

Flexibilisation de la consommation électrique

Un moyen important pour améliorer la pénétration du PV dans les réseaux électriques

N. Wyrsh

**Laboratoire de photovoltaïque
IMT-Neuchâtel, EPFL**



Centres de compétence pour le PV

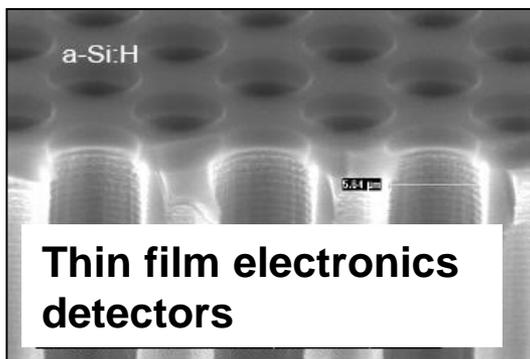
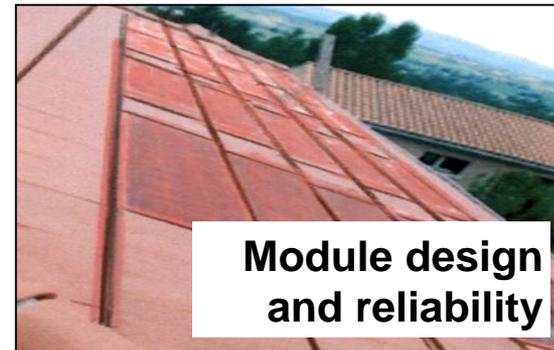
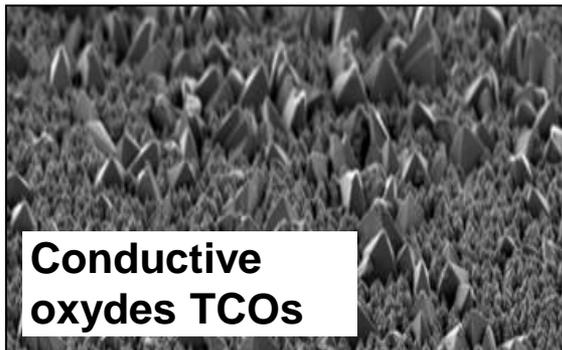
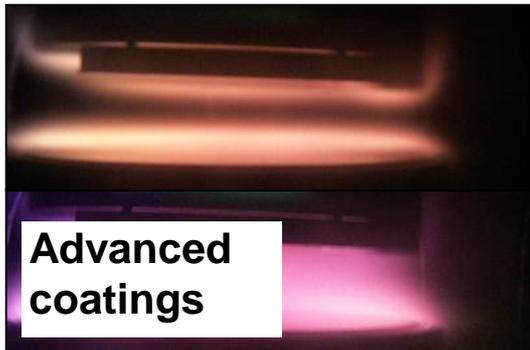
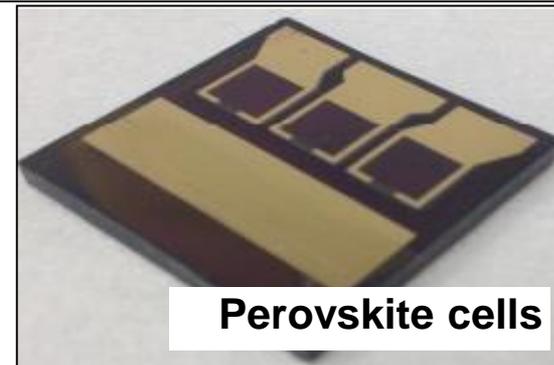
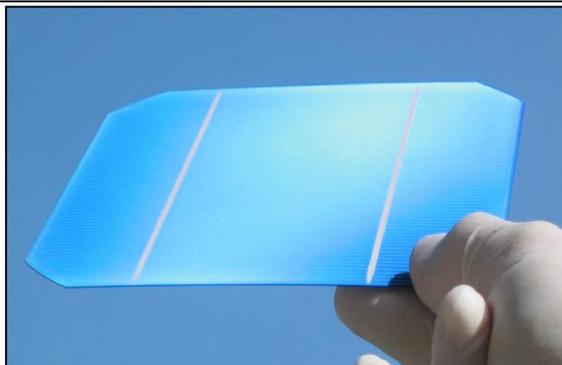
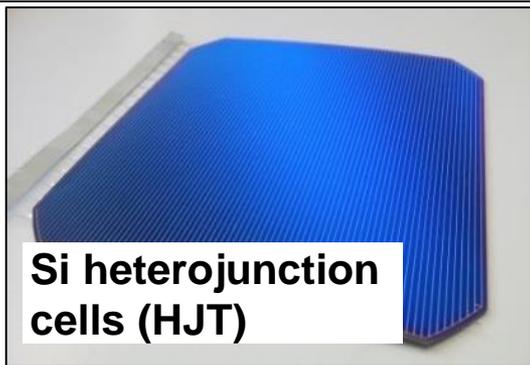


- Transfert de technologie
- Procédés industriels
- Mise à l'échelle

- Recherche fondamentale
- Nouveaux dispositifs
- Collaboration avec d'autres institutions



Activités au PVLAB



Activités «système»

- Installations PV
 - Dimensionnement, règles de conception
 - Amélioration de la pénétration PV
 - Minimisation des impacts réseau
- Augmentation de l'auto-consommation
 - Minimisation de la charge réseau (écrêtage)
 - Stockage local
 - Batteries, chauffage de l'eau chaude sanitaire et des bâtiments, dimensionnement
 - Stratégie de stockage/opération
 - Gestion de la demande, flexibilisation
- Performances et coûts
 - Dimensionnement des systèmes (pour des performances et coûts optimaux)
 - Performance à long terme, rendement énergétique, déploiement
- Gestion énergétique des bâtiments
- Aspects socio-économiques du PV (déploiement et flexibilisation)

Contenu

- Définition, contexte
- Auto-consommation, gestion de la demande
- Projet Flexi (flexibilisation pour le secteur résidentiel)
 - Buts
 - Phase 1 et résultats
 - Phase 2 (en cours)
- Limites des mesures volontaires
- Mesures techniques
- Auto-consommation et stockage
- Auto-consommation et PAC
- Conclusions

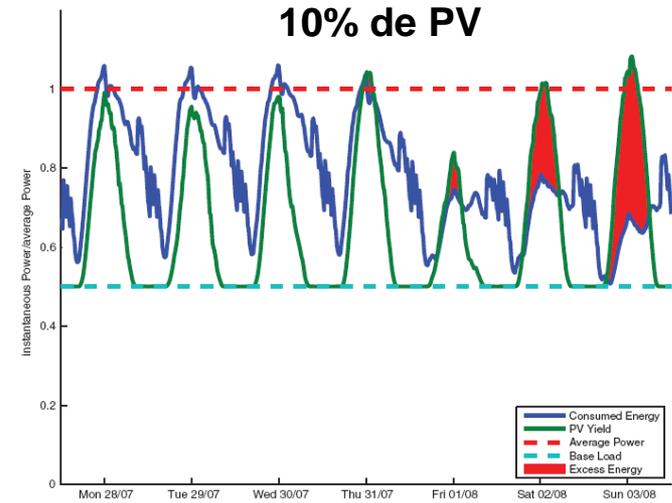
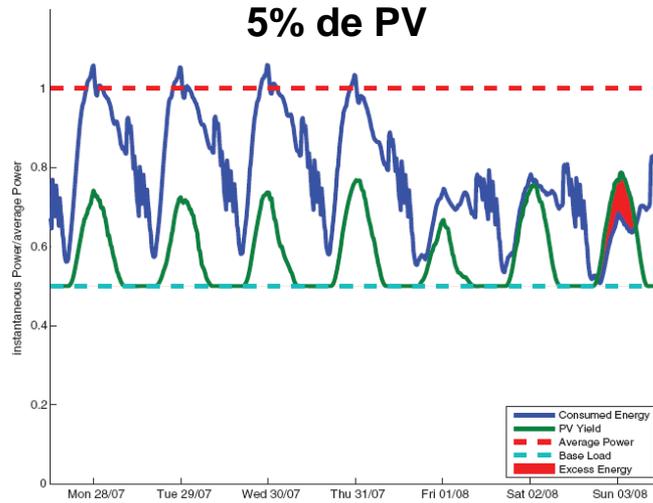
Definition «flexibilisation»

La notion de flexibilisation de la demande englobe les activités des consommateurs finaux et des fournisseurs d'énergie qui visent à répartir la demande de manière plus équilibrée et à réduire l'ampleur des pointes de puissance, ou à égaliser la courbe de charge, en la rapprochant par exemple de celle de la production d'énergie stochastique.

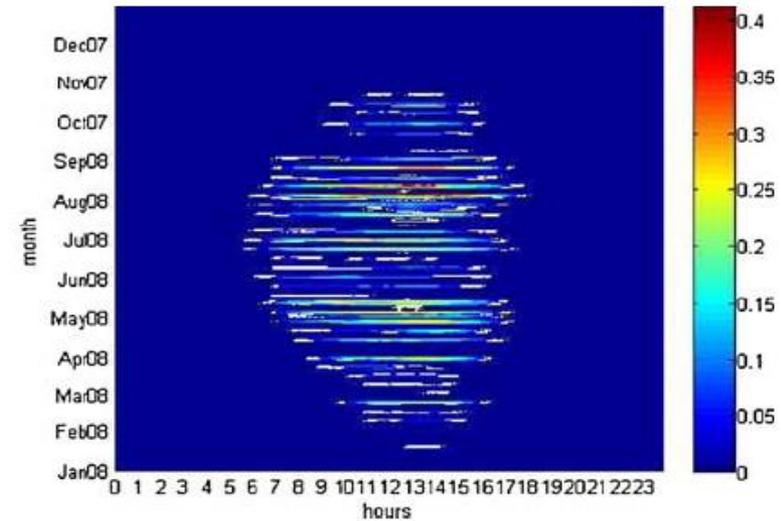
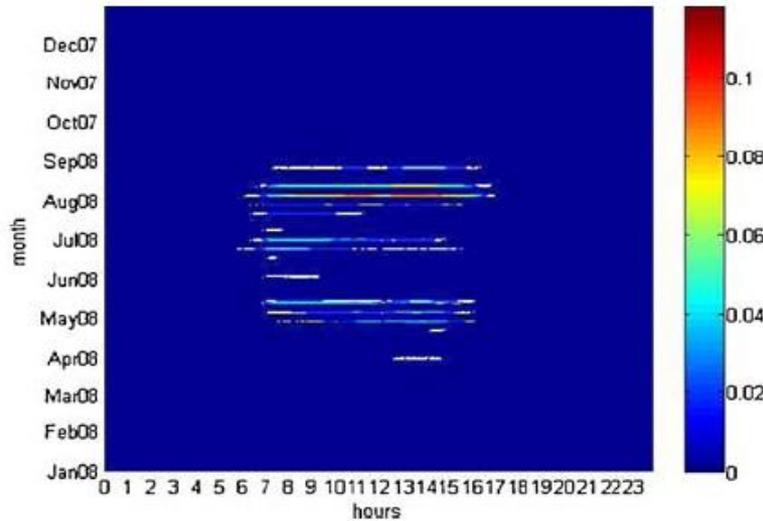
Association des entreprises électriques suisses, 2016

