



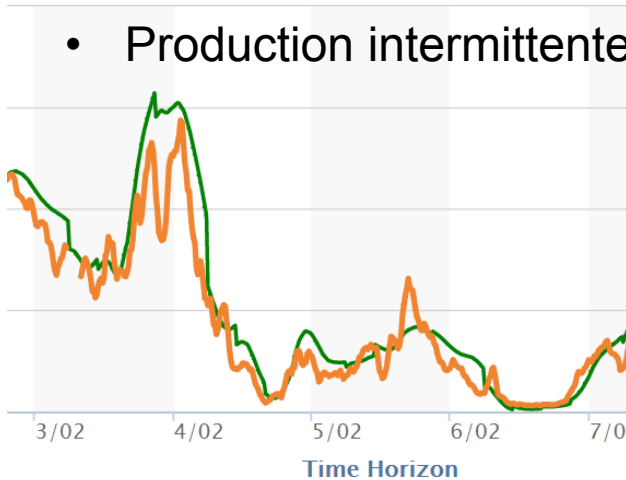
COMPARAISON DE TROIS SOLUTIONS ÉLECTRIQUES POUR LE CHAUFFAGE D'UNE HABITATION BASSE ÉNERGIE

LEMORT Vincent
RANSY Frédéric
GENDEBIEN Samuel
GEORGES Emeline

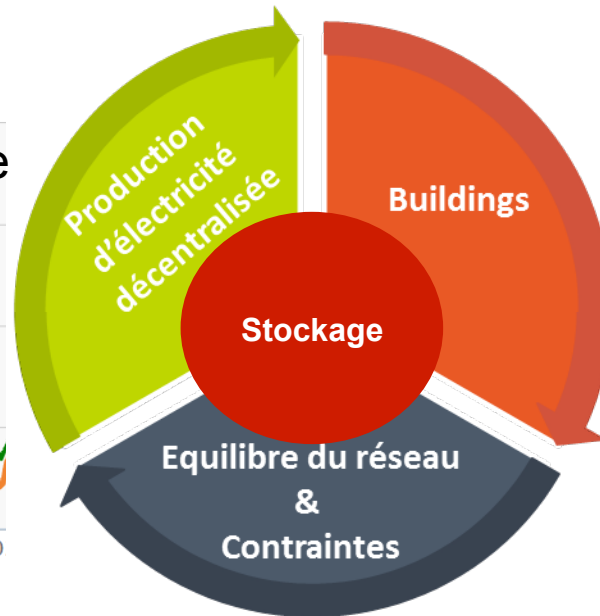
Contexte

Weekly Belgian Wind-Power Forecasting

- Production intermittente

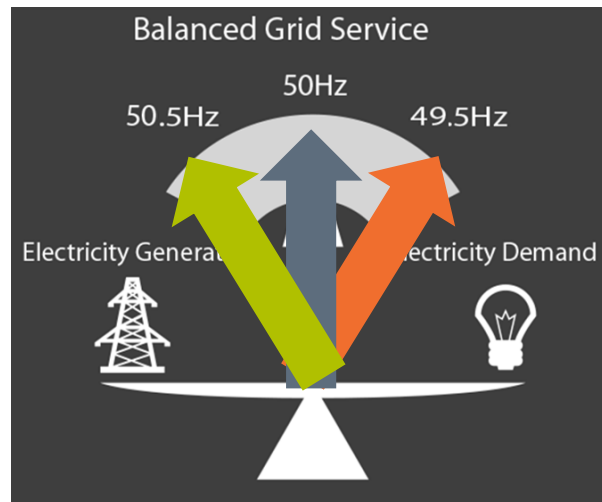


(Source: Elia)



Electrification

- Chauffage électrique
- Pompes à chaleur
- Véhicules électriques
- Batteries
- ...



Contenu de la présentation

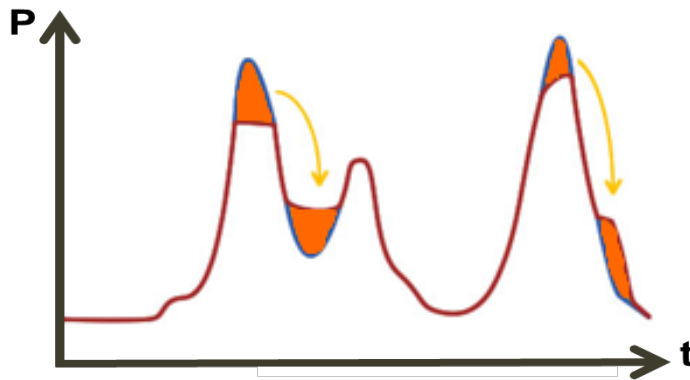
- Introduction
 - Contexte et objectifs
 - Technologie des chauffage électrique avec stockage thermique
- Cas d'étude & hypothèses
 - Choix des bâtiments étudiés
 - Choix des systèmes étudiés
- Evaluation du potentiel pour l'effacement de pointe
- Evaluation du potentiel pour l'auto-consommation
- Conclusions

Introduction

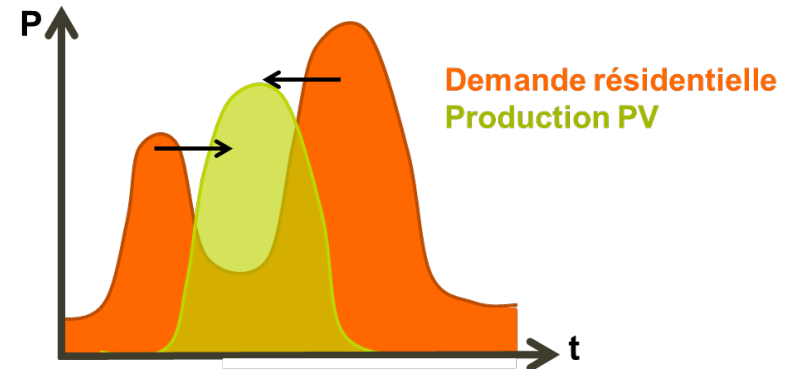
- Objectif de l'étude:

Comparaison du potentiel de déplacement de charge offert par trois systèmes de chauffage : chauffages électriques directs, radiateurs électriques avec stockage thermique et pompes à chaleur avec ballons de stockage dans le cadre de

Effacement de pointe

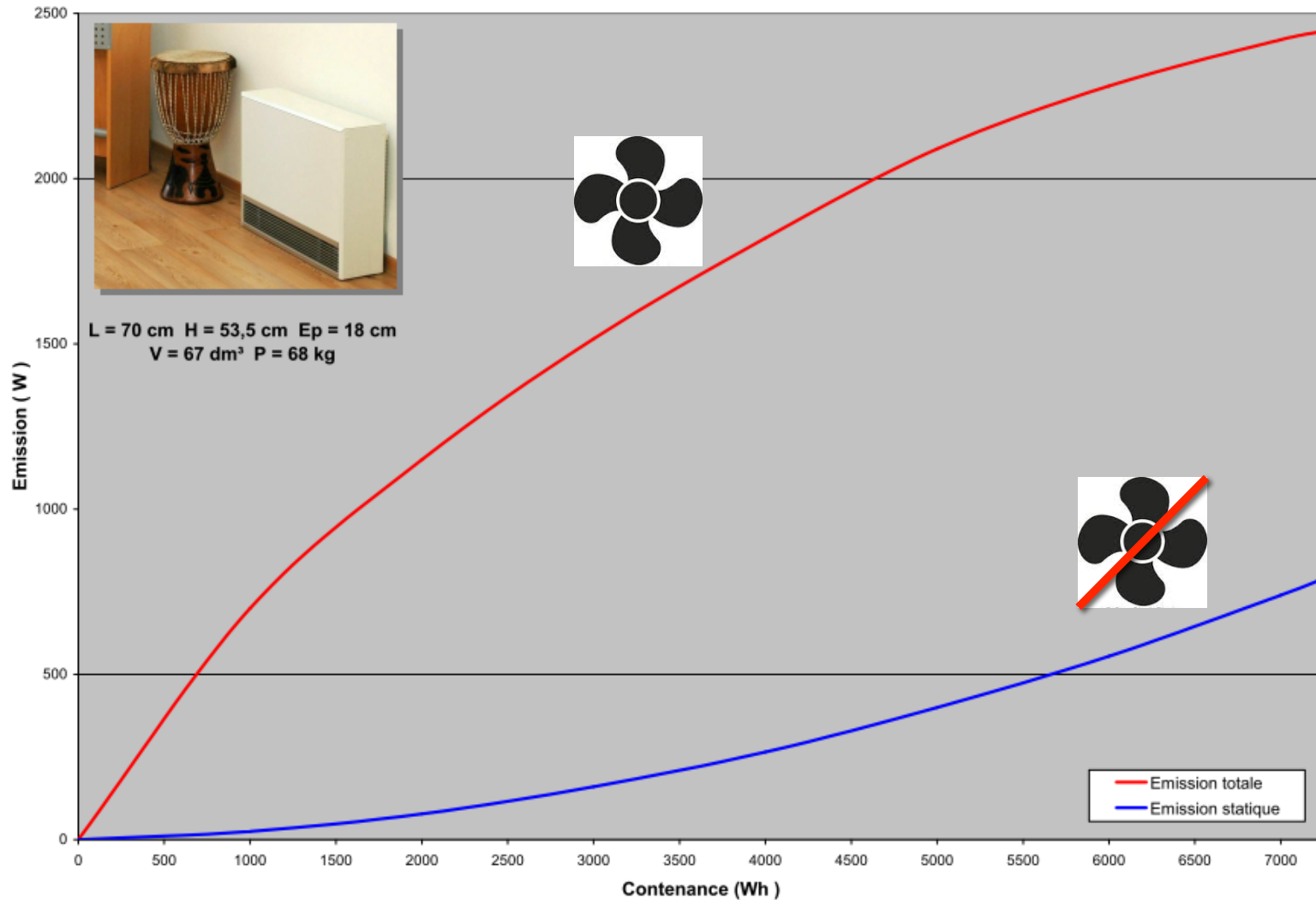


Auto-consommation de la production décentralisée (PV)



