur

Quels enseignements ?

Floriane MERMOUD
22 novembre 2013

avec la collaboration de Pierre Holmuller et Carolina Fraga



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT

Introduction

- **Retour d'expérience sur deux installations suivies (2 ans) à Genève**
 - Enseignements et questions soulevées par le suivi (non exhaustif)
- **Intégration des PAC dans les systèmes**
- **Stratégies de régulation**
- **Performances réelles**
 - techniques
 - économiques
- **Enjeux futurs pour le développement des PAC**
 - comment favoriser l'efficacité technique et économique

Polimmo (Acacias)

■ Immeuble tertiaire rénové Minergie en 2008

→ Bâtiment 2'200 m² datant des années 60

- chauffage mazout
- demande thermique ~110 kWh/m²/an (chauffage uniquement)

→ Rénovation Minergie + surélévation Minergie 1'500 m² → 3'700 m²

- 20 cm isolation extérieure, double vitrage
- demande thermique 27 kWh/m²/an (mesuré) → division par 4
- radiateurs (25-45°C)

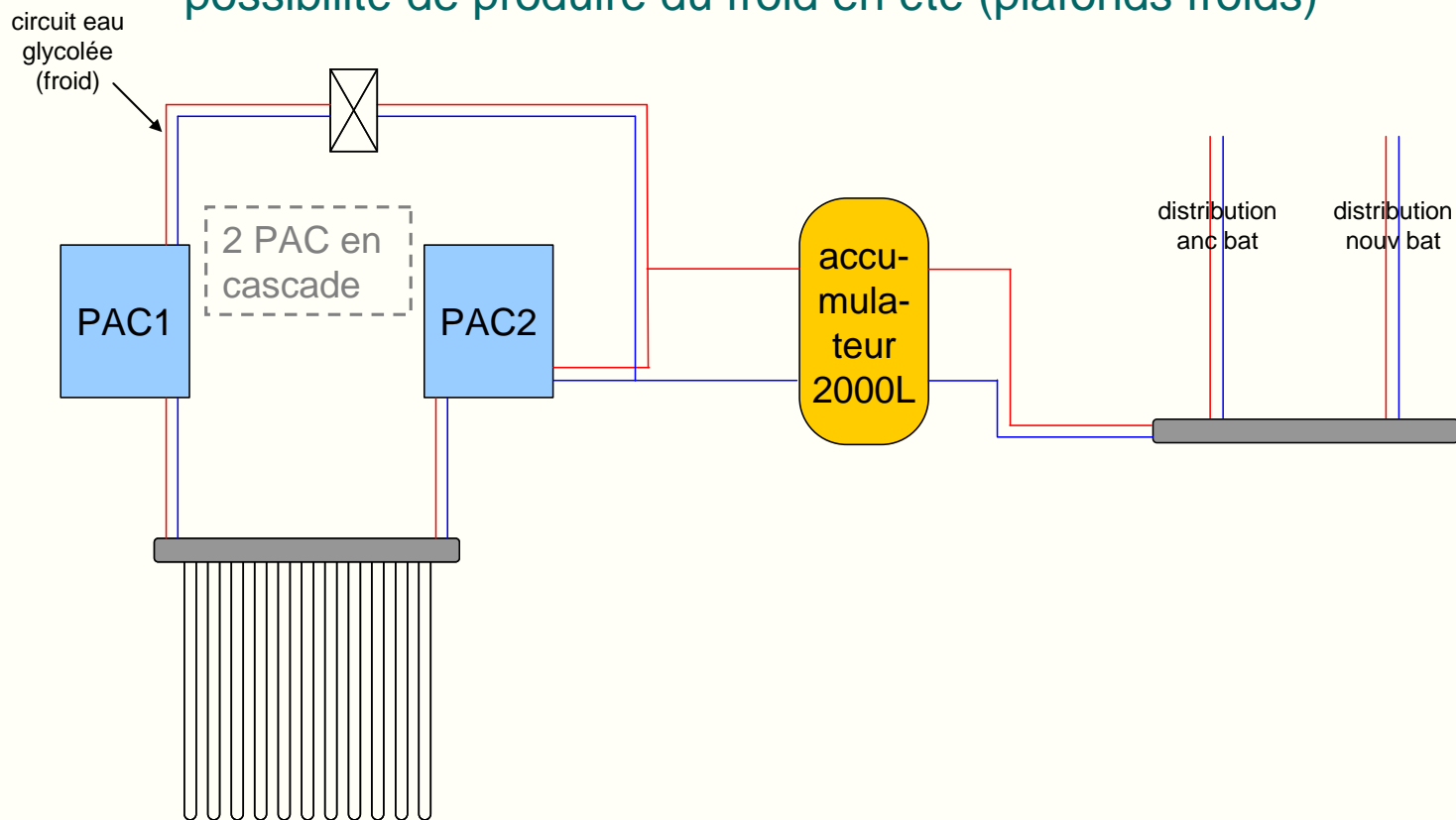


Polimmo (Acacias)