Contexte: Effets du taux de pénétration PV

Courbe de charge du "Grand Zurich" (intervalle de 15 min)



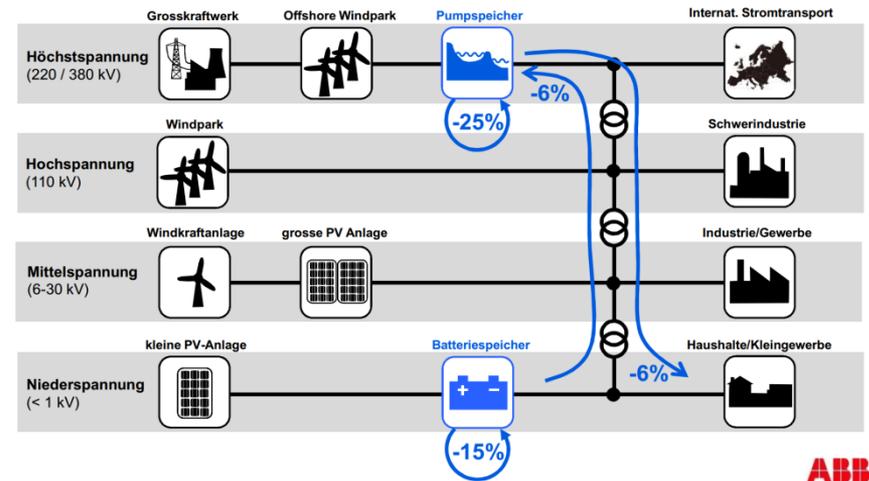
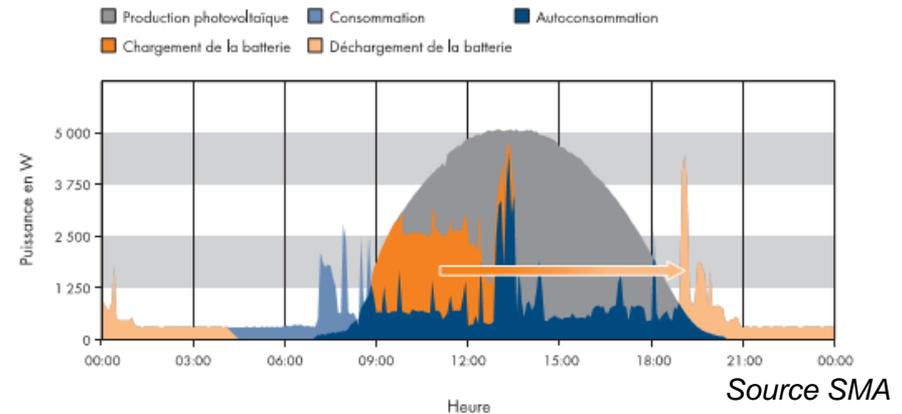
Heures avec excès de production



Baumgartner et al, 2010

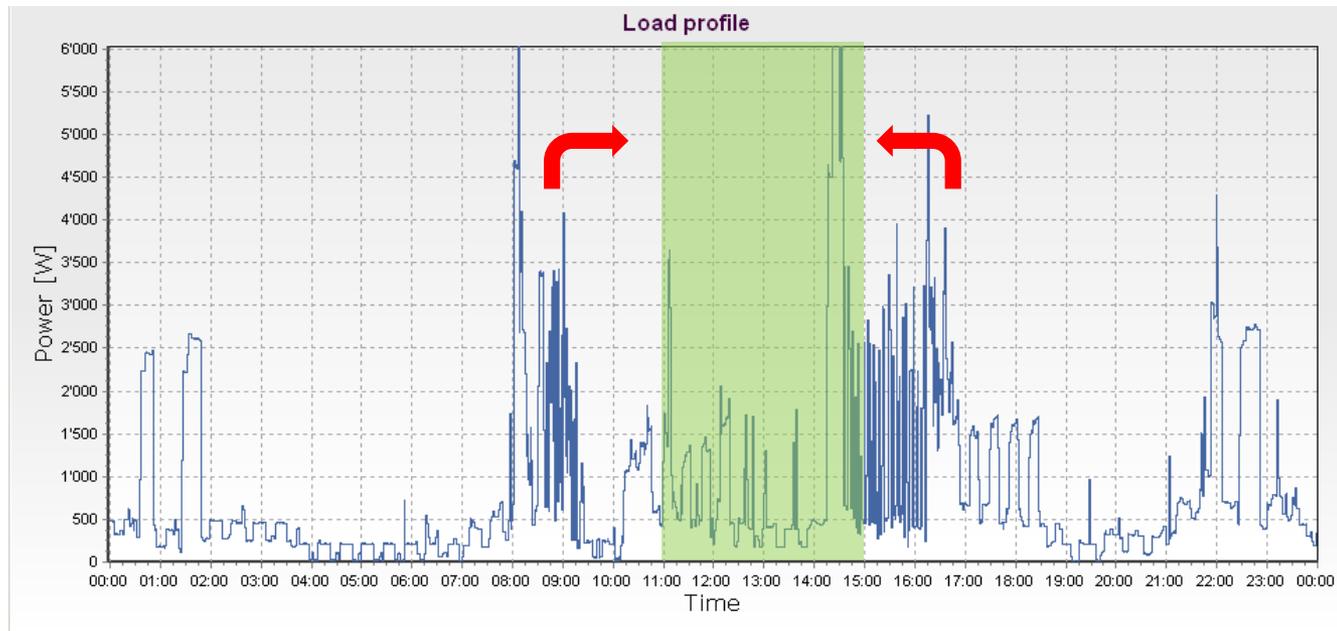
Solutions pour une forte pénétration du PV

- Doit viser une consommation locale de l'énergie PV
 - Moins d'impact sur le réseau
 - Moins de pertes (réseau et conversion)
- Déplacer la consommation (gestion de la demande)
- Stockage local
- Transformation vers d'autres vecteurs énergétiques («power to gas», etc.)



Gestion de la demande (DSM)

- Synchronisation de la demande avec la production PV
 - Augmentation de l'auto-consommation
 - Diminution des flux d'énergie avec le réseau



- Déplacement de charges / consommateurs **flexibles**

Solutions pour la DSM

- Mesures volontaires
 - Modification des activités/habitudes
 - Nécessite de convaincre, incitations financières (perte d'effet possible dans le temps, incitations financières faibles)
- Mesures techniques faciles à mettre en place
 - Programmation chauffage de l'eau chaude
 - Utilisation de la télécommande centralisée
- Autres mesures
 - Gestion de la pompe à chaleur (chauffage, eau chaude, solutions commerciales déjà existantes!)
 - Gestion du froid (peu intéressant pour des particuliers)

Projet Flexi (OFEN)

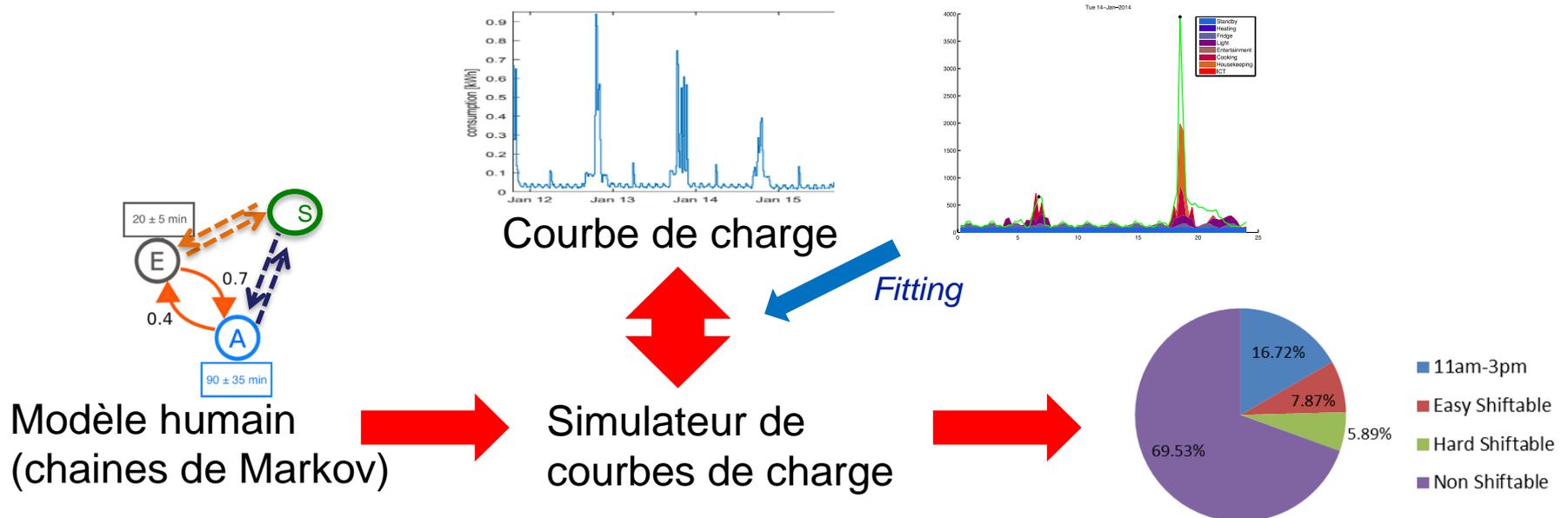
- Buts
 - Déterminer le **potentiel théorique** de flexibilisation des **ménages** (par rapport au PV)
 - En fonction des caractéristique des ménages (type, taille, habitants)
 - Identification des mesure techniques
 - Potentiel de flexibilisation en incluant l'eau chaude sanitaire
 - Déterminer le **potentiel pratique** de flexibilisation (aspects socio-économiques)
 - Comment modifier les habitudes de consommation?
 - Quelles sont les incitations effectives?
 - Effets de tarification?
 - Modification des habitudes chez les propriétaires de systèmes PV
 - Déterminer la part de production PV qui peut être consommé localement sans et avec des mesures de flexibilization
- Partenaires: Planair (coordinateur), UniNE, Groupe E et La Goule