Introduction

- Technologie des radiateurs électriques avec stockage thermique:



Contenu de la présentation

- Introduction
 - Contexte et objectifs
 - Technologie des chauffage électrique avec stockage thermique
- Cas d'étude & hypothèses
 - Choix des bâtiments étudiés
 - Choix des systèmes étudiés
- Evaluation du potentiel pour l'effacement de pointe
- Evaluation du potentiel pour l'auto-consommation
- Conclusions

Cas d'étude & hypothèses

• Choix des bâtiments:

- Comparaison des systèmes à niveau K équivalent

Afin de respecter la PEB,
bâtiments résidentiels neufs très isolés (**K25**)
ou passifs (**K15**)



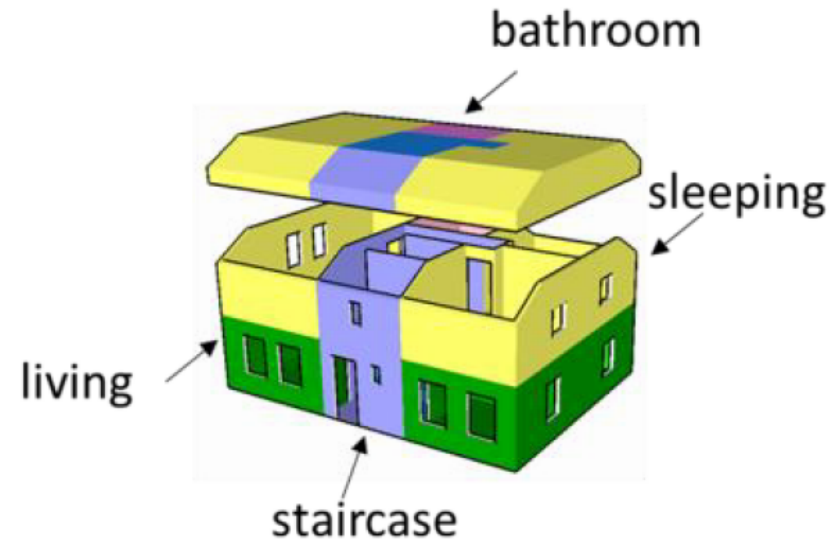
- Résultats PEB: maisons 4 façades et appartements

	Maison 4 façades		Appartement	
Energie finale	K25	K15	K25	K15
Chauffage (kWh)	4836	2465	180	~0

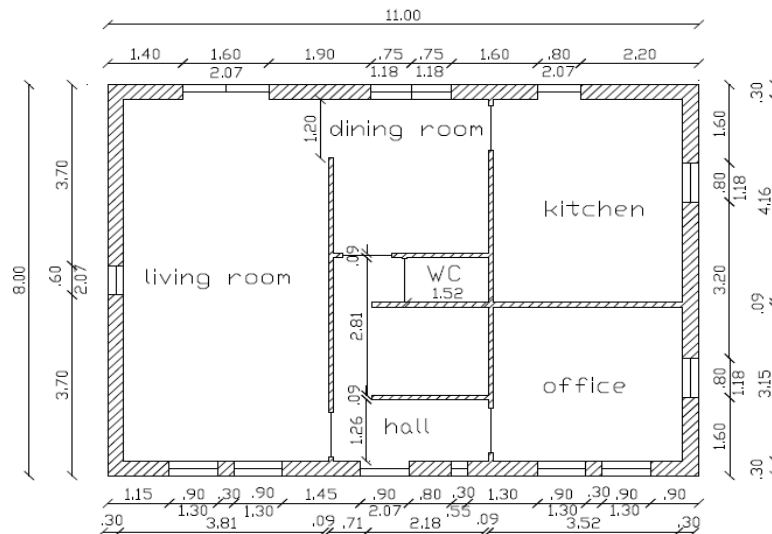
Cas d'étude & hypothèses

• Maison 4 façades:

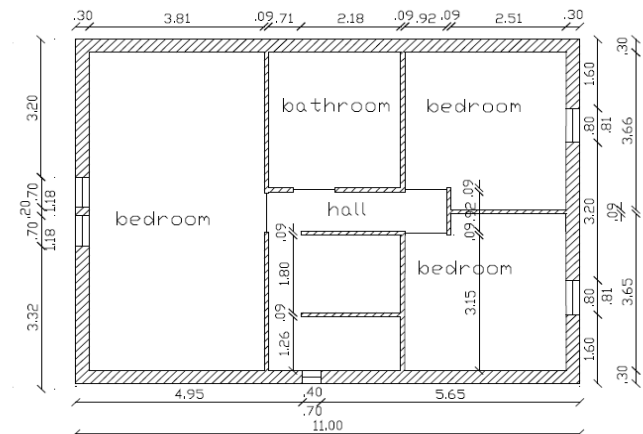
- Ossature lourde
- Isolation extérieure
- Surface au sol: 88 m²
- Volume chauffé: 457 m³
- Surface chauffée: 176 m²



GROUND FLOOR:









FIRST FLOOR:



Cas d'étude & hypothèses

- Systemes étudiés:

- Technologie?

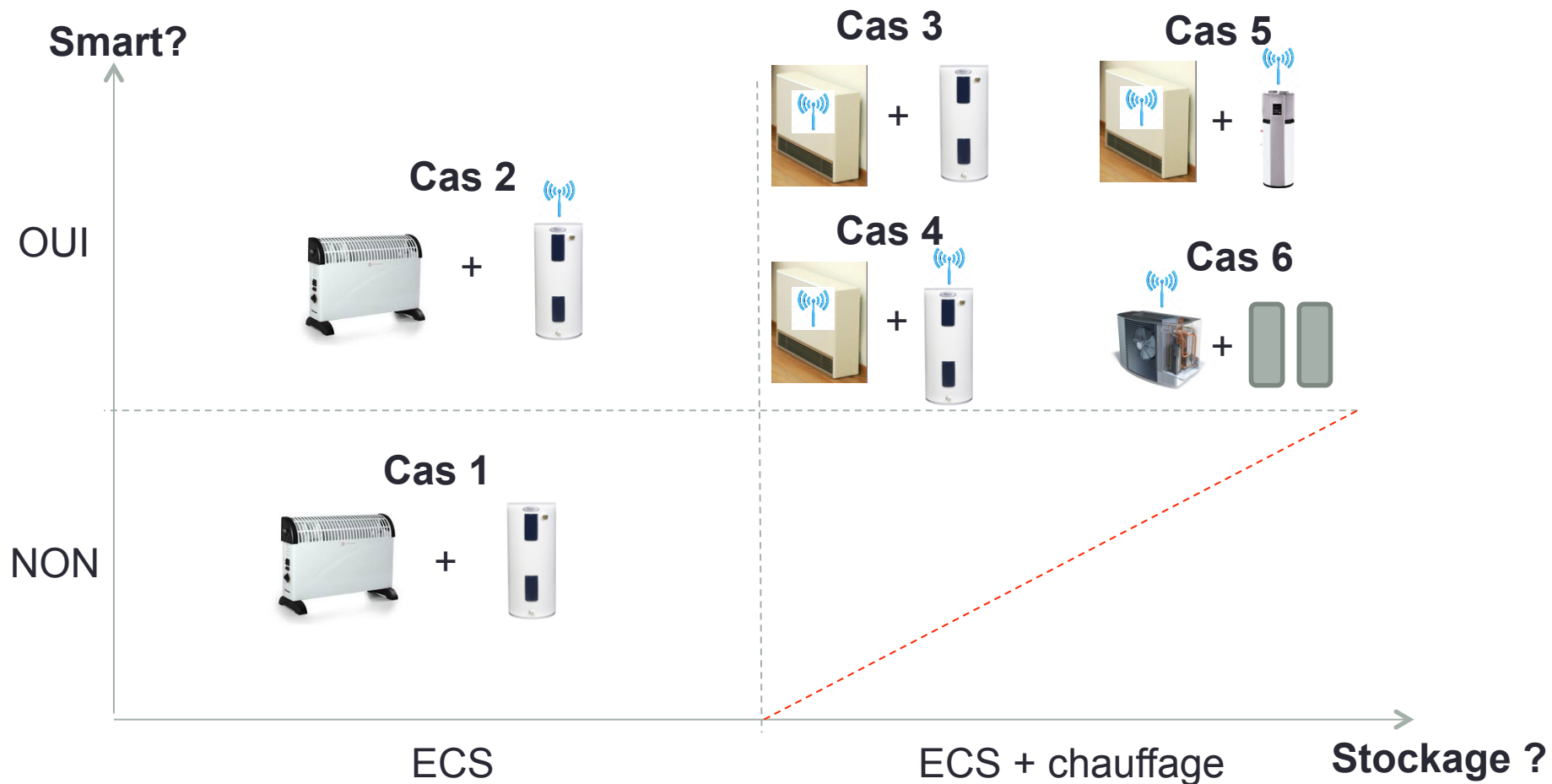
Chauffage		ECS	
Elec. direct 		Ballon électrique 	
Elec. avec stockage thermique 		Ballon électrique 	Ballon thermodynamique 
Pompe à chaleur + ballons de stockage 			

- « Smart »? 

