

5^{ème} éditions des JD-JN-MACS,
Strasbourg, 11-12 juillet 2013

Gestion multicritère des ressources énergétiques à l'échelle d'un habitat individuel : interaction bâtiment / réseau électrique

¹ PROMES-CNRS, Perpignan

² Université de Perpignan Via Domitia, Perpignan



Aurélie Chabaud^{1,2}

Julien Eynard^{1,2}

Stéphane Grieu^{1,2}

Plan

- 1 Contexte et objectifs**
- 2 Stratégie de gestion énergétique**
 - Critères
 - Présentation de la stratégie
- 3 Modélisation**
 - Modélisation de charge sous TRNSYS
 - Modélisation des systèmes de production et de stockage
- 4 Dimensionnement des systèmes de production et de stockage et impact réseau**
- 5 Bilan et perspectives**

Contexte de l'étude

- Préoccupations environnementales grandissantes
- Production décentralisée en plein essor
- Intermittence des sources énergétiques renouvelables
- Intégration au sein des habitats individuels

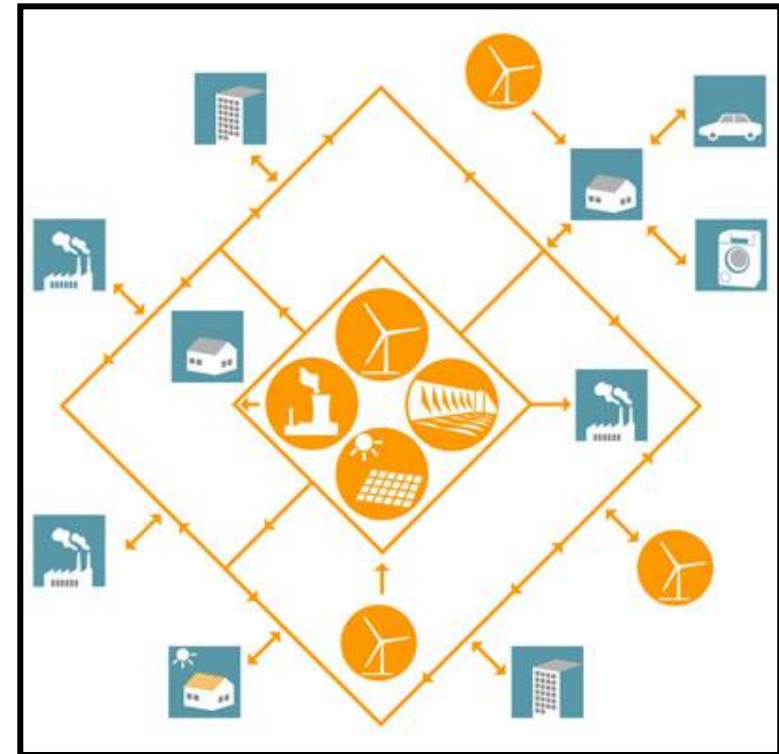
Contexte de l'étude

Problématique :

- Impact sur le fonctionnement du réseau électrique d'une injection massive de production décentralisée
- Nécessaire évolution du réseau électrique vers plus de flexibilité et de sécurité

Solution :

- Développer des systèmes de gestion intelligents capables de minimiser les impacts induits par l'injection de production décentralisée



Objectifs

Développer une approche globale et multicritère de gestion énergétique à l'échelle d'un habitat individuel multi-énergie (intégrant des systèmes de production et de stockage)

- Optimiser la consommation locale d'énergie
- Minimiser l'impact de la production locale sur le réseau
 - Mieux répondre aux pics de consommation
 - Économiser de l'énergie et donc optimiser sa facture
 - Ajuster l'offre et la demande

Critères énergétiques

- Utilisation de l'énergie renouvelable: $J_{EnR} = \frac{\%_{EnR_c} \times \%_{ac}}{100}$
- Autoconsommation: $\%_{ac} = 100 \times \frac{EnR_c}{EnR_p}$
- Taux de couverture EnR: $\%_{EnR_c} = 100 \times \frac{EnR_c}{EnR_c + E_{EDF}}$

$\%_{ac}$: Pourcentage d'énergie renouvelable consommée par rapport à l'énergie totale consommée (%)

$\%_{EnR_c}$: Pourcentage d'énergie consommée d'origine renouvelable (%)

J_{EnR} : Critère global (%)

E_{EDF} : Energie soutirée au réseau électrique (kWh)

EnR_c : Energie renouvelable consommée (kWh)

EnR_p : Energie renouvelable produite (kWh)

Critère de coût économique

$$J_{coût} = \sum_t [E_{inj}(t) \times P_{En}(t) - E_{EDF}(t) \times P_{En}(t)]$$

$J_{coût}$: Critère du coût économique (€)

E_{EDF} : Energie soutirée au réseau (kWh)

E_{inj} : Energie injectée au réseau (kWh)