■ Production de chaleur

→ PAC sur sondes géothermiques

- PAC : 2x120 kWth (2 étages par PAC)
- sondes : 11x244 m = 2'684 m
- possibilité de produire du froid en été (plafonds froids)



Solarcity (Satigny)

■ Complexe immobilier Minergie neuf (2010)

→ 10'000 m² répartis en 4 bâtiments (10 allées)

- enveloppe thermique très performante
- demande chauffage ~20 kWh/m²/an
- demande ECS ~30 kWh/m²/an (élevé)
- planchers chauffants (25-30°C)



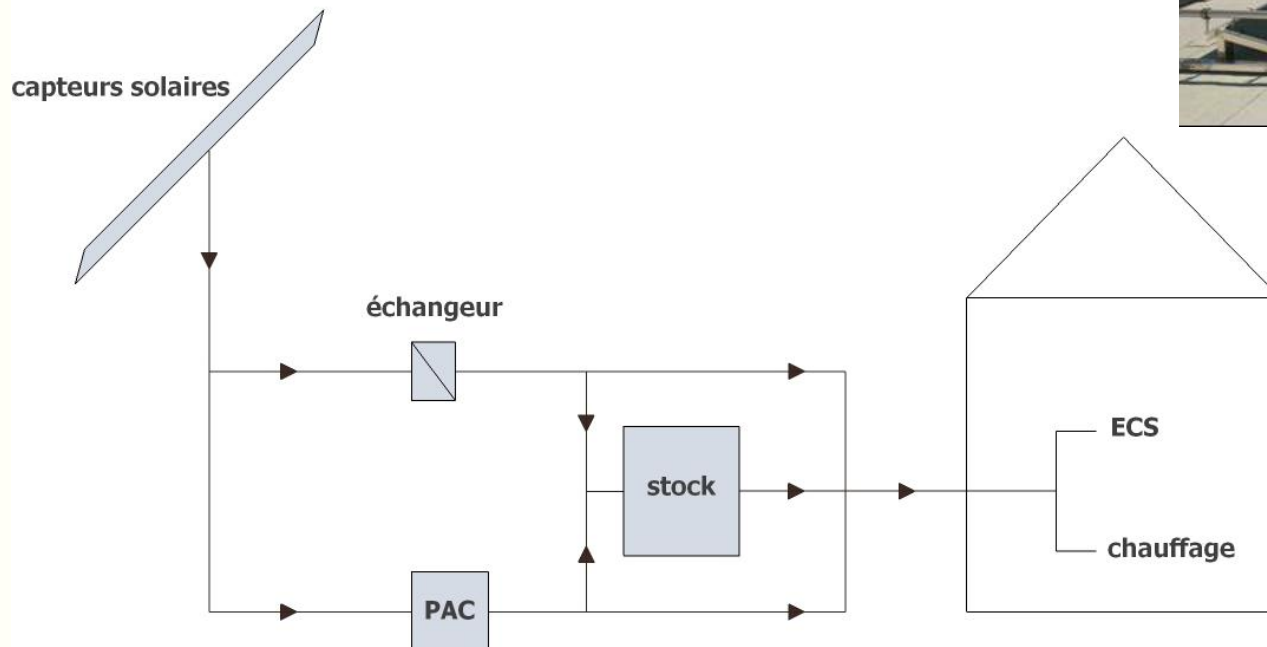
Source : Prix Solaire Suisse 2011

Solarcity (Satigny)

■ Production de chaleur

→ PAC couplée à des capteurs solaires, 1 installation par allée

- PAC : 30 kWth (puissance nécessaire pour produire ECS), 1 seul étage
- capteurs solaires : 116 m² (non couverts)
- stock : 6'000 L+1 boiler 300 L par appart
- système Enerbus