Méthodologie (potential de flexibilisation)

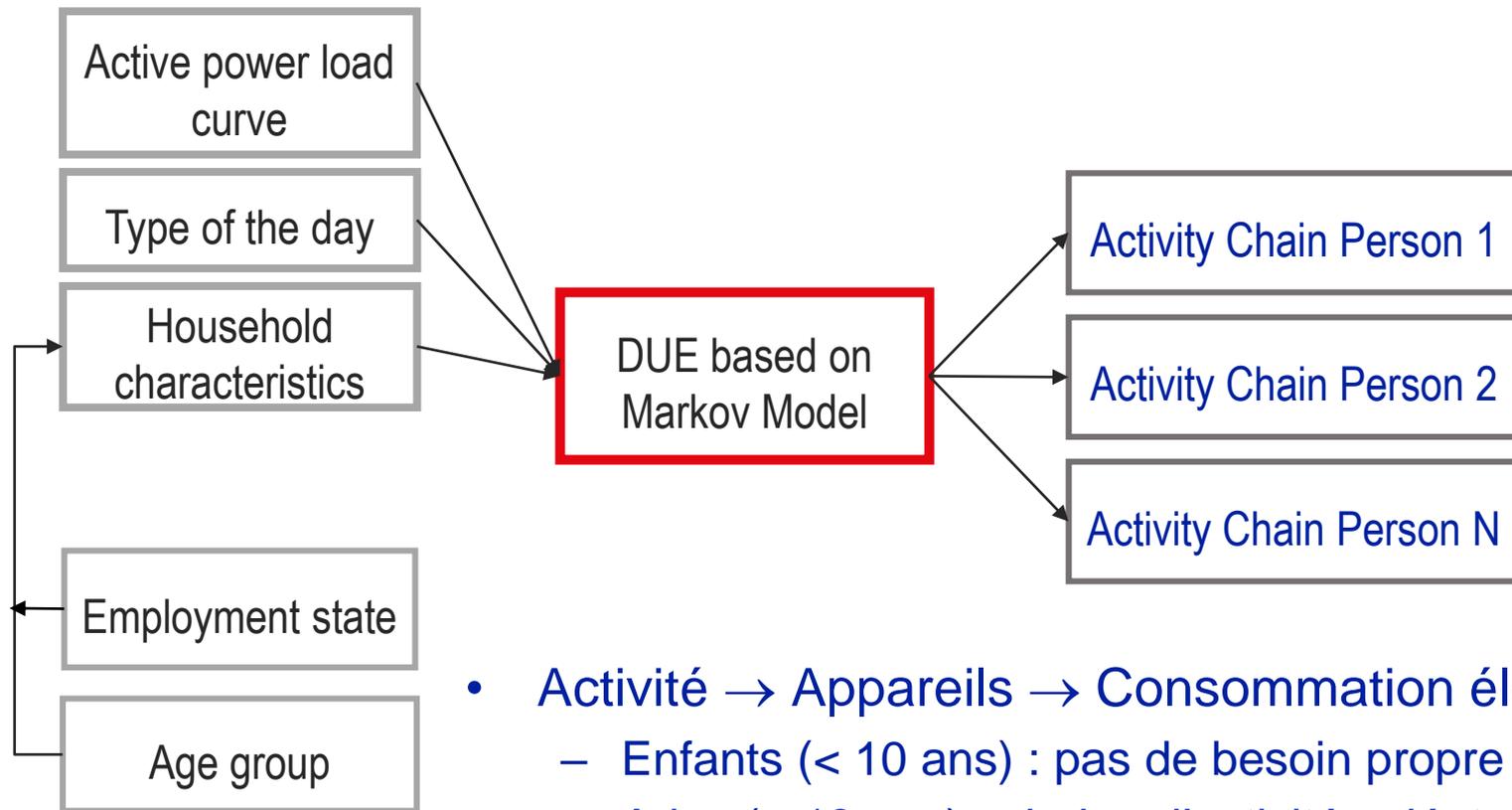
- Classification des consommateurs (appareils)
 - Flexibles : pas d'influence sur le confort des ménages, faciles à implémenter (machines à laver, eau chaude sanitaire,...)
 - Peu flexibles : effets importants sur le confort, difficile ou chers à implémenter (frigos, congélateurs, fers à repasser, aspirateurs,)
 - Pas flexible : effets inacceptables sur le confort ou fonctionnement définis par des facteurs externes (cuisson, éclairage, ...)
- Données:
 - Courbes de charge à 15 minutes («smart-meters»)
 - Informations sur les ménages (pour un échantillon restreint)
 - Habitant: Nombre, âge, emploi, emploi du temps...
 - Ménage: Type, nombre de pièces, équipement,...
 - Socio-culturel: Formation, sensibilité aux questions environnementales,...

Désagrégation de courbes de charge

- Identification des consommateurs (appareils) utilisés
- Désagrégation des courbes de charges (à 15 minutes)
 - NILM (Non Intrusive Load Monitoring)
 - “Machine learning” (supervisé ou non-supervisé)
- Approche suivie pour Flexi:



DUE (Device Usage Estimation)



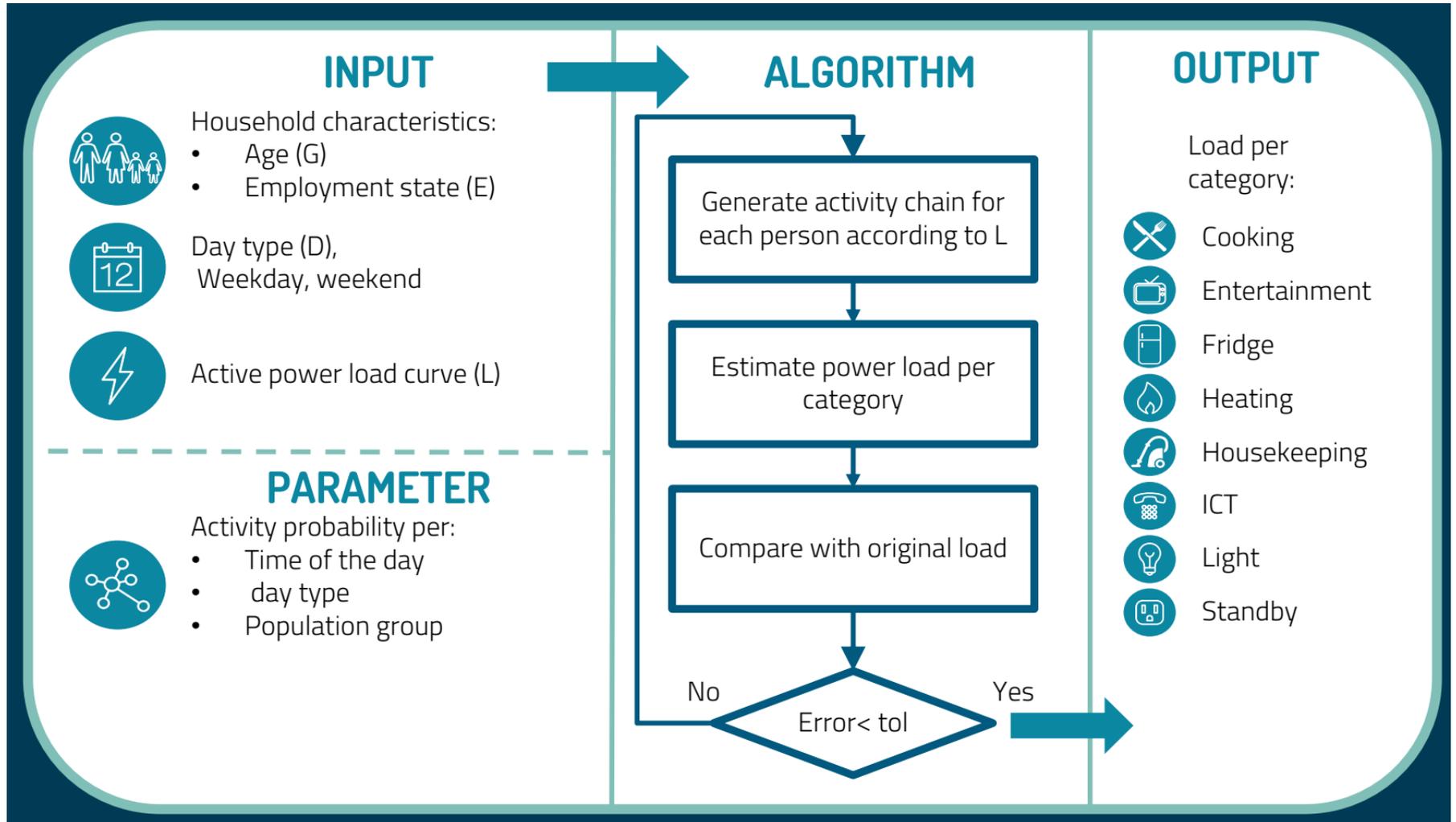
- **Activité → Appareils → Consommation électrique**
 - Enfants (< 10 ans) : pas de besoin propre
 - Ados (< 18 ans) : chaine d'activités aléatoires
 - Adultes : Chaine d'activités selon «time use survey»
 - Pas d'absence partielle considérée