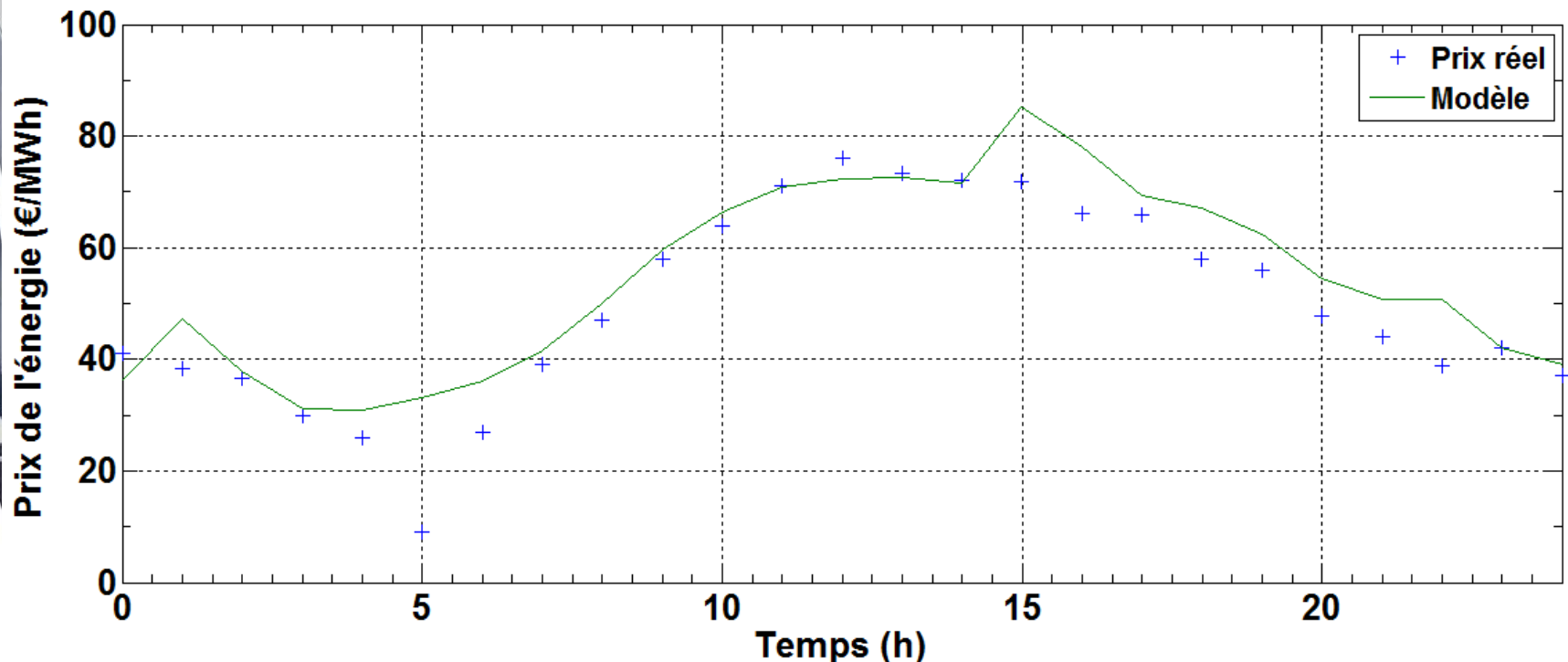
P_{En} : Prix de l'électricité (€.kWh⁻¹)

Tarification dynamique

$$P_{En}(t) = \sum_{i,j} a_{ij} \times Ch_{rés}^i(t) \times T_{ext}^j(t)$$

Erreur quadratique moyenne: 16,78

P_{En} : Prix de l'énergie (€.MWh⁻¹)
 $Ch_{rés}$: Charge sur le réseau (MWh)
 T_{ext} : Température extérieure (°C)
 a : Coefficient du modèle polynomial