Intégration des PAC dans les systèmes

■ Architecture du système

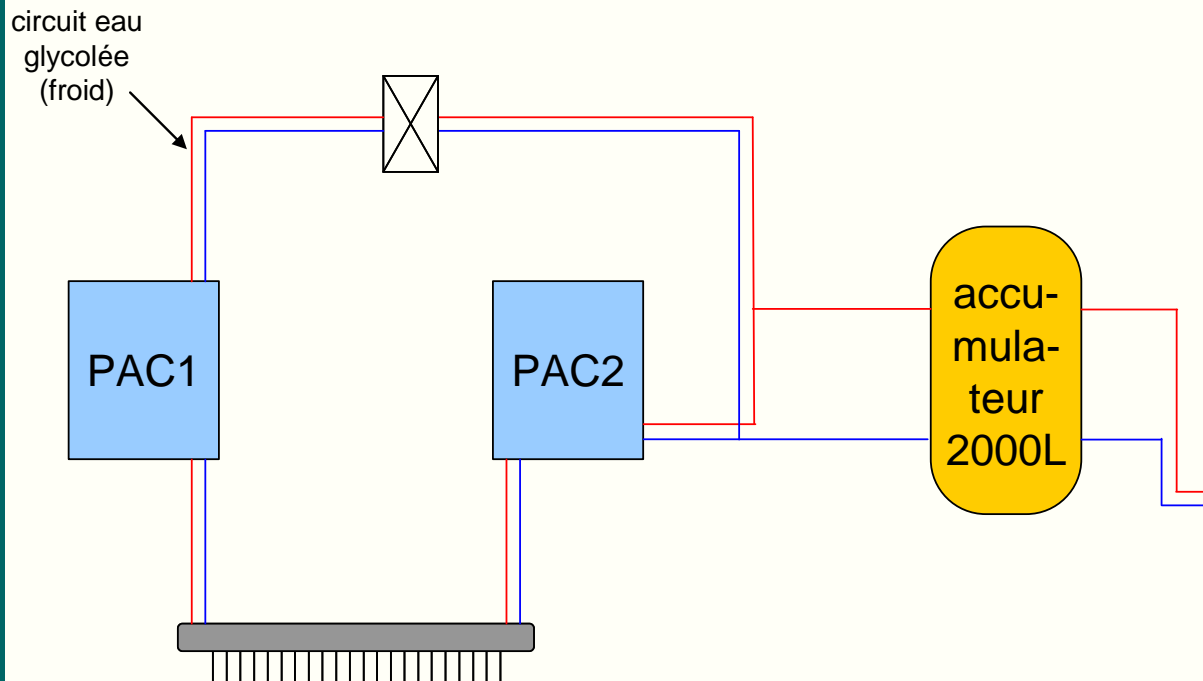
→ Une PAC n'est pas une chaudière

- la configuration hydraulique conditionne le fonctionnement pendant toute la durée de vie

→ Nombreuses possibilités en fonction des applications

- GSP (pac.ch) : 7 schémas standards → lequel choisir ?

→ ex: Polimmo



- **accumulateur en série** (schéma par défaut fourni par le constructeur de la PAC)
- **pas de possibilité de distribution en direct** (charge de l'accumulateur obligatoire) → $T_{ballon} > T_{distribution} (5K)$
- **échangeur PAC1** (inutile vus les niveaux de T°) induit un ΔT supplémentaire → $T_{production} > T_{ballon} (5K)$