- Effacement de pointe = évite de consommer pendant les **heures de pointe**
- Auto-consommation = consommation maximum durant la **période de production PV**

Cas d'étude & hypothèses

- Systemes étudiés:



Cas d'étude & hypothèses

- **Systemes étudiés - résumé**

Cas 1: Chauffage électrique direct + ballon ECS électrique

Cas 2: Chauffage électrique direct + ballon ECS électrique intelligent

Cas 3: Radiateur électrique avec stockage thermique+ ballon ECS électrique

Cas 4: Radiateur électrique avec stockage thermique + ballon ECS électrique intelligent

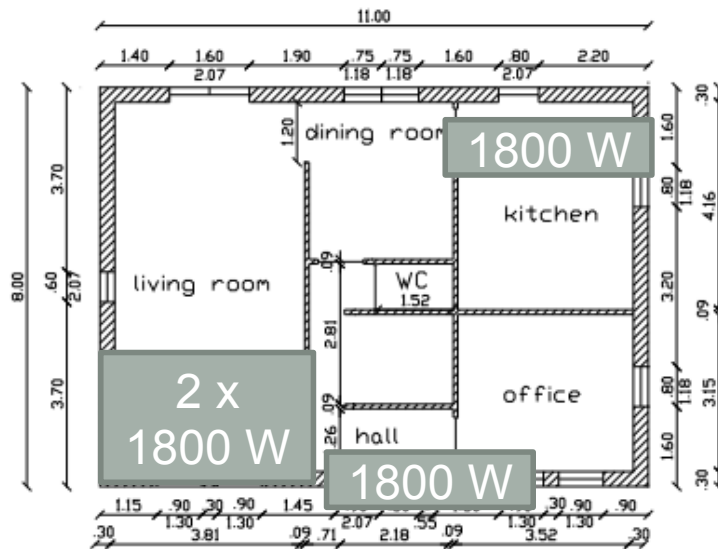
Cas 5: Radiateur électrique avec stockage thermique + ballon ECS thermodynamique intelligent

Cas 6: Pompe à chaleur => stockage chauffage et ECS

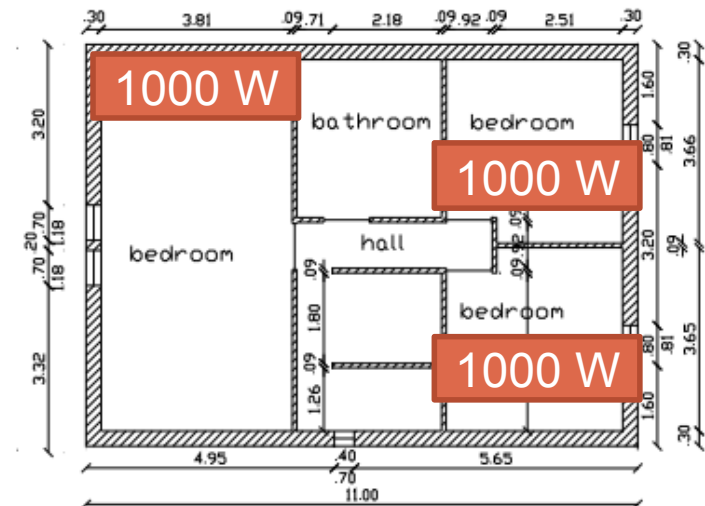
Cas d'étude & hypothèses

- Hypothèses de modélisation:
 - Pour les systèmes à accumulation – maison 4 façades:

GROUND FLOOR:



FIRST FLOOR:



Cas d'étude & hypothèses

- **Systemes étudiés – coûts d'investissements:**

Pour une maison 4 façades

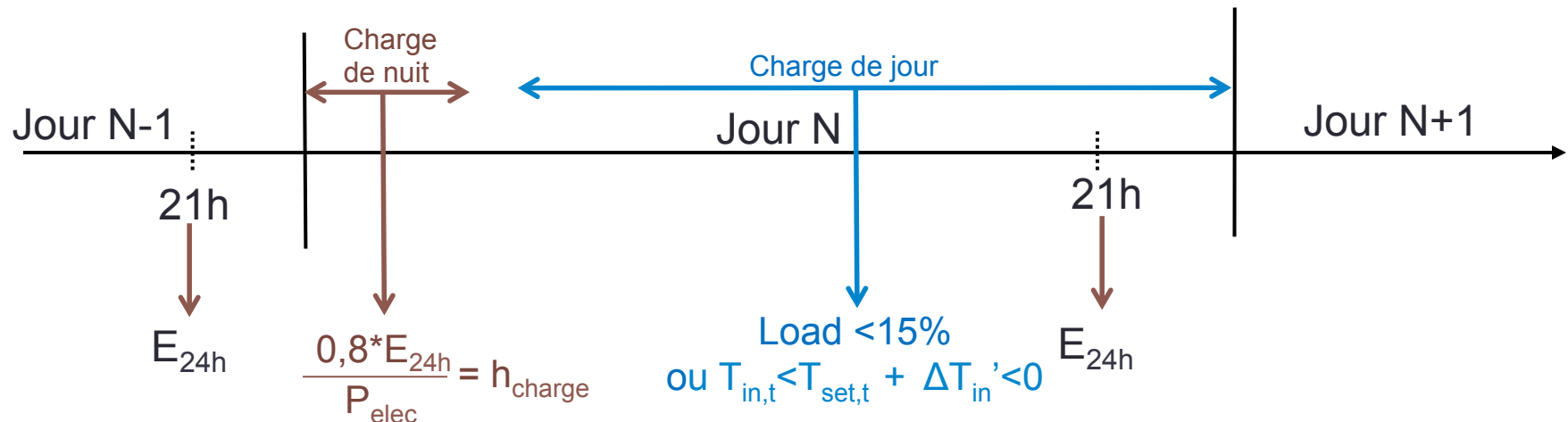
- avec installation comprise,
- prix indicatifs basés sur des devis « installateur » HTVA

Chauffage	ECS	
Elec. direct	Ballon électrique	
20-100 €/convecteur => max 700 €	1300 €	
Total:	2000 €	
Elec. avec stockage thermique	Ballon électrique	Ballon thermodynamique
6000 €	1300 €	2950 €
Total:	7300 €	8950 €
Pompe à chaleur + ballons de stockage + émetteurs radiatifs		
Total: 11200 €		

Cas d'étude & hypothèses

- Hypothèses de modélisation:

- Pour les systèmes à accumulation – principe de la régulation de base:
 - La consommation est prioritaire de nuit:

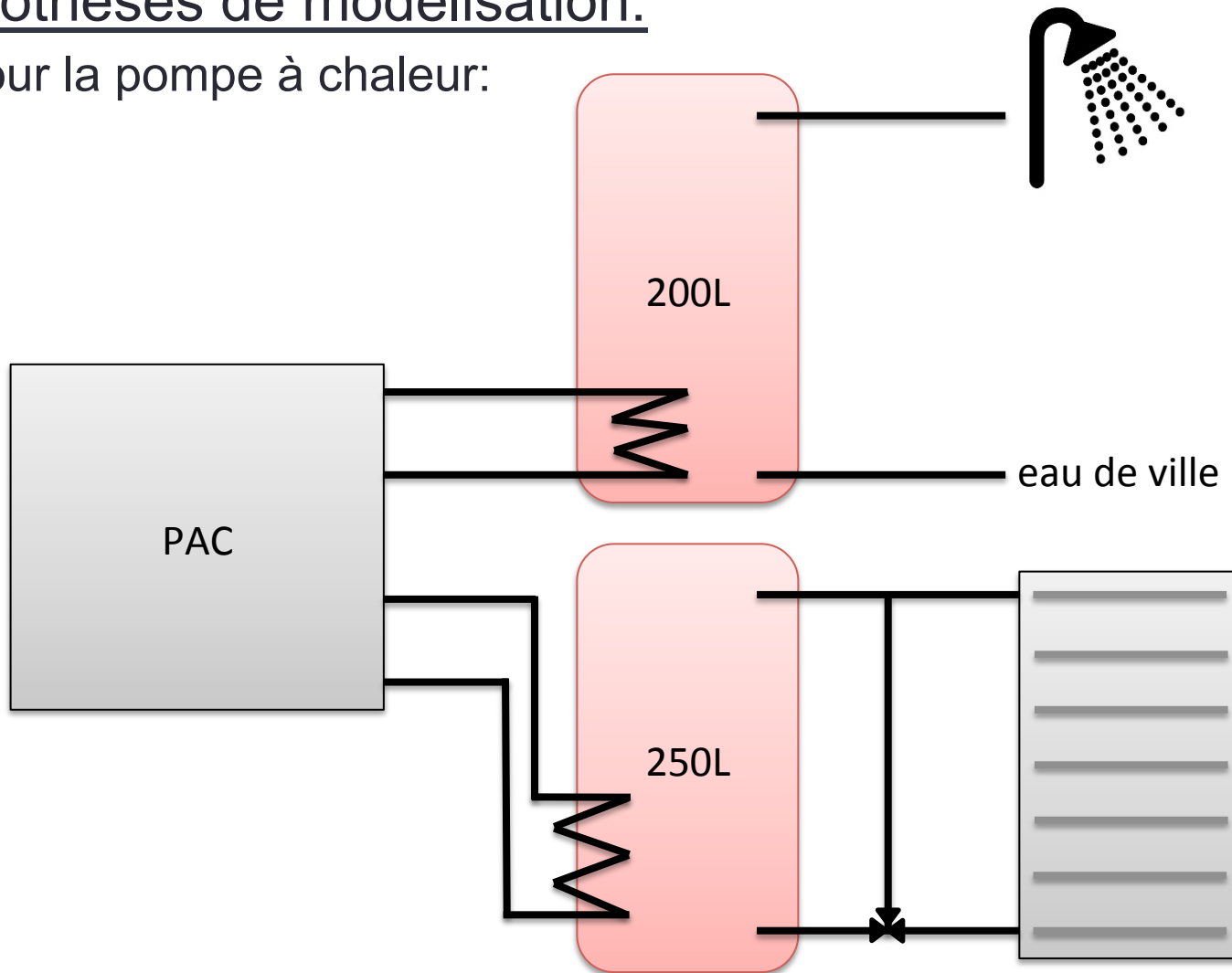


$$\text{Confort} \Rightarrow \text{RPM}_{fan} \Rightarrow \text{PID} \Rightarrow \Delta T_{in,t} = T_{in,t} - T_{set,t}$$