Activités et consommateurs

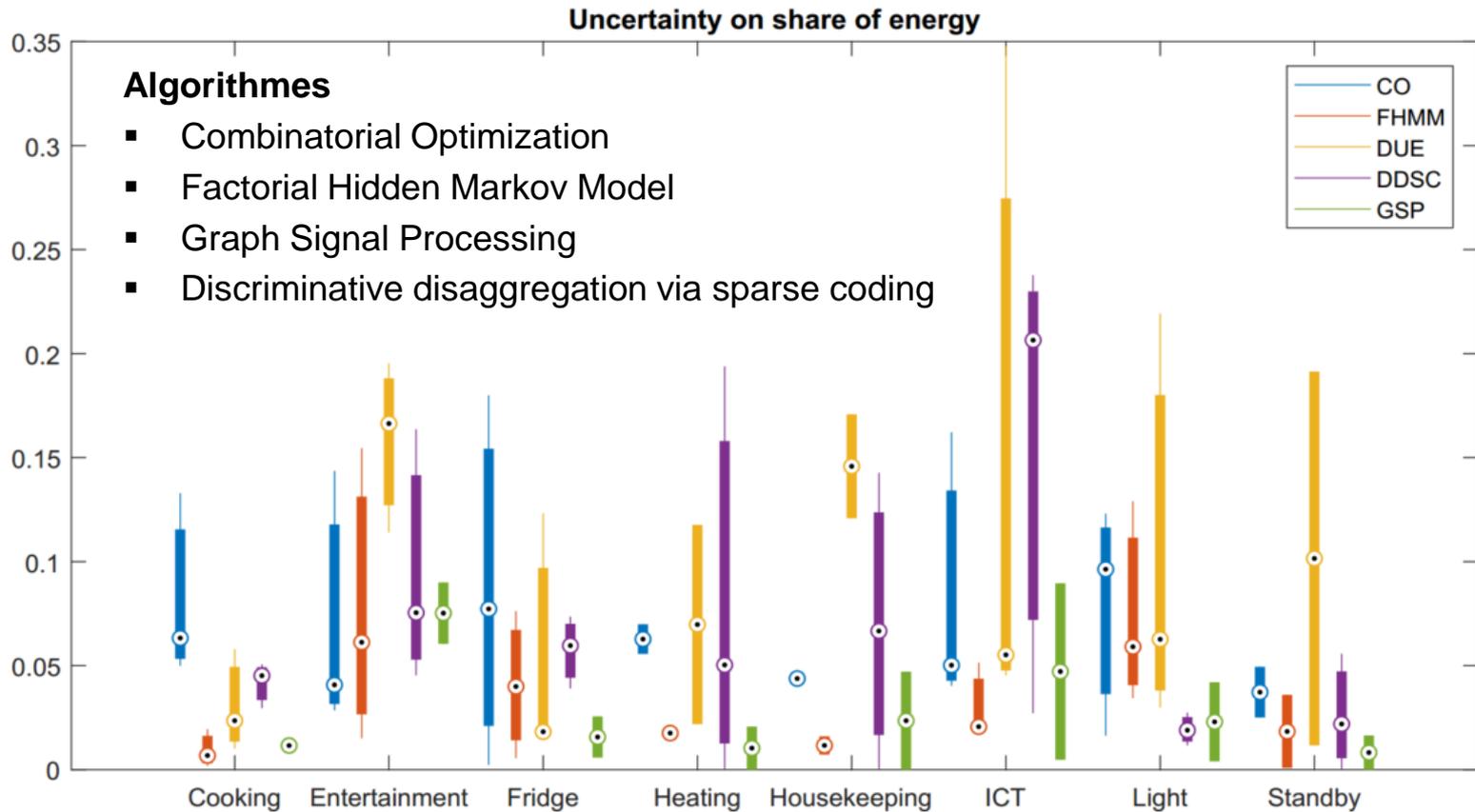
- Activités (avec conso)
 - Nettoyage/ménage
 - Ordinateur
 - Cuisine
 - Vaisselle
 - Repas
 - Travail domestique
 - Jeux
 - Linge
 - Musique
 - TV
 - Douche
 - Travail
- Activités (sans conso)
 - Sommeil
 - Sport (outdoor)

Category	Appliances	Related activities
Cooking	Coffee maker, stove, oven, microwave, kettle	Cook, eat
ICT	Printer	Use computer, work, homework
Housekeeping	Washing machine, dishwasher, tumble dryer, vacuum cleaner	Clean, wash dishes, laundry
Entertainment	TV, stereo, PC, TV box, laptop, DVD, gaming console	All
Light	Lights	All
Fridge	Fridge, freezer	
Heating	Hairdryer, HP, boiler	Shower
Standby	Modem	

Algorithme



Performances



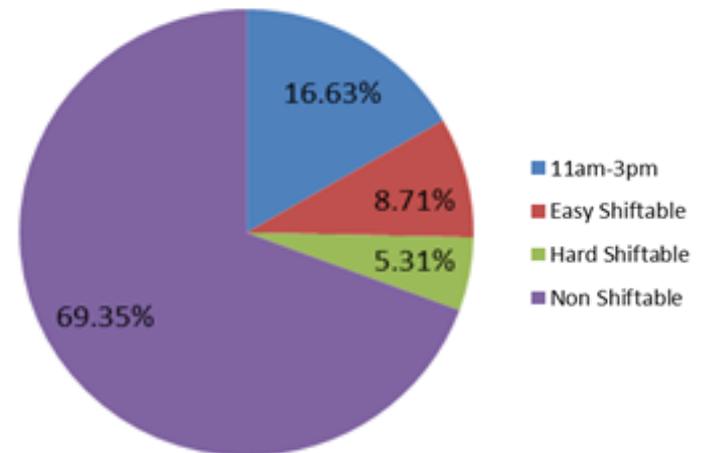
- Incertitude moyenne sur la part en énergie ~ 20%
- DUE est non-supervisé (les autres algorithmes sont supervisés)
- DUE est basé sur une approche statistique où toutes les catégories sont présentes

Flexi phase 1

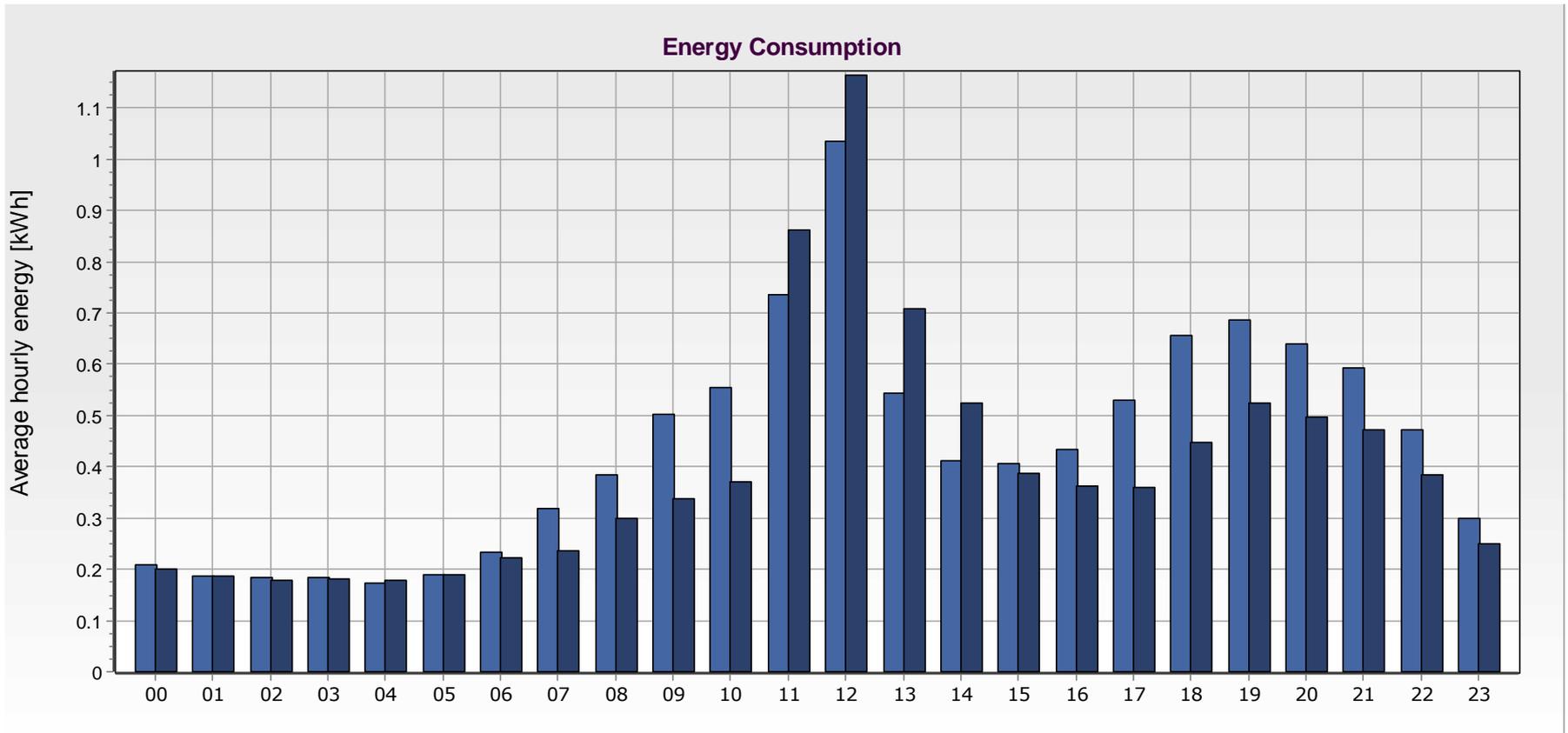
- Etude à Cernier (NE), village de \approx 1300 ménages
- \approx 350 smart-meters installés, **groupe e**
- 3 groupes de ménages
(\approx 100 ménages ayant répondu à un questionnaire détaillé)
 - Groupe de contrôle
 - Groupe «facture», recevant une information détaillée sur leurs consommation et performance avec leur facture mensuelle
 - Groupe «flexi», où les ménage les plus performants recevaient chaque mois un avantage financier (concours avec primes)
- Les ménages des groupes «facture» et «flexi» étaient appelés à déplacer leur consommation vers la tranche horaire (fixe) 11h-15h

Résultats phase 1

- Pas de changement de consommation pour le groupe «facture»
- 2% of consommation déplacé pour le groupe «flexi»
(matin et fin d'après-midi vers tranche horaire 11-15 h)
- Potentiel de flexibilisation (simulation)
(déplaçable vers 11-15 h)
 - Flexible: $\approx 8\%$ de la consommation totale
 - Peu flexible: $\approx 6\%$
 - 16-18% (simulation) de la consommation dans la tranche 11-15 h
 - 22-24% (mesures) de la consommation déjà dans la tranche 11-15 h