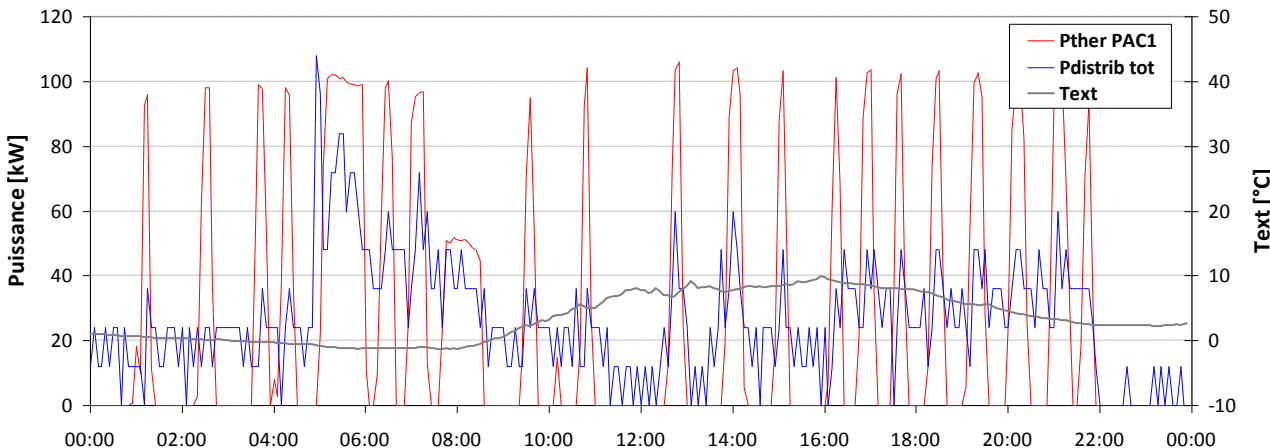
Intégration des PAC dans les systèmes

■ Dimensionnement

→ PAC, source froide, accumulateur

→ ex: Polimmo

- la 2^{ème} PAC se met en marche très occasionnellement car la demande thermique peut être couverte par une seule PAC → **surdim. x2**
 - Tgéothermie=10-12°C toute l'année (dimensionné pour 2 PAC)
- influence du surdimensionnement
 - sur les coûts (investissement élevé)
 - sur le fonctionnement (cycles courts)
- sous-dimensionnement de l'accumulateur
 - temps charge / décharge min. : 10 à 20 min → **tampon et non stockage**



- ex sur une journée d'hiver
- 21 cycles <30 min
→ **préjudiciable pour la durabilité et performances : préférer moins de cycles, mais plus longs**
- PAC à P variable (inverter) pour des installations de cette taille ?

Stratégies de régulation

■ Installations PAC **très fiables**

→ peu de pannes

■ Importance du suivi par rapport à une simple chaudière

→ « pb » : une PAC va marcher même avec les paramètres par défaut

→ nécessité de suivre les installations pour optimiser les performances

■ Régulation complexe

→ Polimmo : pas accès à tous les paramètres, limité par la configuration hydraulique de l'installation

→ Solarcity : très complexe (15 modes de fonctionnement)

→ transmission difficile

Stratégies de régulation

■ Gestion des températures de fonctionnement

- Gros travail côté source froide
- Souvent peu d'efforts côté source chaude (production, distribution)
 - effets sur les performances symétriques
 - moins cher !

■ Températures de distribution

- performances PAC ↘ si $T_{\text{cond}} - T_{\text{évap}}$ ↗
- baisser les températures de distribution au maximum (possible car émetteurs généralement surdimensionnés)
- équilibrage hydraulique indispensable