Cas d'étude & hypothèses

- Hypothèses de modélisation:

- Pour la pompe à chaleur:



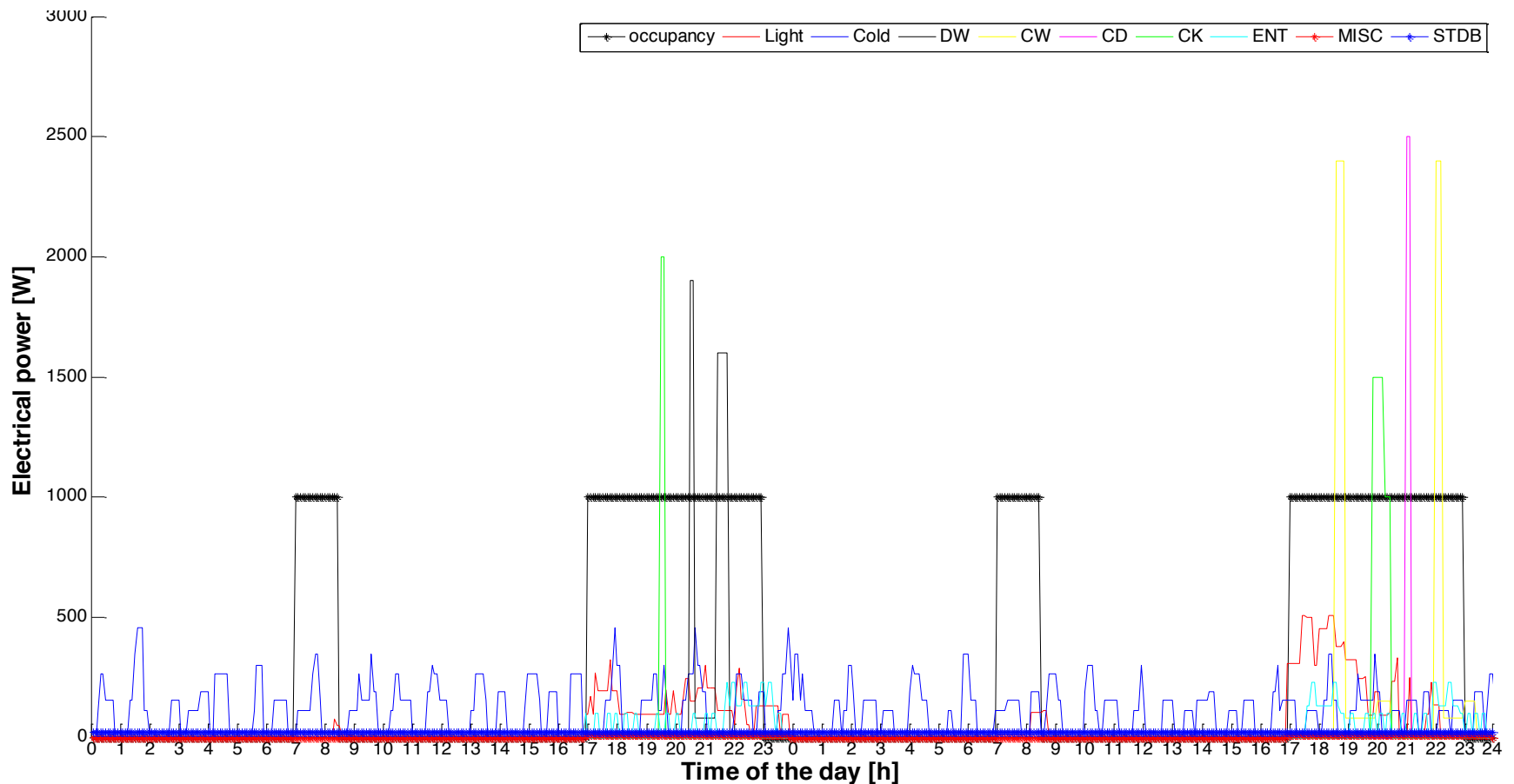
Cas d'étude & hypothèses

- Hypothèses de modélisation:
 - Climat: Bruxelles 2012
 - Profil d'occupation de type « intermittent »:
⇒ de 7h à 8h30 & de 17h à 23h
 - 1 seul ballon d'ECS de taille standard (200L)
 - Pas de temps décisionnel = 5 minutes
 - Les performances de la pompe à chaleur sont basées sur les courbes de performance constructeur

Cas d'étude & hypothèses

• Profils de consommation

- Appareils électroménagers et éclairage – occupation intermittente:



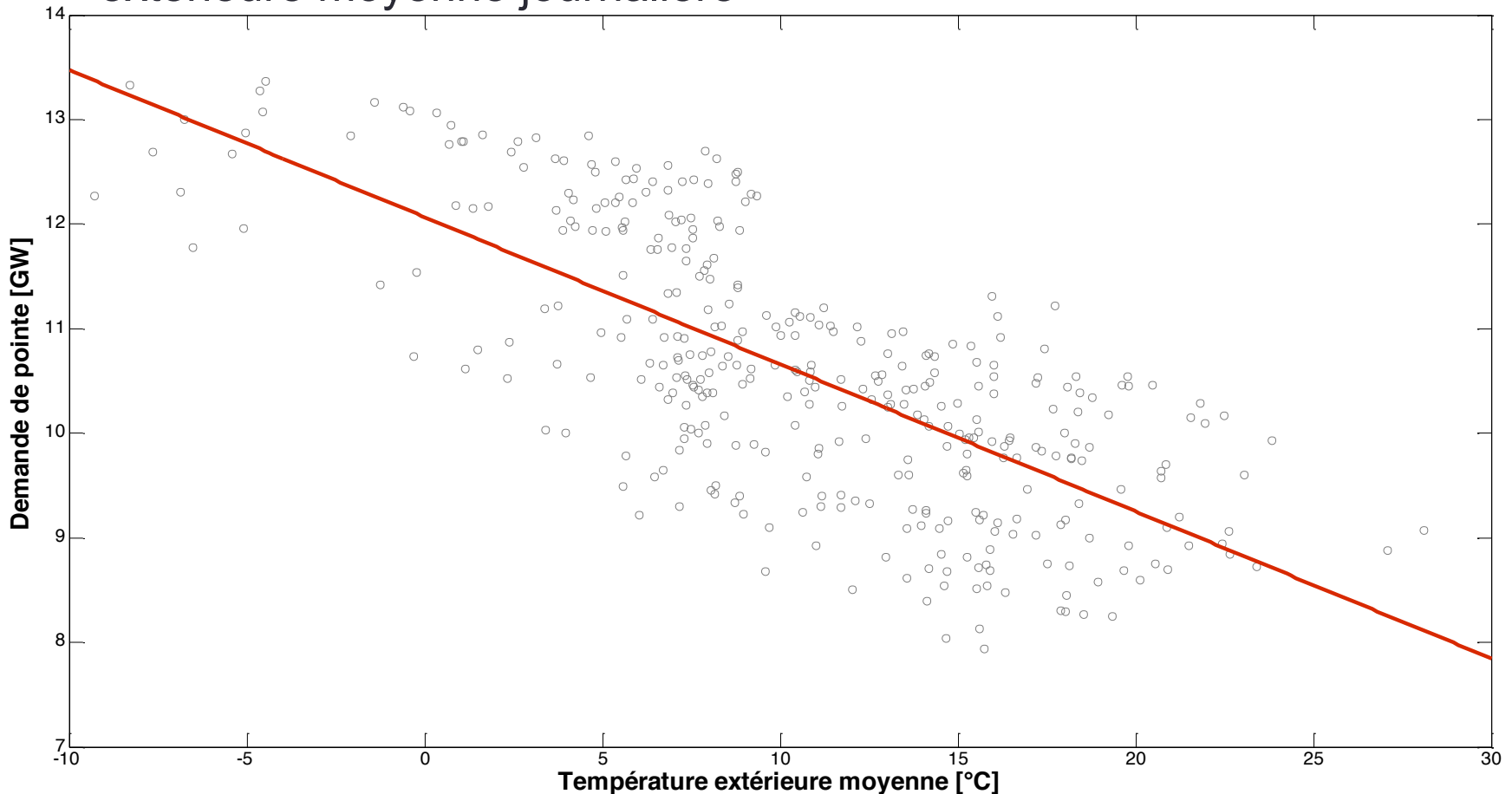
Contenu de la présentation

- Introduction
 - Contexte et objectifs
 - Technologie des chauffages électriques avec stockage thermique
- Cas d'étude & hypothèses
 - Choix des bâtiments étudiés
 - Choix des systèmes étudiés
- Evaluation du potentiel pour l'effacement de pointe
- Evaluation du potentiel pour l'auto-consommation
- Conclusions