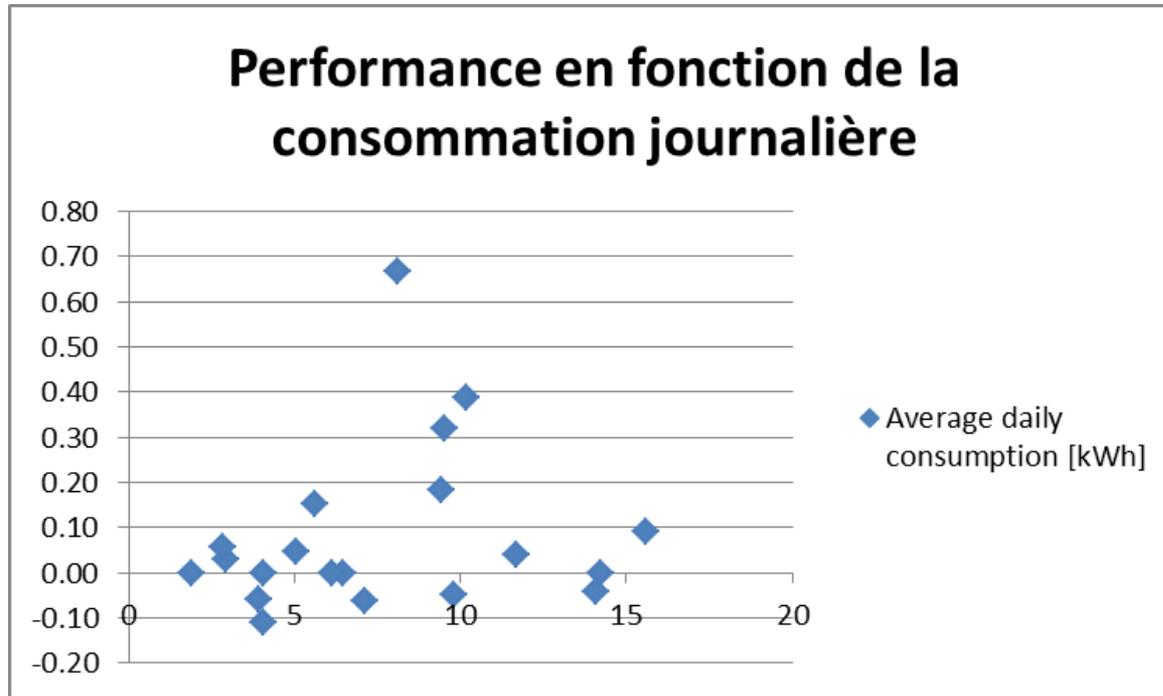


Changement du profil horaire



- Changement du profil de consommation avec des incitation financières

Flexibilisation et consommation



- La majorité des ménages ont amélioré leur performance mais...
 - La résultat du groupe «Flexi» est dû à moins du 1/3 des ménages!
 - Le ménages consommant peu ont peu (ou pas pu) modifié leurs comportements
 - Les ménages consommant beaucoup ont peu performé !

Flexi phase 2 (en cours)

- Réseau de distribution de La Goule
- \approx 6000 smart-meters installés
- 4 groupes de ménages
(\approx 100 ménages ayant répondu à un questionnaire détaillé, \geq 400 ménages additionnels)
 - Groupe de contrôle (G0)
 - Groupe «fixe», appelés à déplacer leur consommation vers la tranche horaire favorable 11h-15 h (G1)
 - Groupe «variable», appelés à déplacer leur consommation vers une tranche de production PV favorable, annoncée la veille par SMS (G2)
 - Groupe de ménages avec production PV (G3)
- Le prix de l'électricité pendant les périodes favorables est fortement réduit (-15 cts) et péjoré le reste du temps (+ 4 cts). La tarification est neutre pour un ménage de modifiant pas sa consommation)
- Double facturation, les ménages payent la facture la plus favorable.



Résultats préliminaires phase 2

- Métrique, score «flexi»

$$S_{flexi} = \frac{\frac{E_{flexi}}{E_{day}}}{\frac{d_{flexi}}{d_{day}}} = \frac{\bar{P}_{flexi}}{\bar{P}_{day}} \text{ with}$$

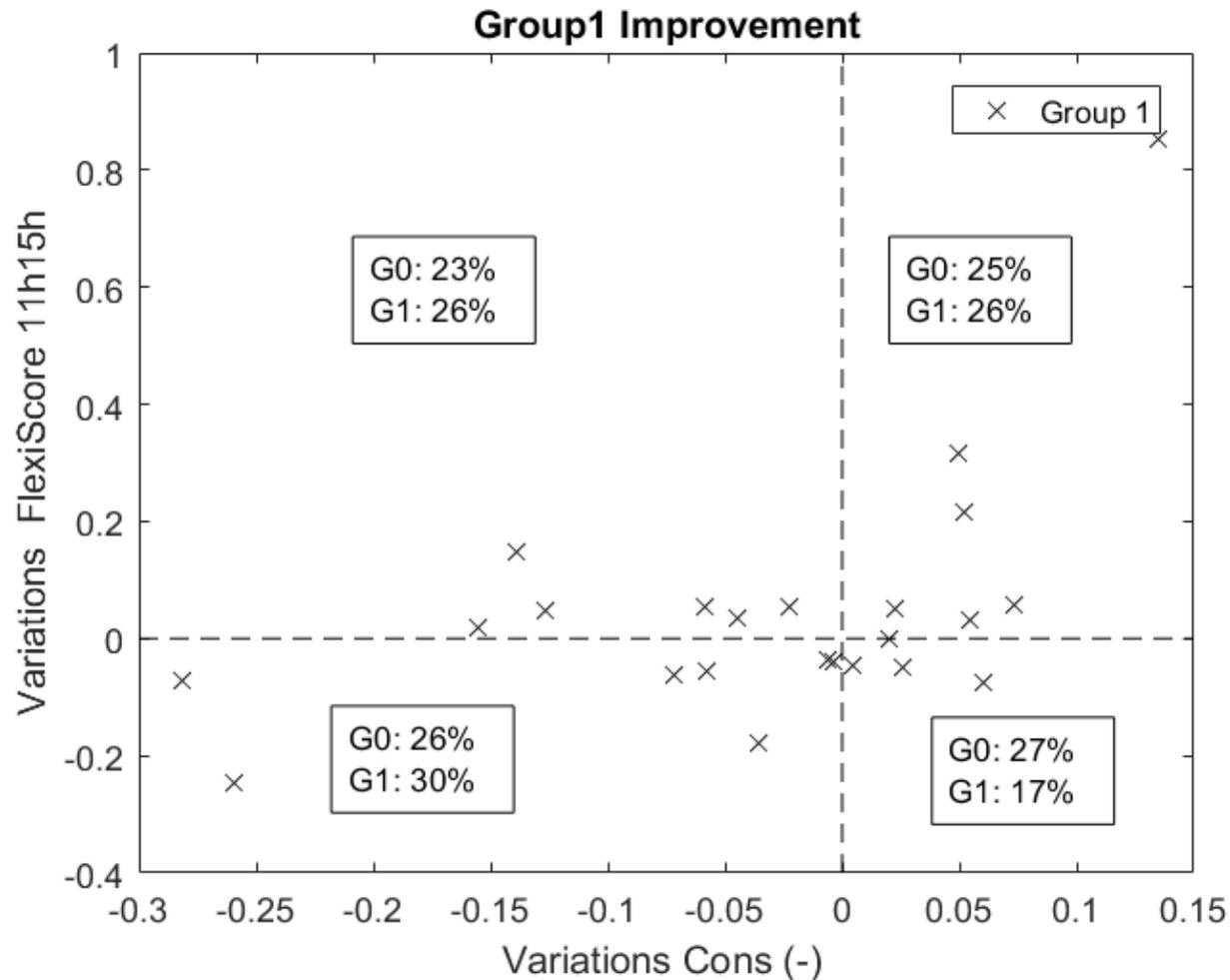
E_t : Energy consumed during period t (kWh)

d_t : Duration of period t (h)

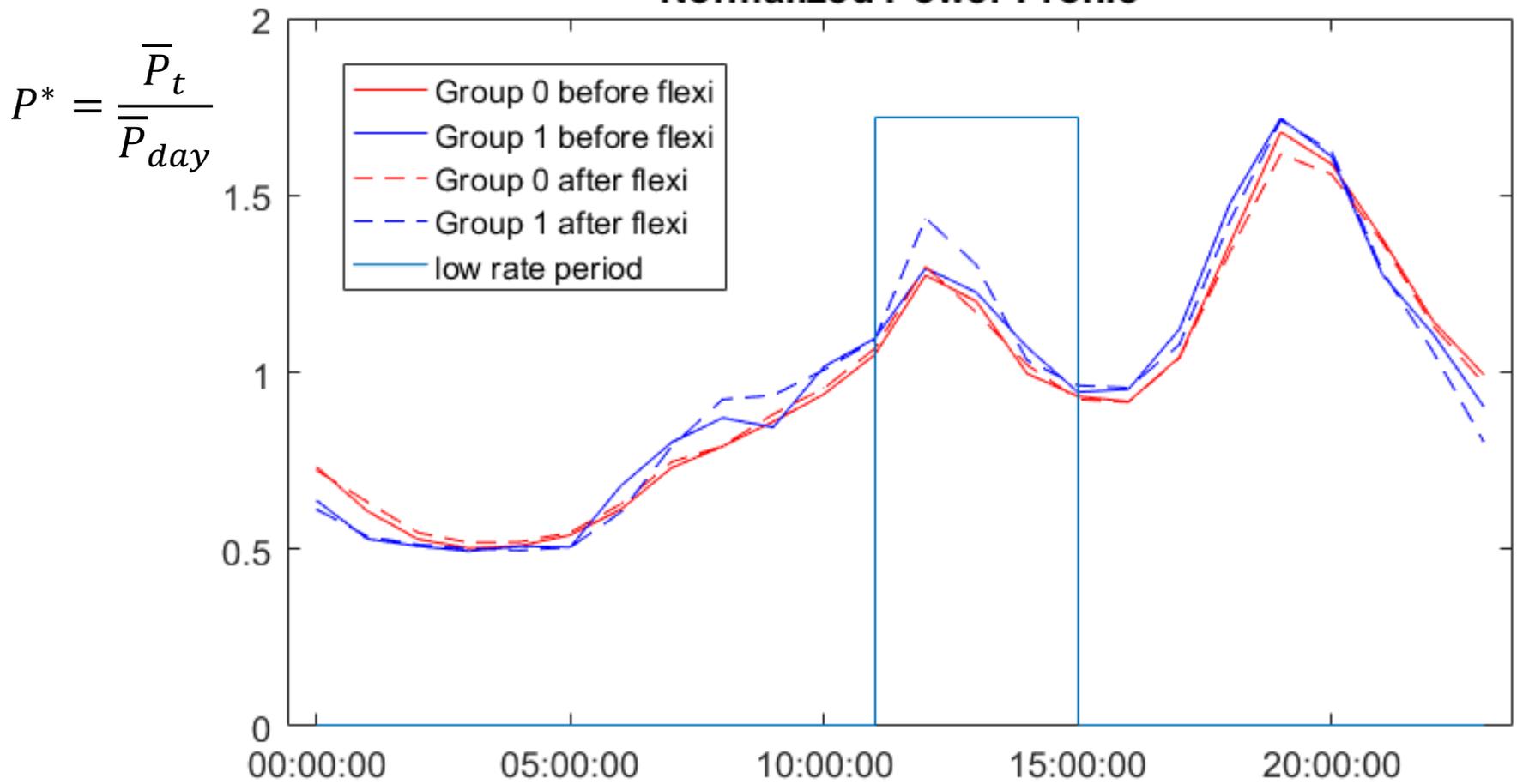
\bar{P}_t : Average Power over period t (kW)