Stratégies de régulation

■ Températures de production

→ ex: Solarcity

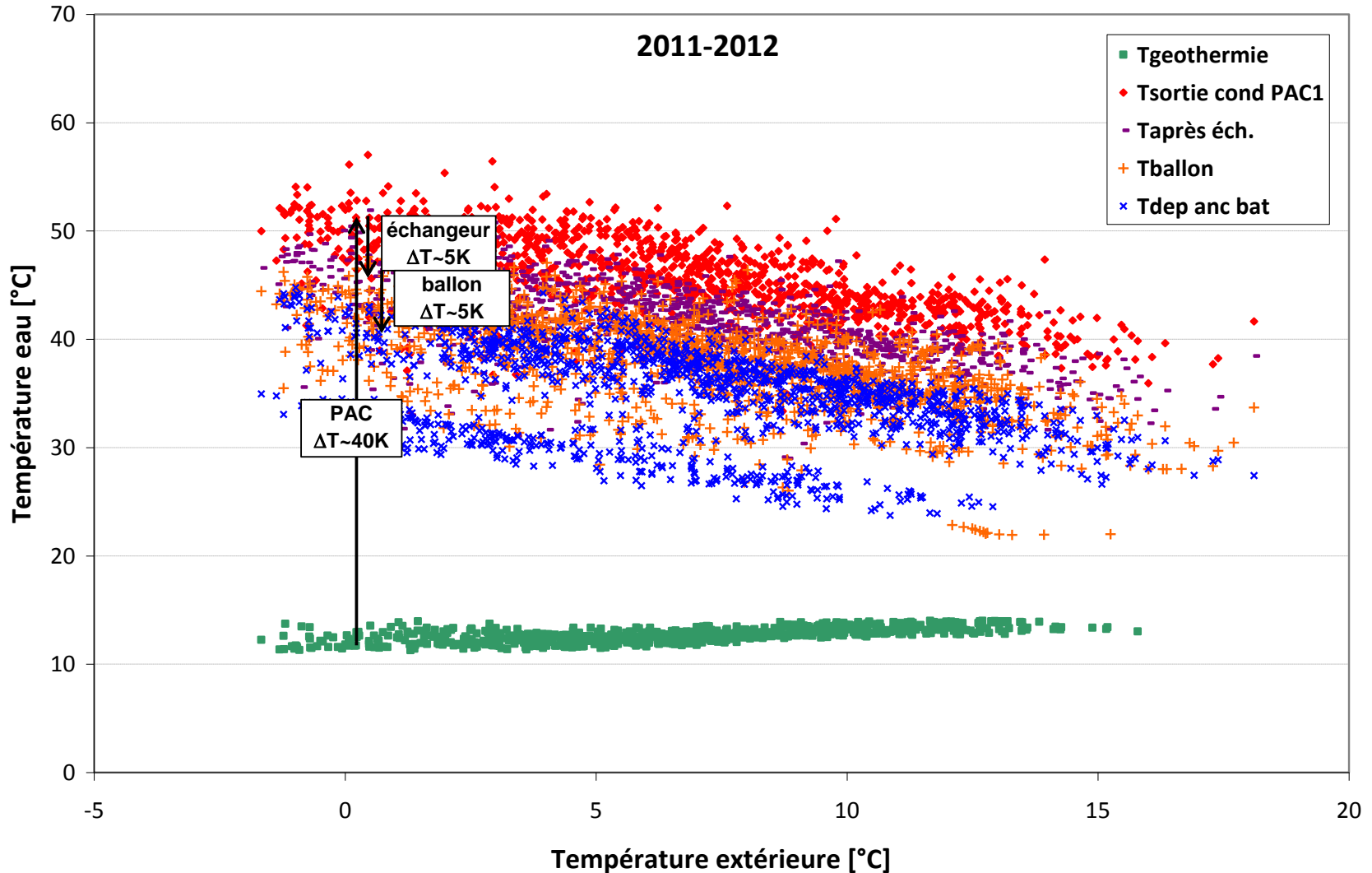
- fonctionnement alterné (Enerbus) : la PAC peut produire à 2 niveaux de T° : ECS (60°C) et chauffage ($\sim 30^\circ\text{C}$)
- en pratique, surproduction durant les phases de production d'ECS (P_{ther} non variable), stocké et réutilisé durant les phases de chauffage
- 2/3 de l'énergie nécessaire pour le chauffage est produite à T° ECS
→ péjore les performances de la PAC

→ ex: Polimmo

- 1^{ère} année : $T_{\text{production}}$ constante ($50-55^\circ\text{C}$) alors que T_{distrib} variable en fonction de T_{ext} (45 à 25°C)
- 2^{ème} année : modif régulation → $T_{\text{production}}$ variable en fonction de T_{ext} , mais toujours $10-15\text{K} >$ à T_{distrib}

Stratégies de régulation

■ Tproduction à Polimmo



Stratégies de régulation

■ Tproduction à Polimmo

→ explications du ΔT entre production et distribution

- présence échangeur (5K)
- présence ballon (5K)
- $T_{\text{production}} = T_{\text{sortie cond}}$ non régulée
 - dépend de $T_{\text{entrée cond}}$, $\Delta T = \text{cte} \sim 7-8 \text{ K}$ si 1 cps, 14-15 K si 2 cps
→ pour $\searrow T_{\text{sortie cond}}$, il faut $\searrow T_{\text{entrée cond}}$
 - $T_{\text{entrée cond}}$ dépend de $T_{\text{retour bâtiment}}$
- ΔT départ – retour bâtiment faible (<5K) car débits élevés
 - $T_{\text{retour bâtiment}}$ élevée
 - difficulté à diminuer les débits de distribution car pb équilibrage hydraulique