Effacement de pointe

- Contexte:

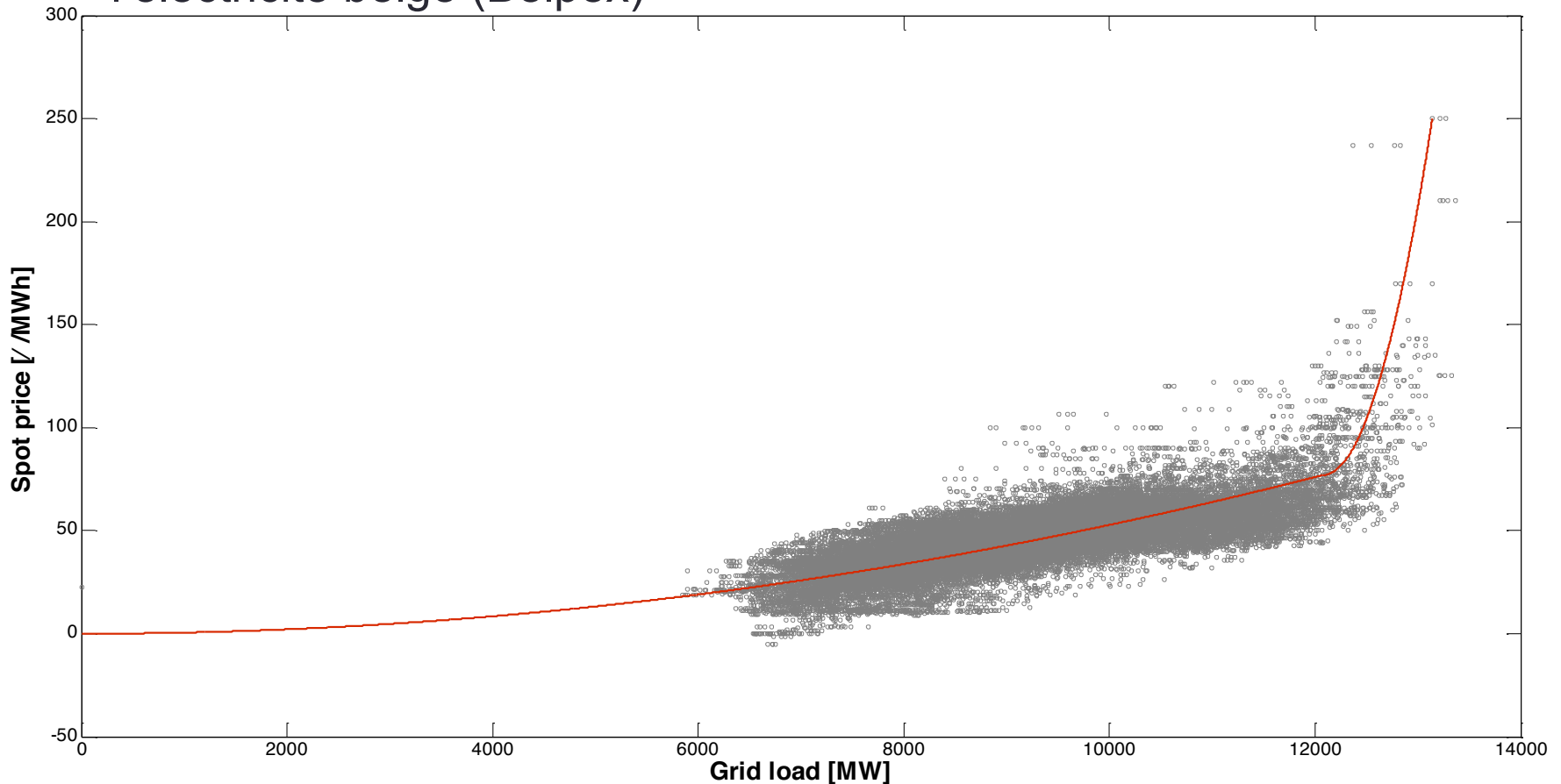
- Demande de pointe journalière en fonction de la température extérieure moyenne journalière



Effacement de pointe

- Contexte:

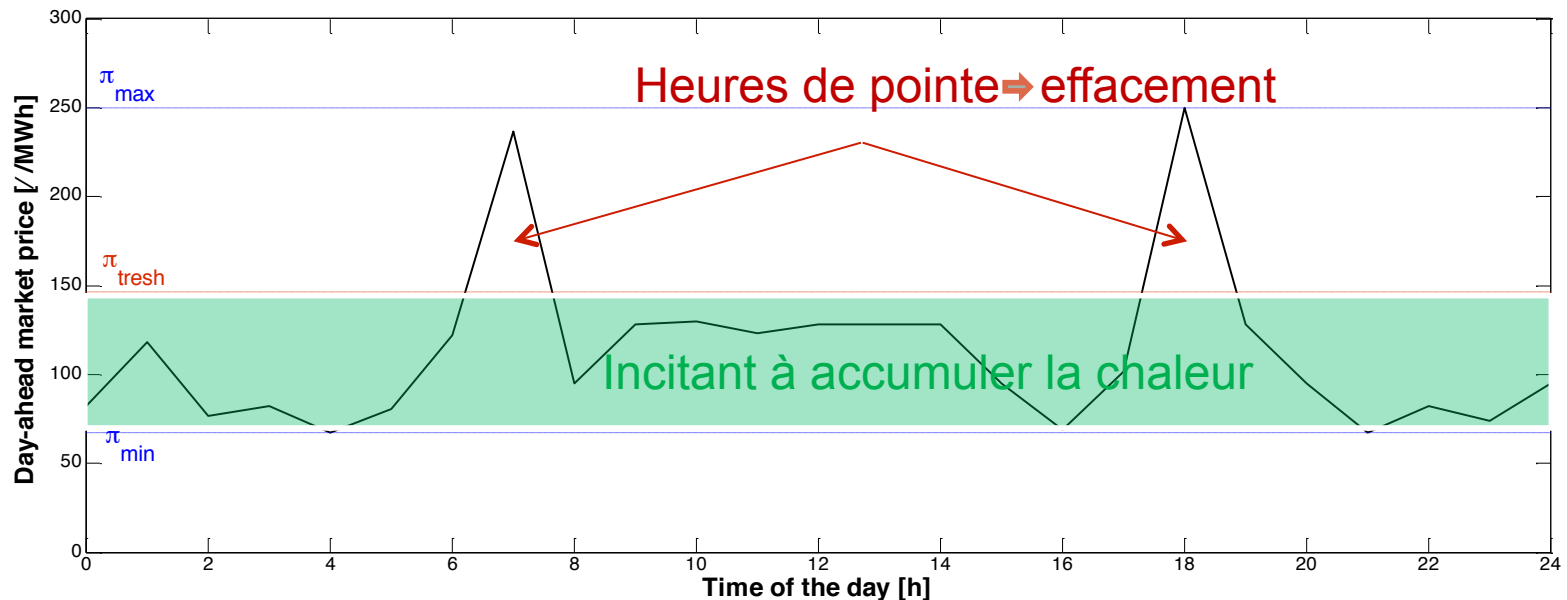
- La demande électrique est corrélée au prix du marché de l'électricité belge (Belpex)



Effacement de pointe

• Principe de la régulation:

- Le prix du marché est connu le jour avant (N-1). Pour effacer la pointe en N, on peut réguler le système comme suit:
 - On définit un « prix de transition » π_{thres}

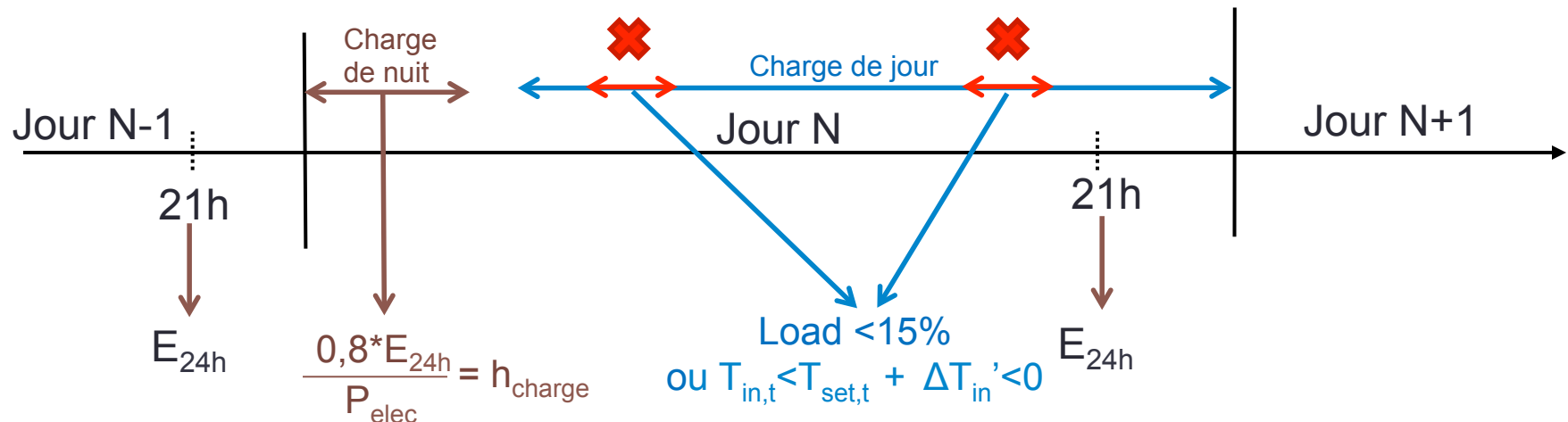


- ⇒ On accumule de la chaleur dans le radiateur lorsque le prix est inférieur au prix de transition π_{thres}