- Comparaison avant et après introduction de l'expérience
- Echantillons
 - Groupe 0: 159 ménages
 - Groupe 1: 23 ménages
 - Groupe 2: 22 ménages

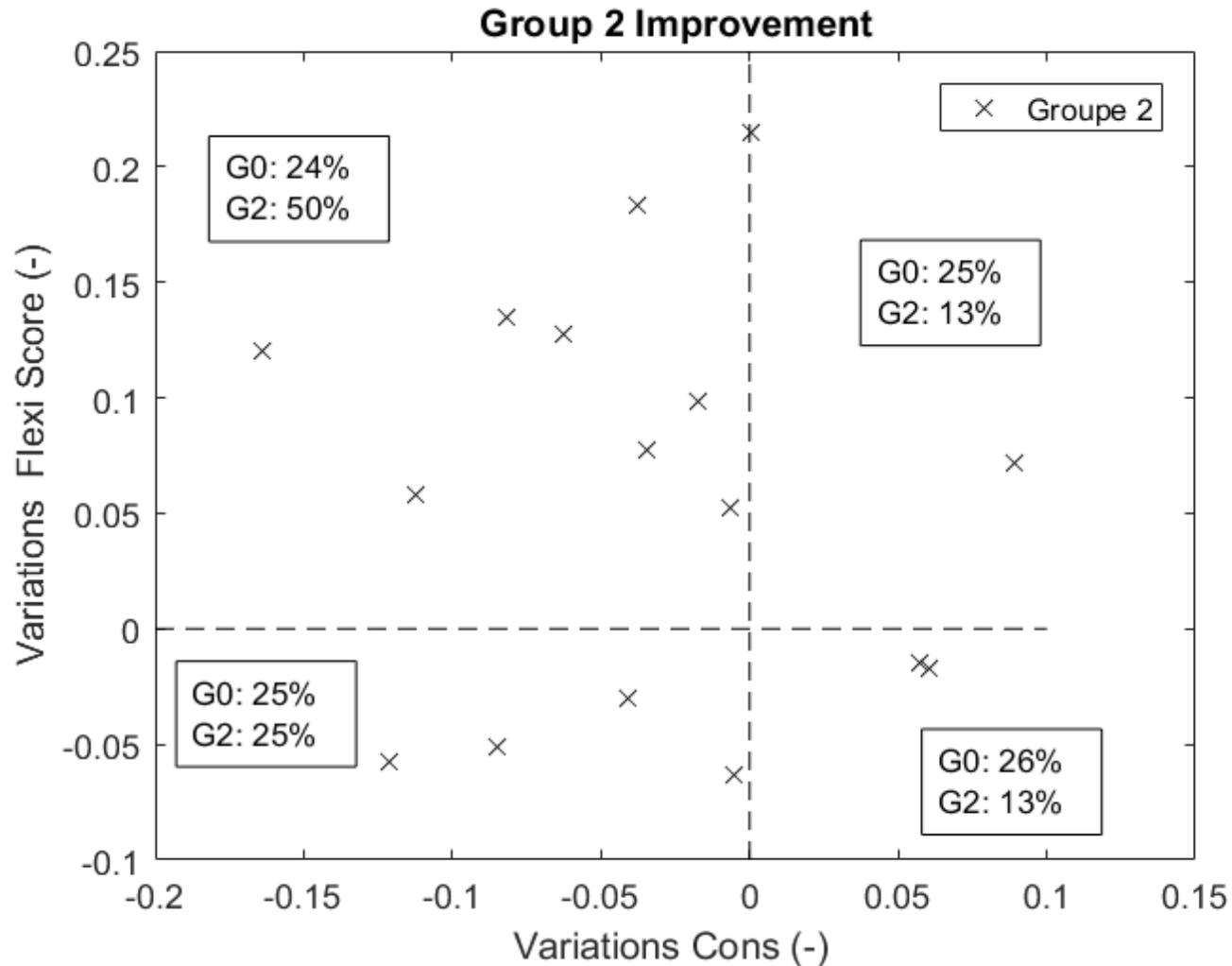
Résultats préliminaires groupe 1 (fixe)



Résultats préliminaires groupe 1 (fixe)



Résultats préliminaires groupe 2 (var)



Groupe 2 : distribution périodes favorables

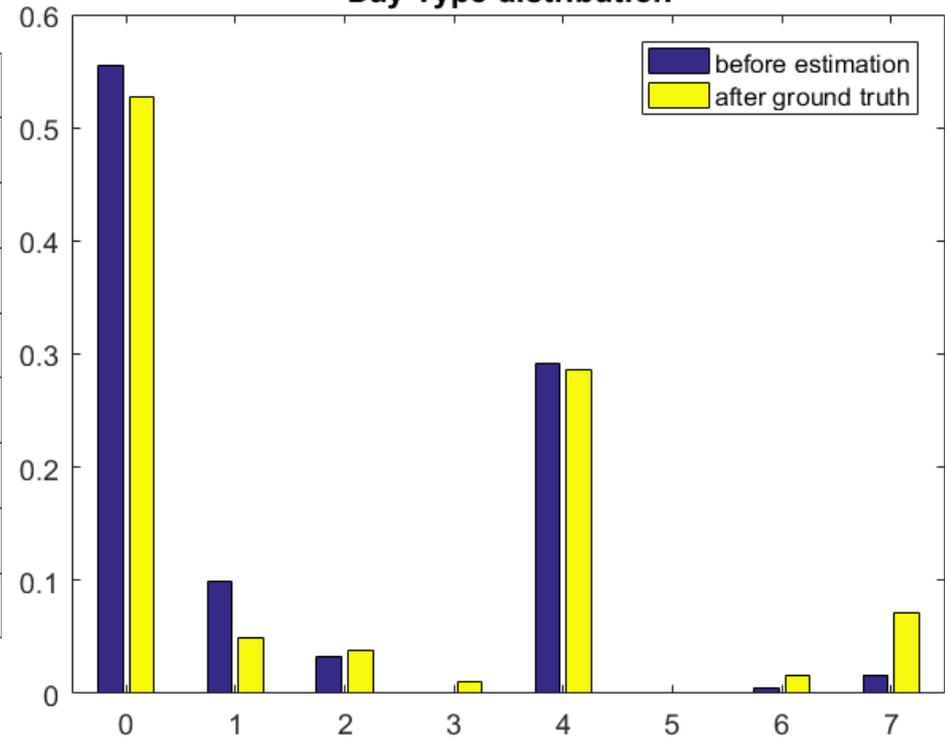
Daylight saving time only

Flexi -day type category

'10h-13h' '13h-16h' '16h-19h'

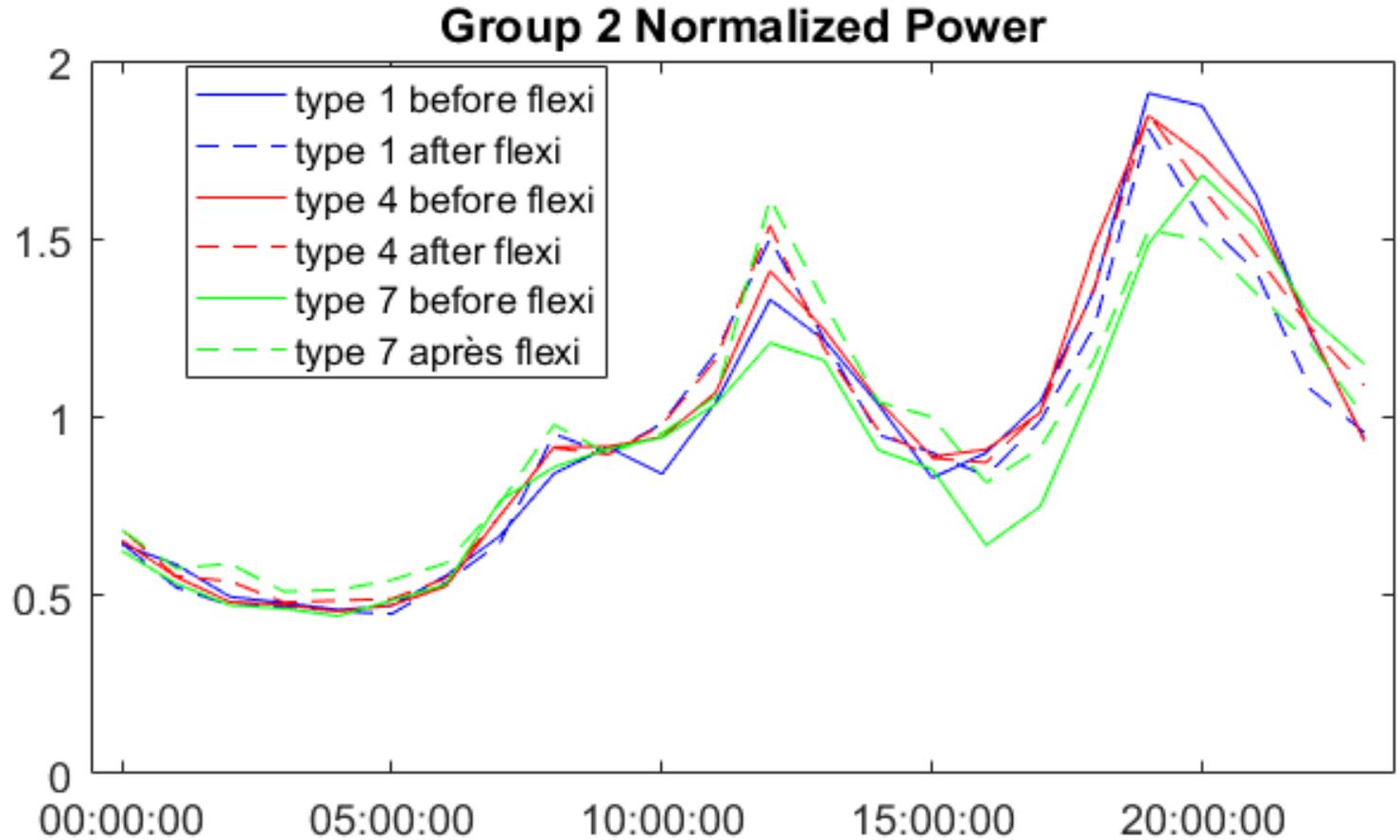
type 0	○	○	○
type 1	×	○	○
type 2	○	×	○
type 3	○	○	×
type 4	×	×	○
type 5	×	○	×
type 6	○	×	×
type 7	×	×	×