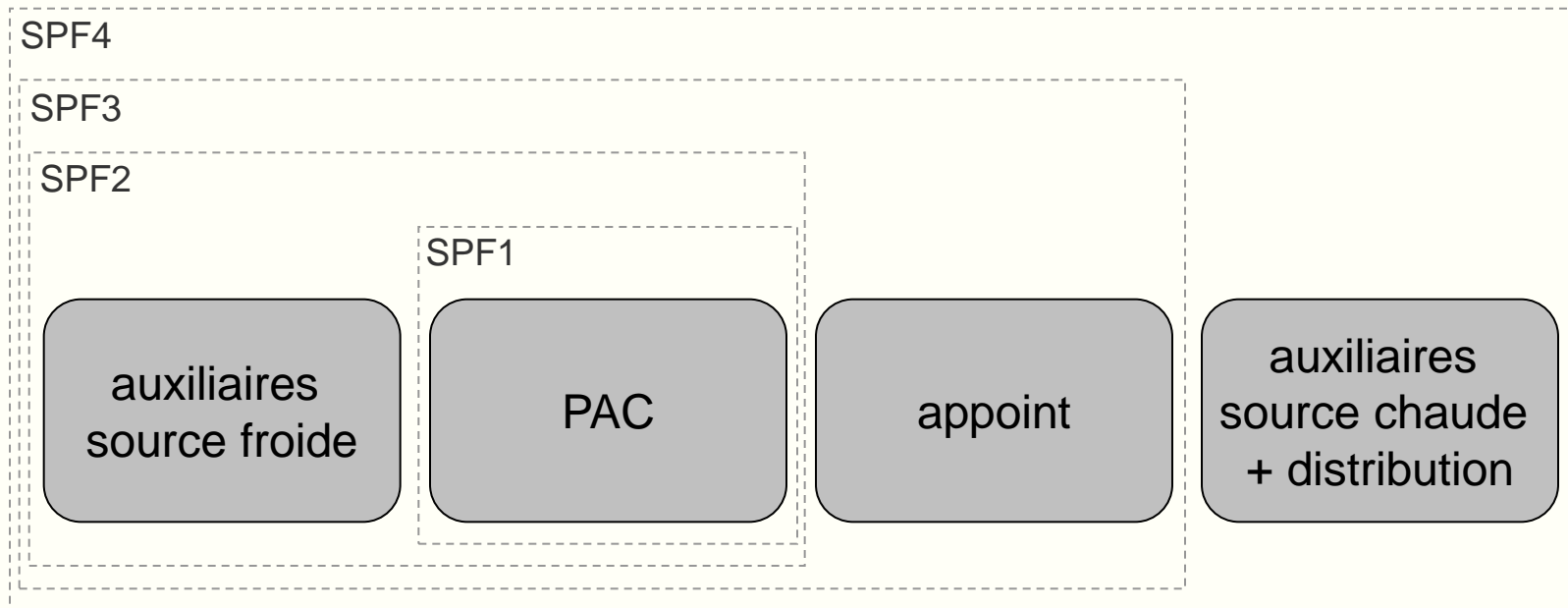
Performances techniques

■ Coefficient de performance / Seasonal Performance Factor

$$COP = \frac{\text{puissance ther produite}}{\text{puissance élec consommée}}$$

$$SPF = \frac{\text{énergie ther produite sur l'année}}{\text{électricité consommée sur l'année}}$$

■ Pb : choix des frontières de calcul



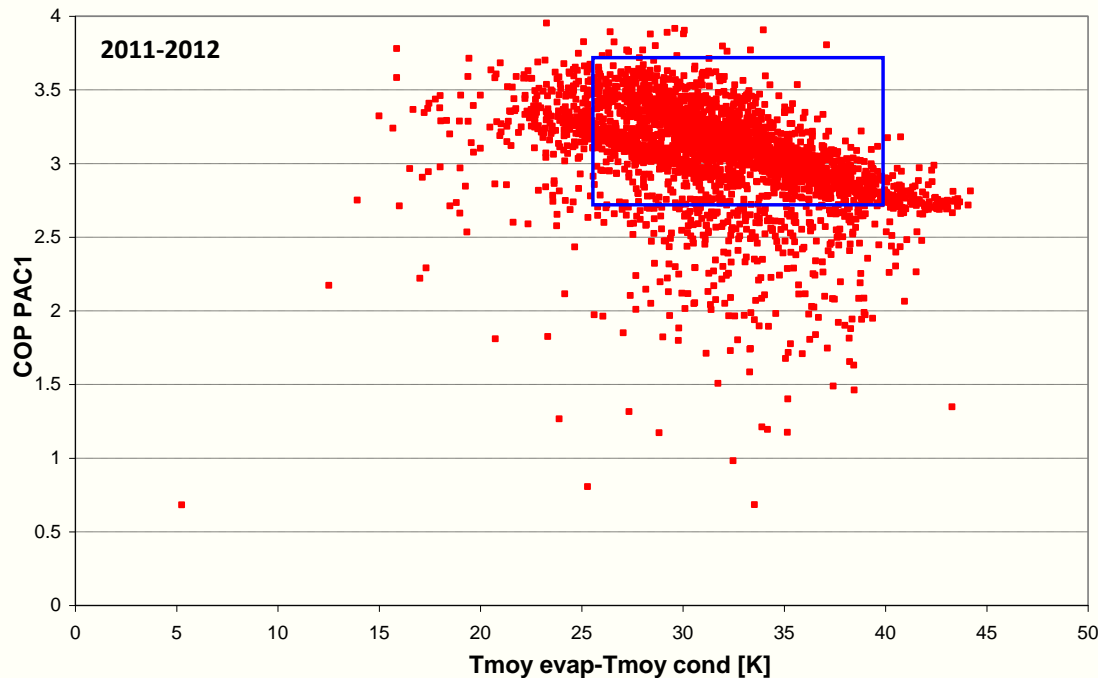
→ **Projet européen SEPEMO : harmonisation des définitions**