Cas d'étude & hypothèses

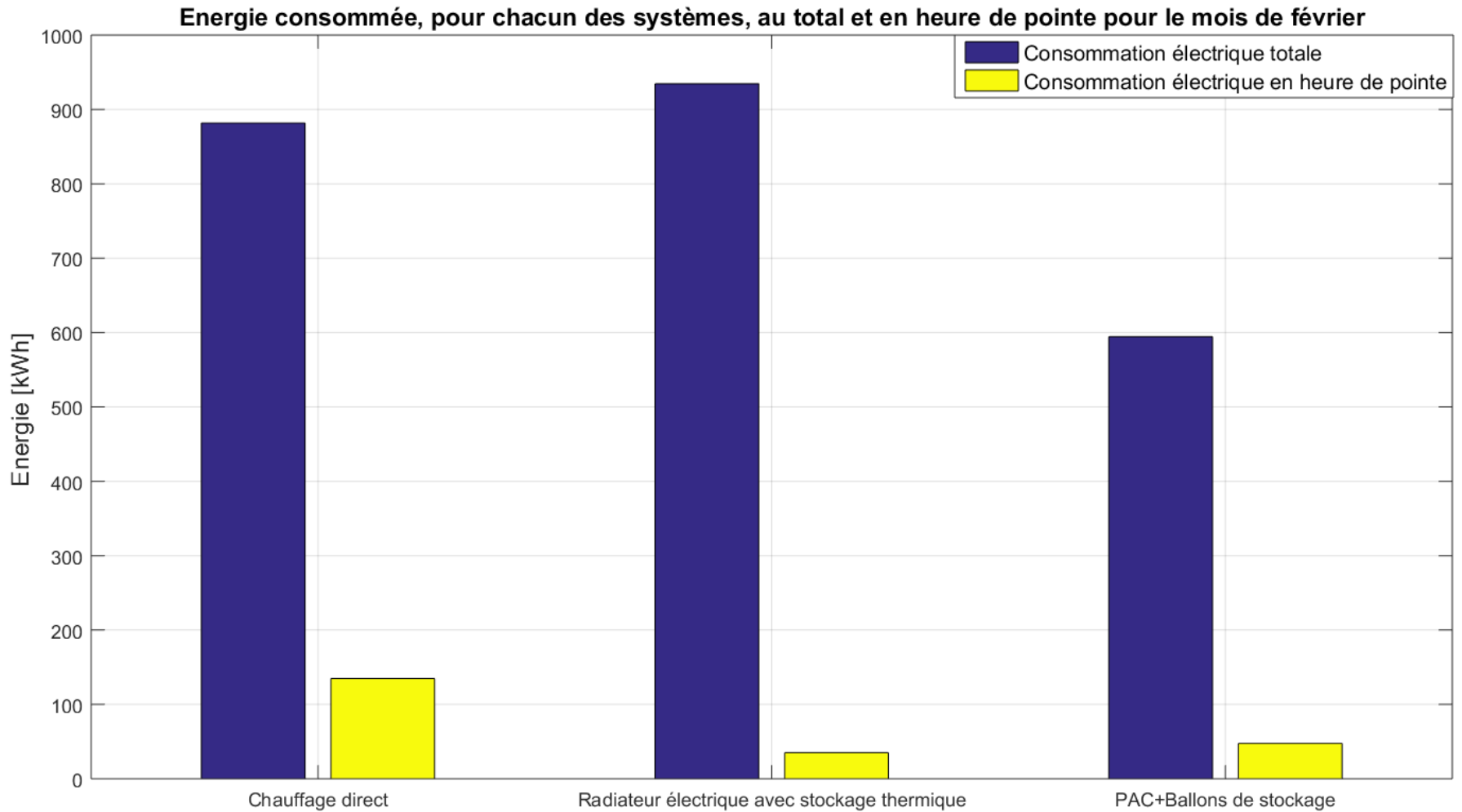
Hypothèses de modélisation:

- Pour les systèmes à accumulation – principe de la régulation de base:
 - La consommation est prioritaire de nuit:

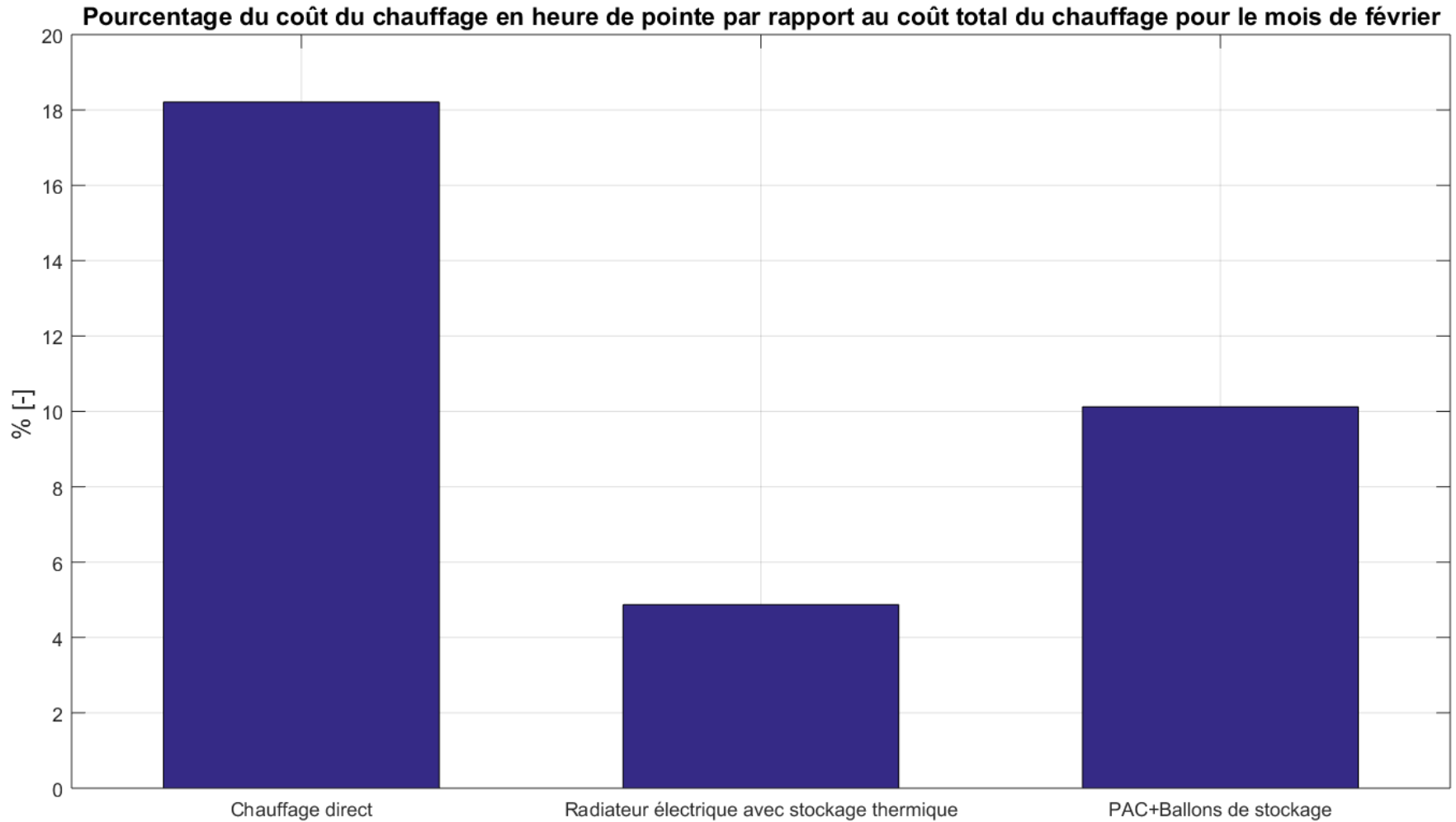


$$\text{Confort} \Rightarrow \text{RPM}_{fan} \Rightarrow \text{PID} \Rightarrow \Delta T_{in,t} = T_{in,t} - T_{set,t}$$