Day Type distribution



Résultats préliminaires groupe 2 (var)

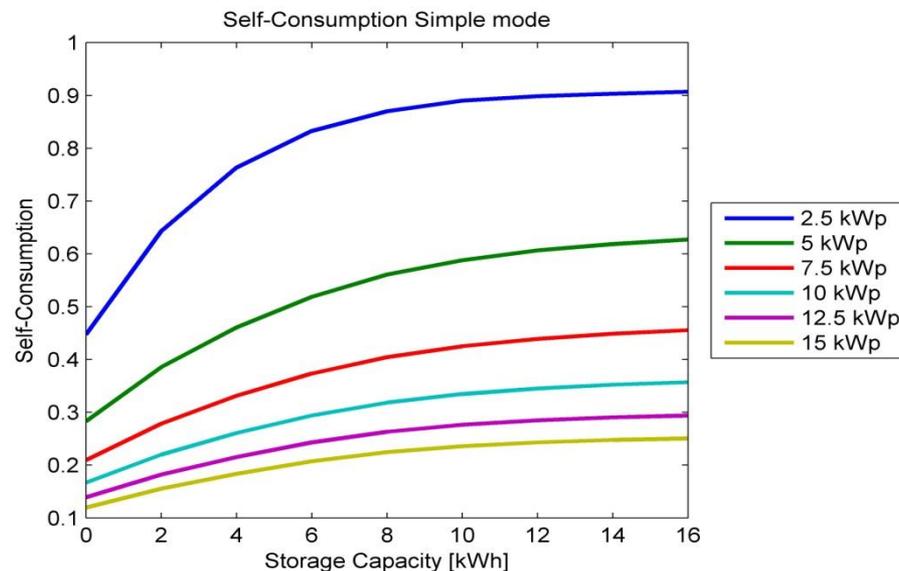
$$P^* = \frac{\bar{P}_t}{\bar{P}_{day}}$$



Limites des mesures volontaires

- Part de l'énergie consommée déplacée faible (2-3% de la conso globale-hors eau chaude) mais
 - Incitation financière peut importante (2% de la facture mensuelle \approx 2 CHF)
 - Difficile à réaliser si travaillant à l'extérieur
 - Difficile à susciter l'intérêt sur le long terme
 - Reste contraignant
 - Reste intéressante au niveau d'un réseau basse tension
 - Induit une baisse de la consommation
 - Rend les ménages conscients de leur consommation d'énergie
- Intérêt pour des mesures techniques
 - Sans intervention humaine
 - Programmation des appareils ou contrôle à distance
 - Reste limité pour les consommateurs flexible du ménage (principalement machines à laver)
 - Potentiel important pour le chauffage de l'eau chaude (30-200% de la conso électrique selon le mode de production et les besoins)

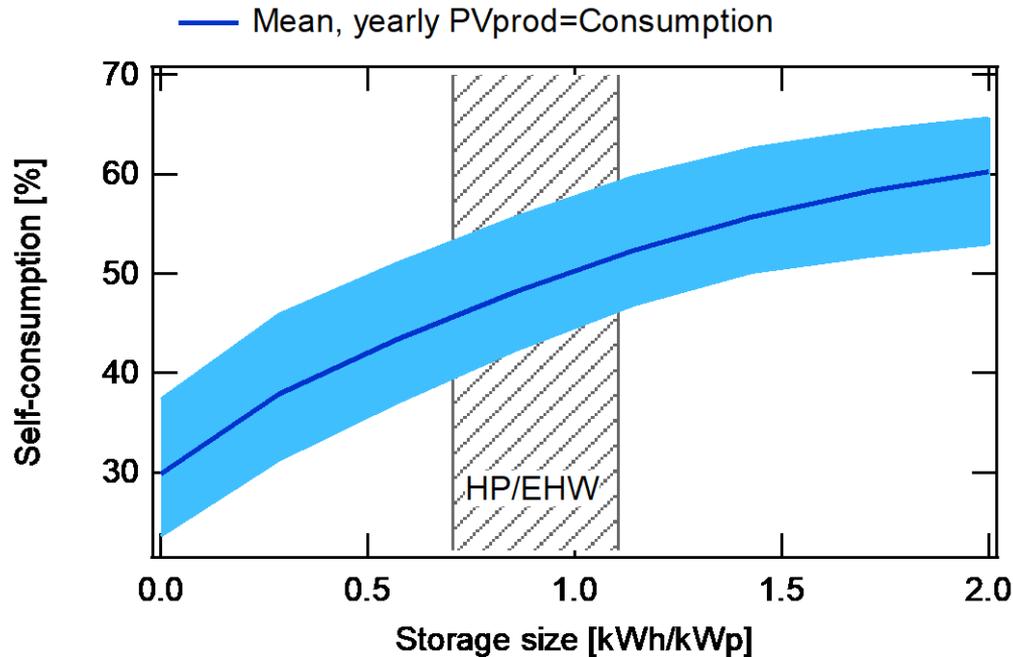
Auto-consommation du PV pour un ménage



Maison familiale, région Neuchâtel,
consommation annuelle ≈ 5 MWh

- Sans système de stockage, avec une couverture de la consommation annuelle par du PV de 100% $\rightarrow \approx 30\%$ d'autoconsommation
- Augmentation de l'autoconsommation
 - Système de stockage ($\approx 50\%$ avec une capacité de stockage équivalente à 1 h de production PV)

Auto-consommation de ménages & stockage local



- Cas d'étude

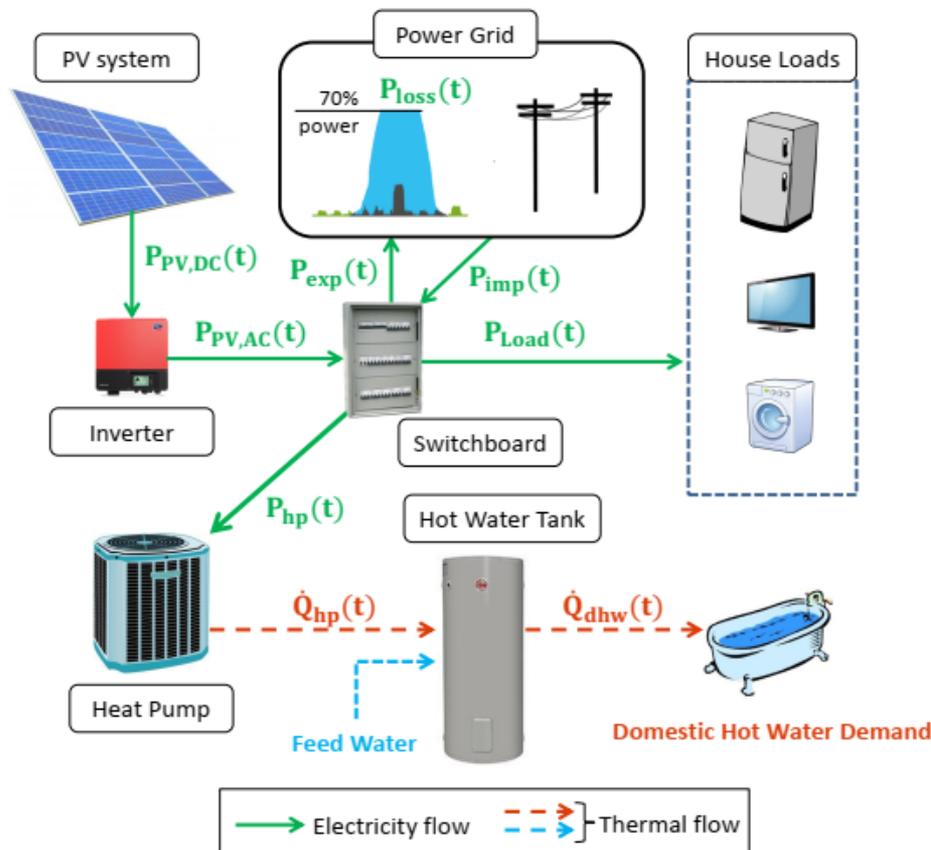
- Echantillon de 67 ménages (maisons familiales et appartements)
- Chaque ménage avec un système PV couvrant le 100% de sa consommation annuelle

- Capacité de stockage

1. Electrochimique
2. Par chauffage de l'eau sanitaire (ballon de 300 litres, 6500 kWh de besoins annuels) par pompe à chaleur (HP) ou boiler (EHW)