Performances techniques

■ Seasonal Performance Factor

→ ex: Polimmo

- variation du COP PAC avec $T_{\text{cond}} - T_{\text{evap}}$



- la plupart du temps :
 $25\text{K} < \Delta T < 40\text{K}$
→ $2.75 < \text{COP PAC} < 3.75$
- proche des données constructeurs pour ces niveaux de température

- importance des auxiliaires (pompe géothermie : 2'500 W)
→ **SPF1=3.4, mais SPF4=3.0**

FAIBLE pour une installation avec une source froide à 10-12°C sans production d'ECS

Performances techniques

■ Choix des indicateurs

→ Le SPF est-il le meilleur/le seul indicateur ?

- Polimmo : $\text{SPF}_4=3.0$
- Solarcity : $\text{SPF}_4=2.7$

Mais ces installations sont-elles comparables ?

- Polimmo : 100% chauffage
- Solarcity : 70% ECS (=haute T°) / 30% ECS

prestation différente
→ comparaison difficile

→ Pertinence du SPF lorsque la demande thermique est faible ?

- Solarcity : $\text{SPF}=2.7$ mais conso élec $< 25 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$: faible
 - demande chauffage faible → pénalise le SPF car plus d'énergie à produite à haute T°
 - **une enveloppe thermique moins bonne favoriserait le SPF** (car augmenterait la part d'énergie à fournir à basse température) mais augmenterait la consommation électrique par m^2
- Lorsque la demande thermique est faible, **l'enjeu d'optimiser les performances de la PAC est faible** (qq $\text{kWh/m}^2/\text{an}$)

Performances techniques

■ Importance de considérer le système dans son ensemble

→ On se focalise souvent sur les performances de la PAC, mais :

■ consommation des auxiliaires

- Polimmo : 11% de la conso élec totale
- Solarcity : 10%
- circulateurs de distribution :
 - souvent surdimensionnés → débits trop élevés, or conso élec d'une pompe augmente avec le cube du débit
 - fonctionnent parfois en été même si pas de demande

■ consommations parasites

- Solarcity : 1^{ère} année, conso élec PAC en veille 100 W en continu
→ presque 1 kWh/m²/an (/10 depuis)
- Polimmo : mise en marche de la PAC en été durant la nuit alors que pas de demande (facilement 10% de la conso élec annuelle)

■ autres éléments du système

- Polimmo : 1^{ère} année, conso élec ventilation double-flux > conso élec PAC (13 kWh/m²/an) car débits trop élevés (renouvellement air 1 V/h)
- débits /3 + arrêt nocturne → conso élec <1 kWh/m²/an