Effacement de pointe : Résultats



Effacement de pointe : Résultats



Contenu de la présentation

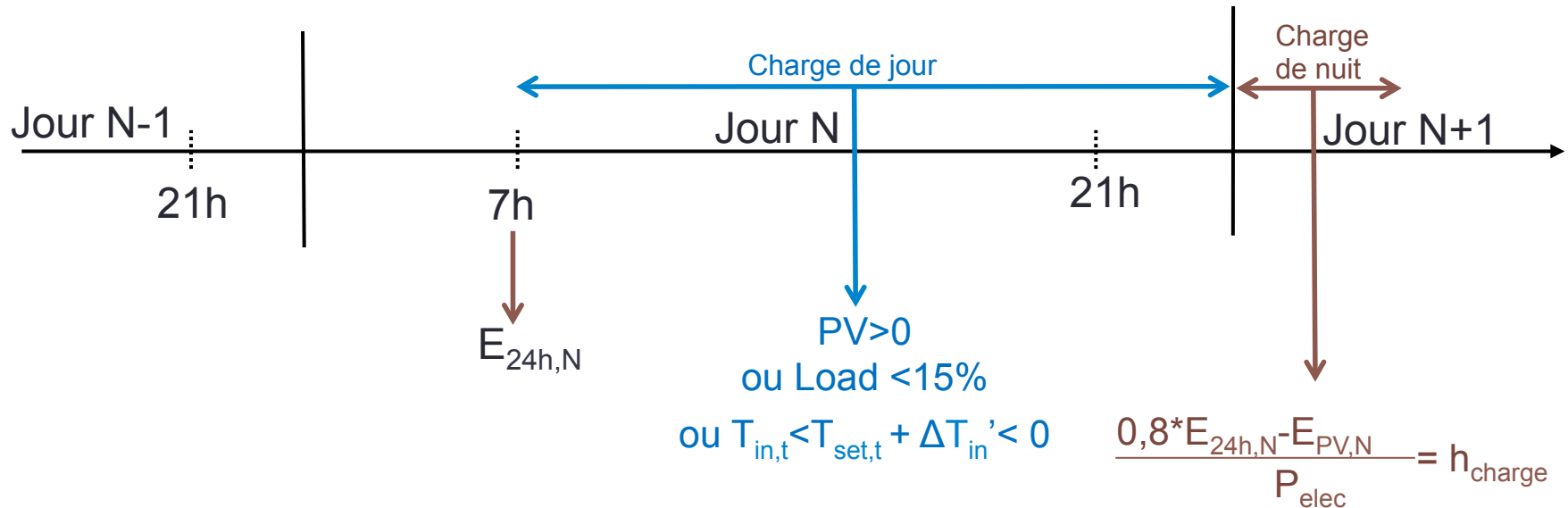
- Introduction
 - Contexte et objectifs
 - Technologie des chauffage électrique avec stockage thermique
- Cas d'étude & hypothèses
 - Choix des bâtiments étudiés
 - Choix des systèmes étudiés
- Evaluation du potentiel pour l'effacement de pointe
- Evaluation du potentiel pour l'auto-consommation
- Conclusions

Auto-consommation

- Hypothèses de modélisation:
 - Climat: Bruxelles 2012
 - Profil d'occupation de type « intermittent »:
⇒ de 7h à 8h30 & de 17h à 23h
 - Surface de PV = 100% de la surface du toit
 - La consommation des appareils électroménagers et de l'éclairage n'est pas modifiée pour favoriser l'auto-consommation
 - La priorité de charge est donnée au ballon d'eau chaude sanitaire (si ce dernier est « smart »)

Auto-consommation

- Principe de la régulation:
 - Avec auto-consommation:



Confort \Rightarrow RPM_{fan} \Rightarrow PID \Rightarrow $\Delta T_{in,t} = T_{in,t} - T_{set,t}$

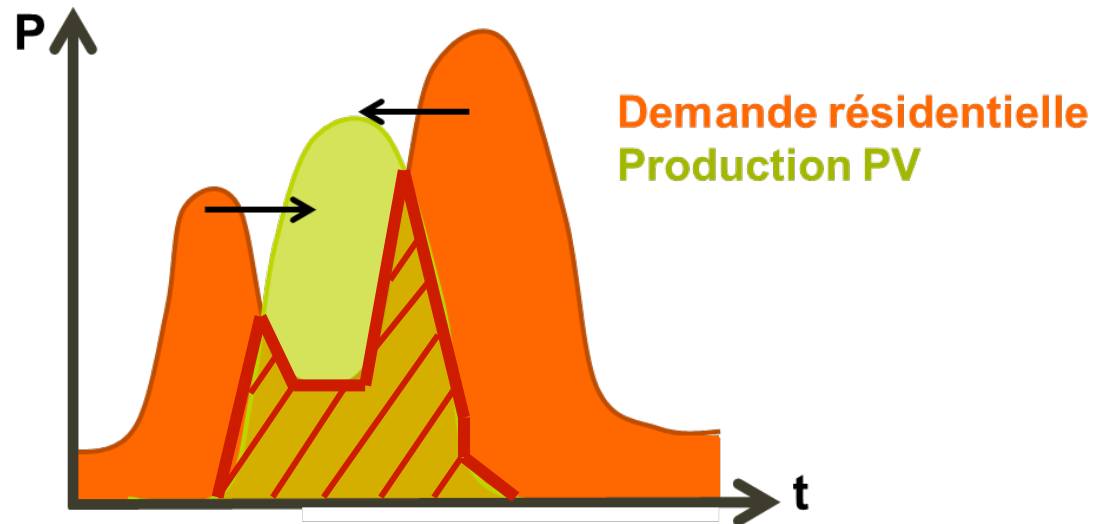
Auto-consommation

- Facteurs d'auto-consommation:

le facteur d'auto-consommation

=

La fraction d'énergie de la production d'électricité locale consommée
instantanément par le bâtiment

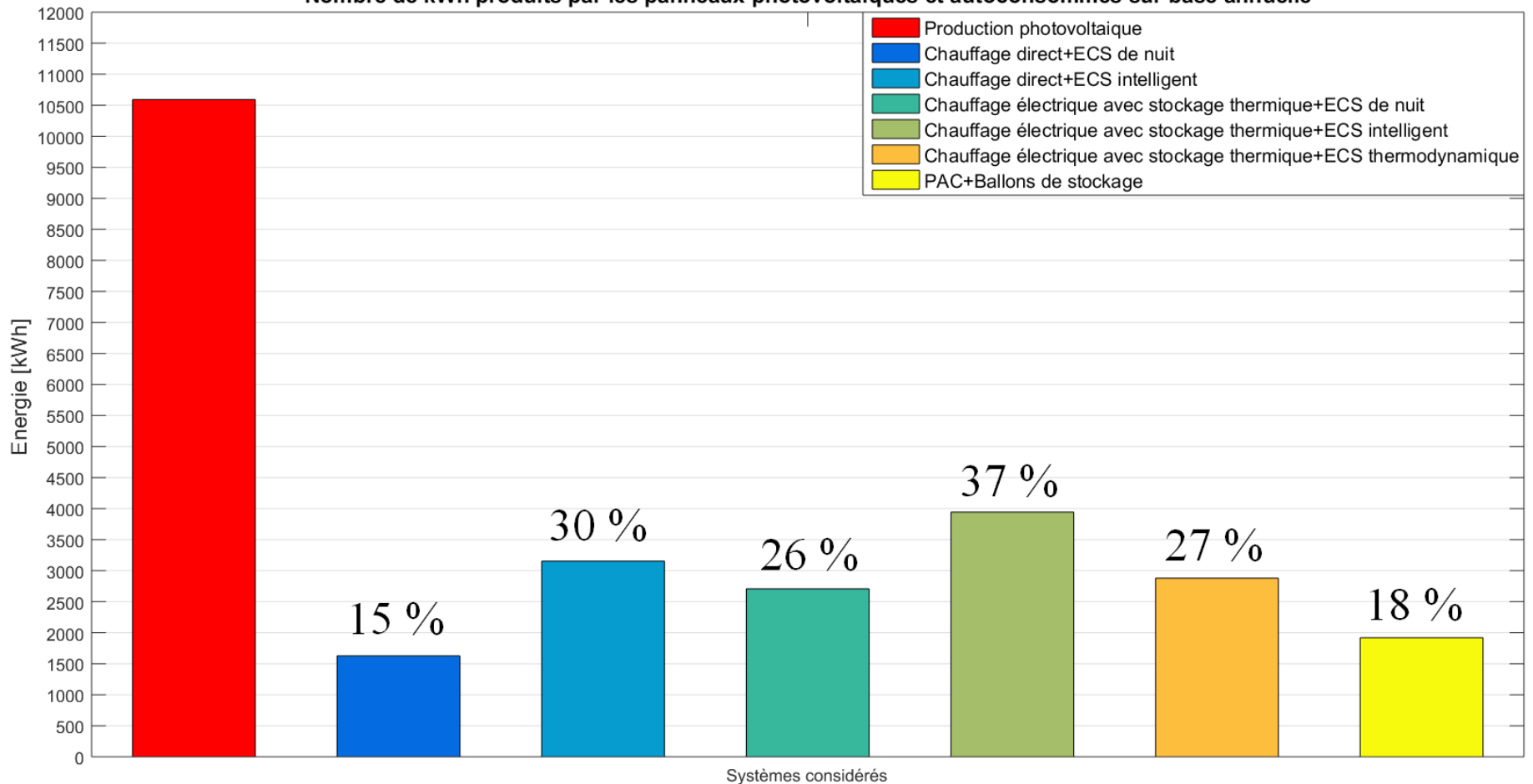


Auto-consommation

- Facteurs d'auto-consommation:
 - Quelques ordres de grandeur...
 - Sur **base annuelle**, le facteur d'auto-consommation pour une installation photovoltaïque couvrant la demande électrique annuelle pour **l'éclairage et les appareils électroménagers:**
 - **Occupation intermittente: 24%**
 - **Occupation continue: 31%**
- ⇒ **Le reste est réinjecté sur le réseau!**

Auto-consommation : Résultats

Nombre de kWh produits par les panneaux photovoltaïques et autoconsommés sur base annuelle