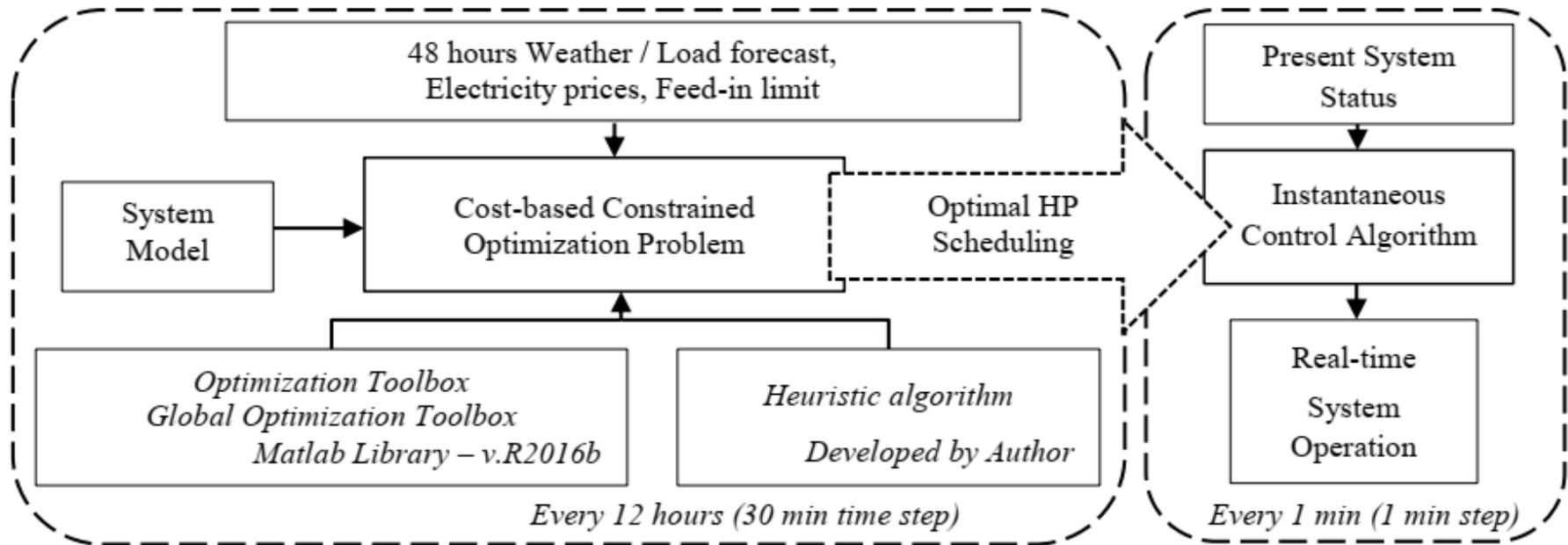
- Petite capacité de stockage (qq. kWh) efficace pour améliorer grandement l'autoconsommation
- Le chauffage de l'eau sanitaire offre cette capacité de stockage

Utilisation de la PAC



- Augmentation de l'auto-consommation par une pompe-à-chaleur (PAC)
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire avec les excédents de production
- Chauffage de jour (plutôt que la nuit)
- Incitation financière encore faible (tarif de nuit faible)
- Financièrement plus compétitif que le stockage électrochimique
- Plus difficile à gérer (fonctionnement PAC, puissance à disposition)
- Gestion possible sans besoin de prévisions météo exactes

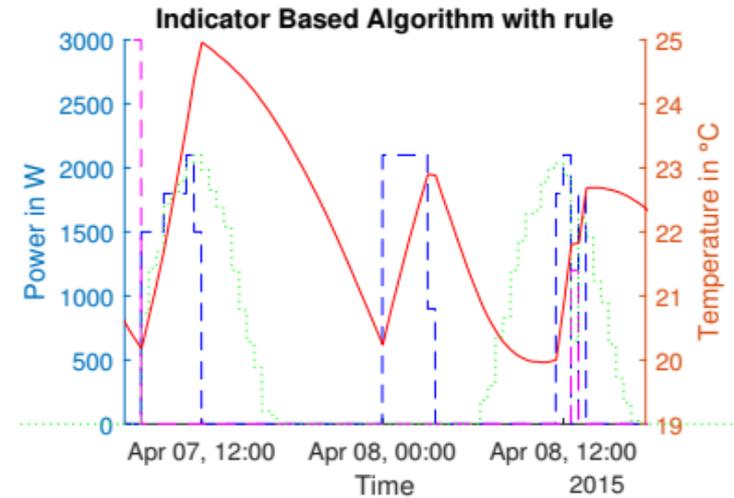
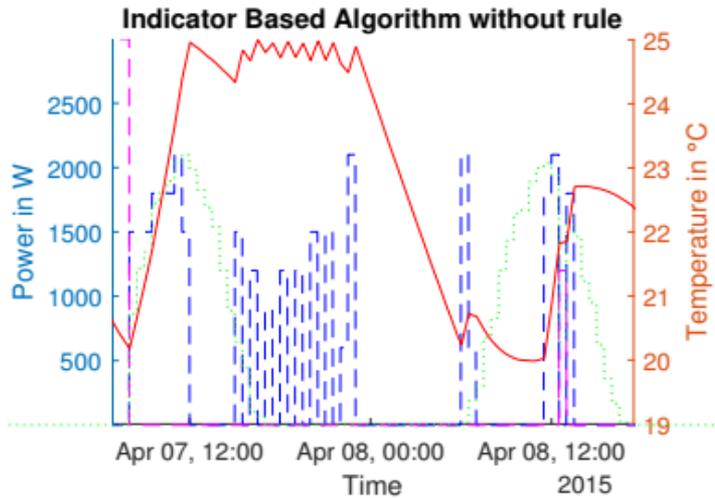
Algorithme de contrôle de PAC



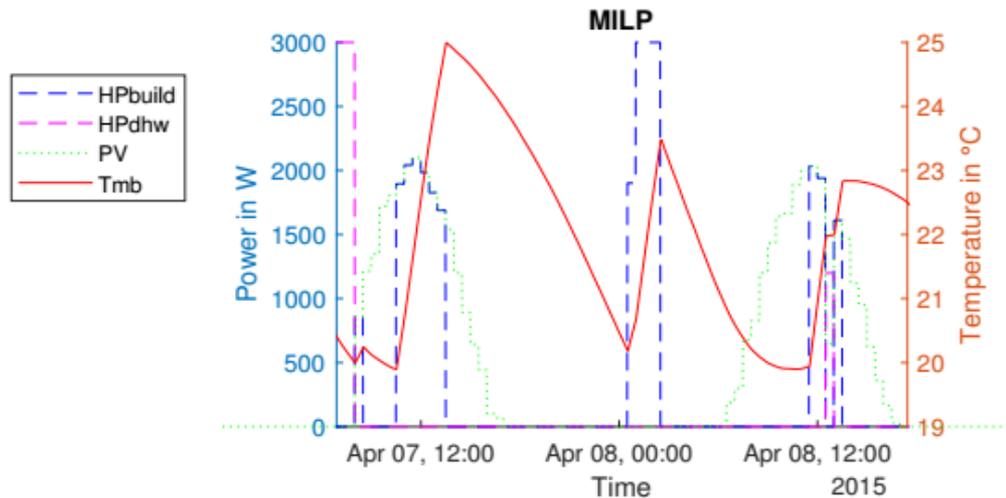
- Algorithme de contrôle heuristique (plan de fonctionnement pour les prochaines 48 h, renouvelé toutes les 12 h)
 - Optimisation des coûts (électricité, fonctionnement de la PAC)
- Algorithme de contrôle instantané appliqué chaque minute
 - Contraintes données par le système (consignes de température, PAC)

Algorithme de contrôle de PAC

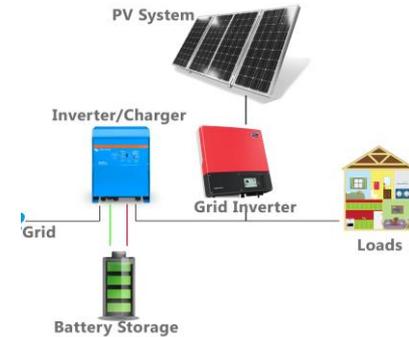
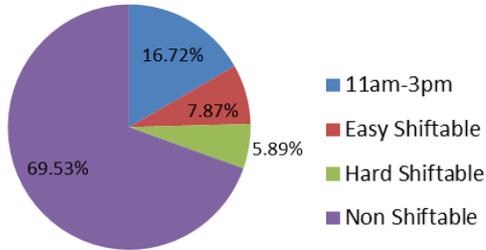
Algorithmes
heuristiques



Optimisation
numérique

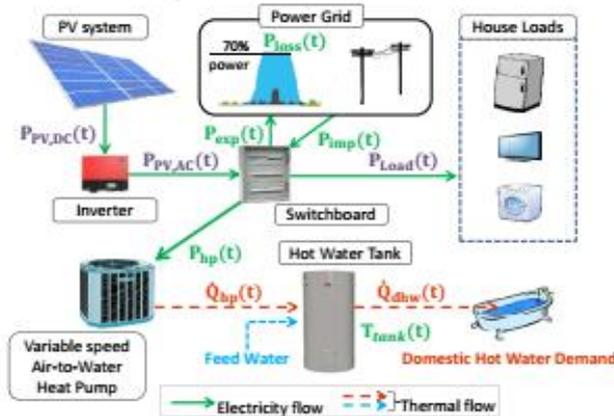


Potential de flexibilisation (multi-energies)



Electricité (DSM)

Batterie,
mobilité électrique



Chaleur

Froid



Conclusions

- Potentiel de flexibilisation (hors eau chaude sanitaire) : 8%
- Potentiel de flexibilisation pratique (hors eau chaude sanitaire) : 2% (avec les incitations financières adéquates), à confirmer
- Incitation financière par la seule tarification de l'électricité reste faible (différences minimales sur la facture d'électricité) mais utile

- Chauffage de l'eau chaude offre un important potentiel de flexibilisation
- Disponible facilement et à faible coût
- Auto-consommation de 30% pour un système PV couvrant la consommation annuelle d'un ménage.
- Stockage sous forme thermique ou électrique équivalent pour améliorer l'auto-consommation
- Une petite capacité de stockage (1/3-1/2 de la consommation électrique journalière moyenne) permet de presque doubler l'auto-consommation

Merci pour votre attention