→ Optimiser le système **dans son ensemble**

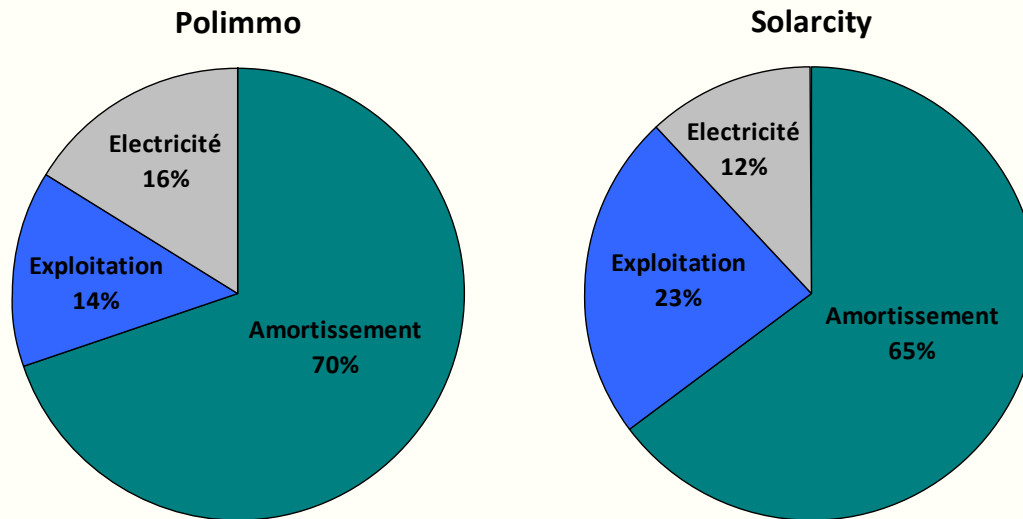
Performances économiques

■ Installations de PAC caractérisées par des investissements élevés

→ source froide

→ machine elle-même

■ Répartition des charges annuelles



→ amortissements prépondérants, coûts d'exploitation élevés

→ 80-90% coûts fixes

- → ne pousse pas aux économies d'énergie ni à l'optimisation

Performances économiques

■ Quel indicateur économique ?

→ Usuel : coût de la chaleur produite (ct/kWh)

- peu de kWh consommés → coût spécifique élevé
 - Polimmo : 35 ct/kWh
 - Solarcity : 80 ct/kWh

peu de signification

→ Si peu de consommation : charges de chauffage (CHF/m²/an) ?

- avantage : ne dépend pas (ou peu) de la consommation de chaleur
 - Polimmo : 10 CHF/m²/an
 - moins cher qu'avant rénovation (mazout)
 - Solarcity : 45 CHF/m²/an
 - immeubles récents avec technologies traditionnelles (chaudière gaz) : ~20 CHF/m²/an (thèse JMZ)
 - investissements élevés pour produire si peu d'énergie (~55 kWh/m²/an)

coûts Polimmo et Solarcity difficilement comparables :
prestation différente et niveau d'innovation différent

Enjeux futurs

- **Amélioration des performances de la PAC elle-même**
 - Déjà bonnes performances
 - Fiabilité avérée

- **Amélioration de l'intégration de la PAC dans le système**
 - **Architecture hydraulique**
 - stockage / PAC inverter
 - stock en série, en parallèle
 - **Source chaude**
 - importance de l'équilibrage hydraulique
 - baisser T_{distrib} et augmenter $\Delta T_{\text{distrib}}$ (retours froids)

- **Exploitation**
 - Une PAC va toujours fonctionner, mais avec quelles performances ?
 - **nécessité d'une vraie exploitation**
 - Pas toujours accès à tous les paramètres de régulation
 - Régulation complexe dès qu'on veut optimiser

Enjeux futurs

■ Enjeux dans l'existant

→ Améliorer les performances techniques du système

■ Enjeux dans le neuf ou fortement rénové

→ Peu de demande thermique → peu de conso élec

- Polimmo : ~10 kWh/m²/an
- Solarcity : ~20 kWh/m²/an

peu d'intérêt à trop vouloir optimiser les performances techniques

→ Plutôt chercher à optimiser les coûts pour éviter la « double-peine »

- compromis sur la technique (efforts sur la source chaude plus que sur la source froide, standardisation)
- montages financiers innovants, subventions ?

■ Diffusion des bonnes pratiques

→ Comment toucher un maximum d'intervenants ?

- nécessité de formation (type « Partenaire GSP certifié »)
- rôle des constructeurs
- besoin de retours d'expérience

pas de garde-fous à l'heure actuelle (techniques et économiques)

Pour en savoir plus

■ Site GSP http://www.pac.ch/downloads_01.html

→ Manuels divers

- général
- dimensionnement
- schémas standards
- garantie de performance Minergie

→ Retours d'expérience

- « Analyse in situ d'installations de pompes à chaleur Anis 1996-2003 » (résumé en français, étude complète en allemand Fawa)
- « AQ-PAC (Assurance-Qualité/Pompes à chaleur): suite des mesures in situ, analyse du comportement à long terme et évaluation de l'efficacité pour le modèle statistique 2008-2011 » (suite Anis)

■ Site OFEN <http://www.bfe.admin.ch/forschungwkk/02425/02724/02727/index.html?lang=fr>

■ Rapports finaux Solarcity et Polimmo à venir sur notre site internet

<http://www.unige.ch/energie/forel/energie/pub.html>