Production totale des panneaux photovoltaïques: 10592 kWh/an

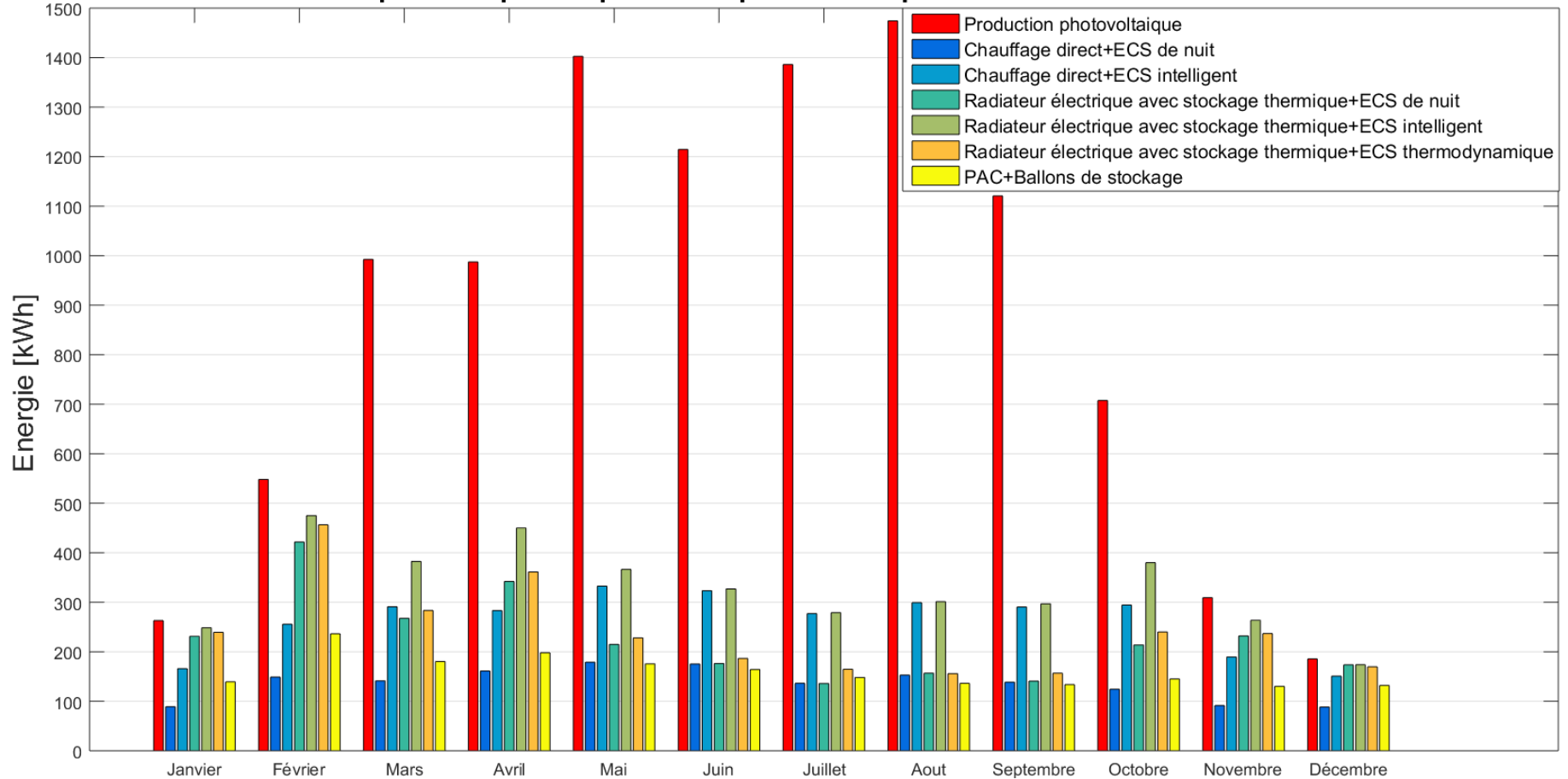
Consommation des électroménagers: 2213 kWh

Demande d'eau chaude sanitaire: 3120 kWh

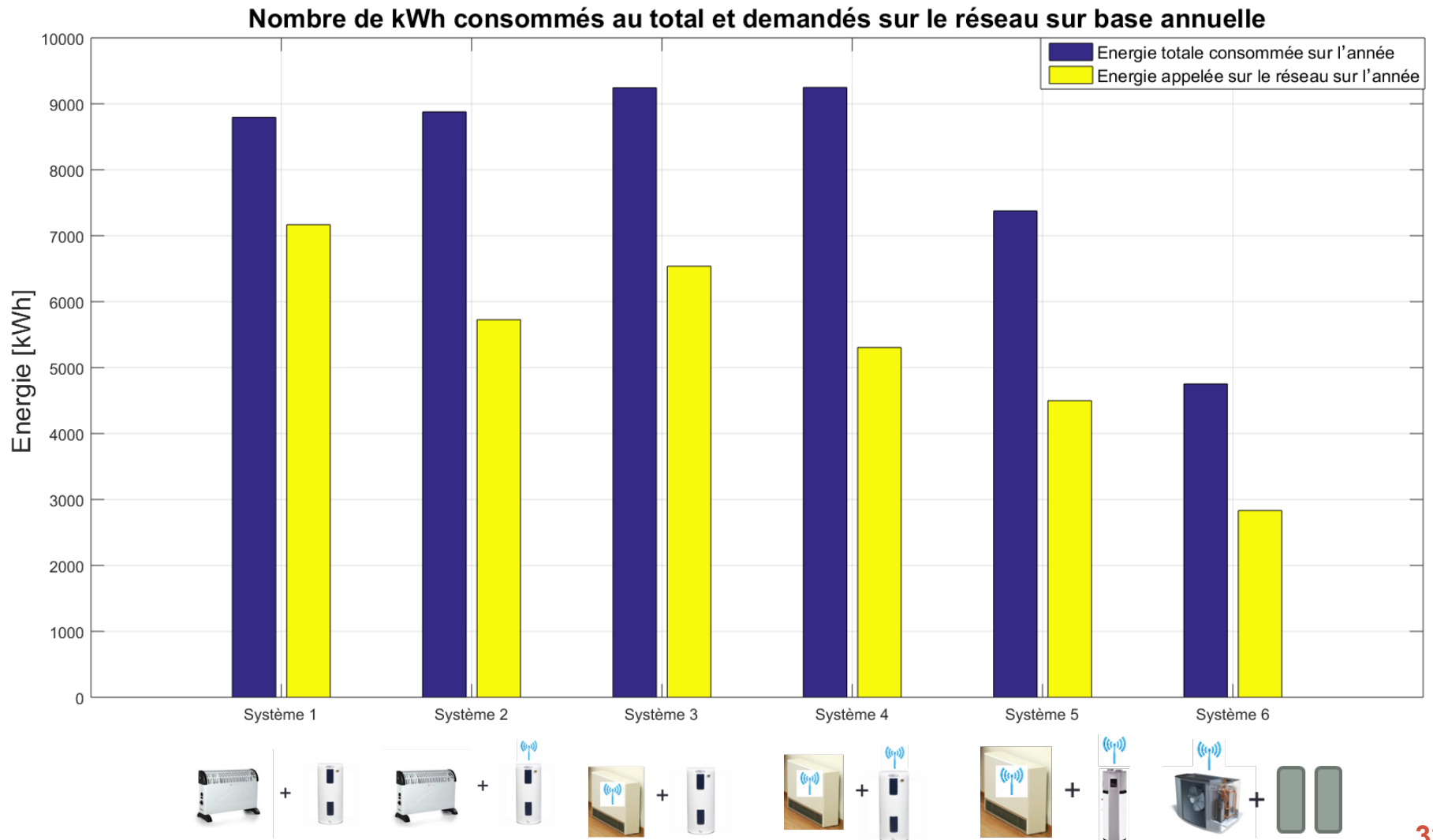
Demande de chauffage: 3541 kWh

Auto-consommation : Résultats

Nombre de kWh produits par les panneaux photovoltaïques et autoconsommés sur base mensuelle



Auto-consommation : Résultats



Contenu de la présentation

- Introduction
 - Contexte et objectifs
 - Technologie des chauffage électrique avec stockage thermique
- Cas d'étude & hypothèses
 - Choix des bâtiments étudiés
 - Choix des systèmes étudiés
- Evaluation du potentiel pour l'effacement de pointe
- Evaluation du potentiel pour l'auto-consommation
- Conclusions

Conclusions

✧ Déplacement de charge:

- Chauffage électrique + stockage thermique (tout comme PAC + ballon de stockage) permet une réduction significative de la puissance demandée pendant les heures de pointe.
- Le prix à payer est une légère sur-consommation d'énergie.
- Actuellement: aucun incitant pour le déplacement de charge. Pourtant, la situation pourrait devenir critique si le parc de bâtiments continue son électrification!
- Meilleur déplacement de charge dans le cas du chauffage électrique + stockage thermique, car la capacité du ballon couplé à la PAC est trop faible.
- Une augmentation de la taille du ballon favorise le déplacement mais augmente également la consommation totale. La taille du ballon résulte d'une optimisation économique.

Conclusions

✧ Autoconsommation:

- Avec une régulation intelligente, le chauffage électrique + stockage permet de gagner 20 points en terme de facteur d'autoconsommation.
- Plus faible taux d'autoconsommation pour la pompe à chaleur (car sa consommation électrique est moindre!).
- Chauffage électrique + stockage permet d'atteindre une autoconsommation proche de 100 % pour les mois d'hiver.
- Quel que soit le système, faible taux d'autoconsommation en été.
- Chauffage électrique: utilisation stockage permet de réduire l'énergie totale appelée sur le réseau. On voit cependant que de ce point de vue la pompe à chaleur est plus performante.

Conclusions

- ECS couvre une part importante de l'auto-consommation
- Chauffage électrique + stockage thermique serait plus efficace en terme de réduction de la demande appelée sur le réseau dans le cas de bâtiments avec une faible demande d'eau chaude sanitaire et une forte demande de chauffage (petits bâtiments tertiaires).

Merci pour votre attention!

Dank u wel voor uw aandacht!

vincent.lemort@ulg.ac.be