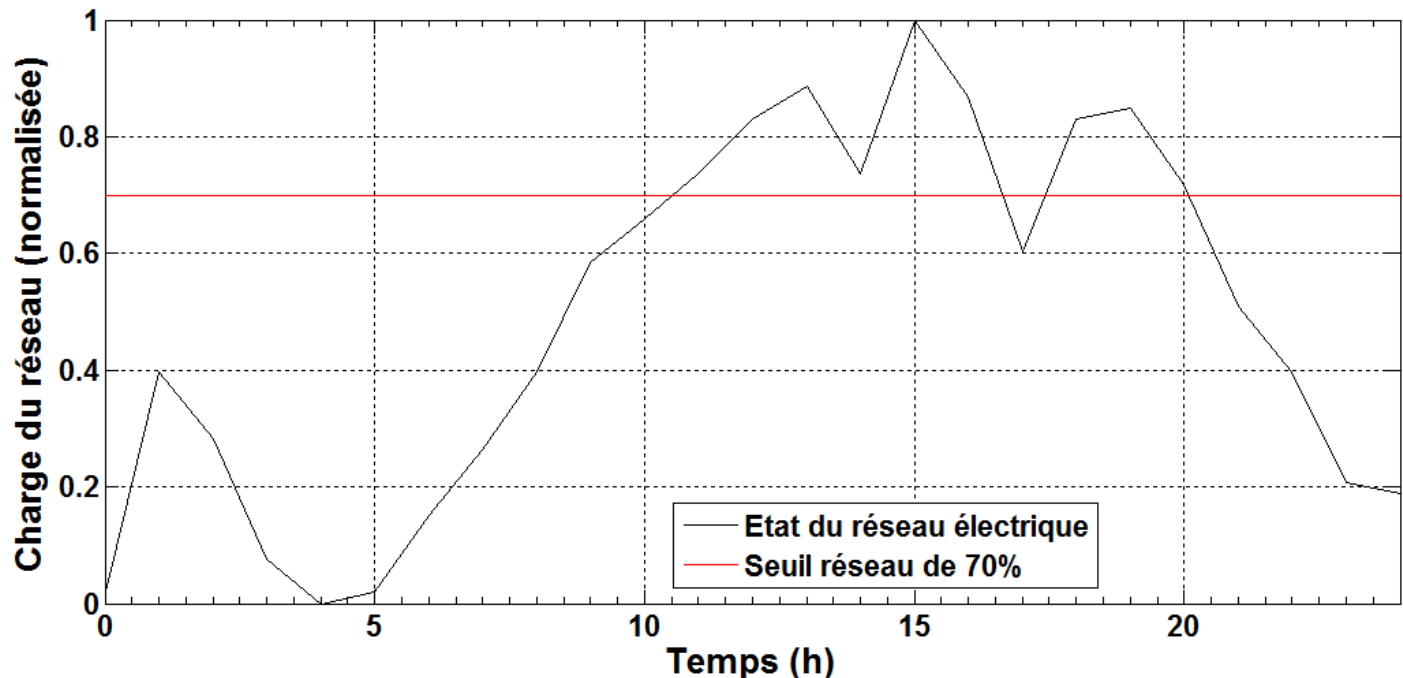


Impacts sur le réseau

- Impact en injection: $I_{inj} = \frac{1}{1000} \times \sum_t [E_{inj}(t) \times \Delta E_{seuil}(t)]$

E_{inj} : Energie injectée au réseau (kWh)

ΔE_{seuil} : Ecart normalisé entre le seuil et l'état du réseau



Impacts sur le réseau

- Impact en soutirage: $I_{sout} = -\frac{1}{1000} \times \sum_t [E_{EDF}(t) \times \Delta E_{seuil}(t)]$
- Impact global: $I_g = I_{inj} + I_{sout}$

E_{EDF} : Energie soutirée au réseau (kWh)

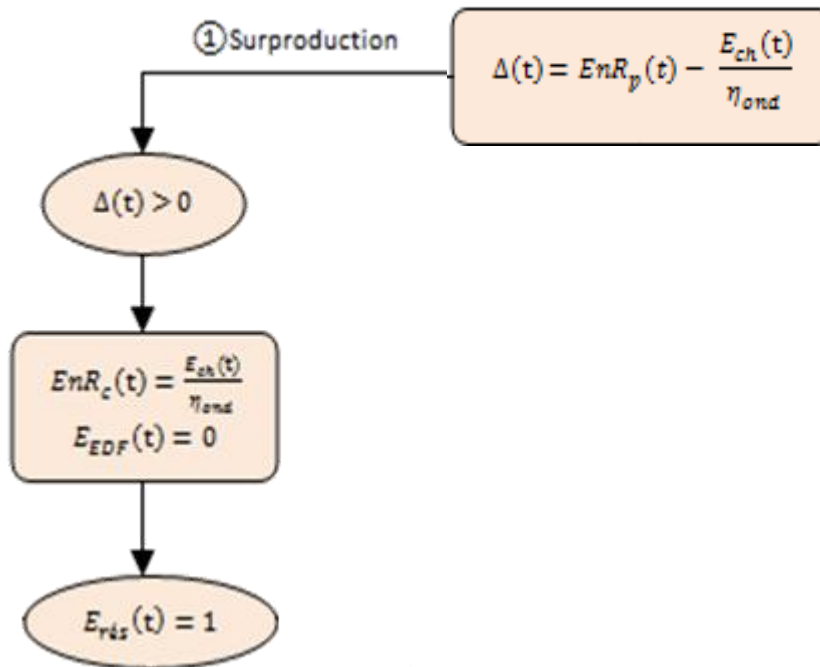
ΔE_{seuil} : Ecart normalisé entre le seuil et l'état du réseau

$$\Delta(t) = EnR_p(t) - \frac{E_{ch}(t)}{\eta_{ond}}$$

Stockage de l'énergie

Injection au réseau

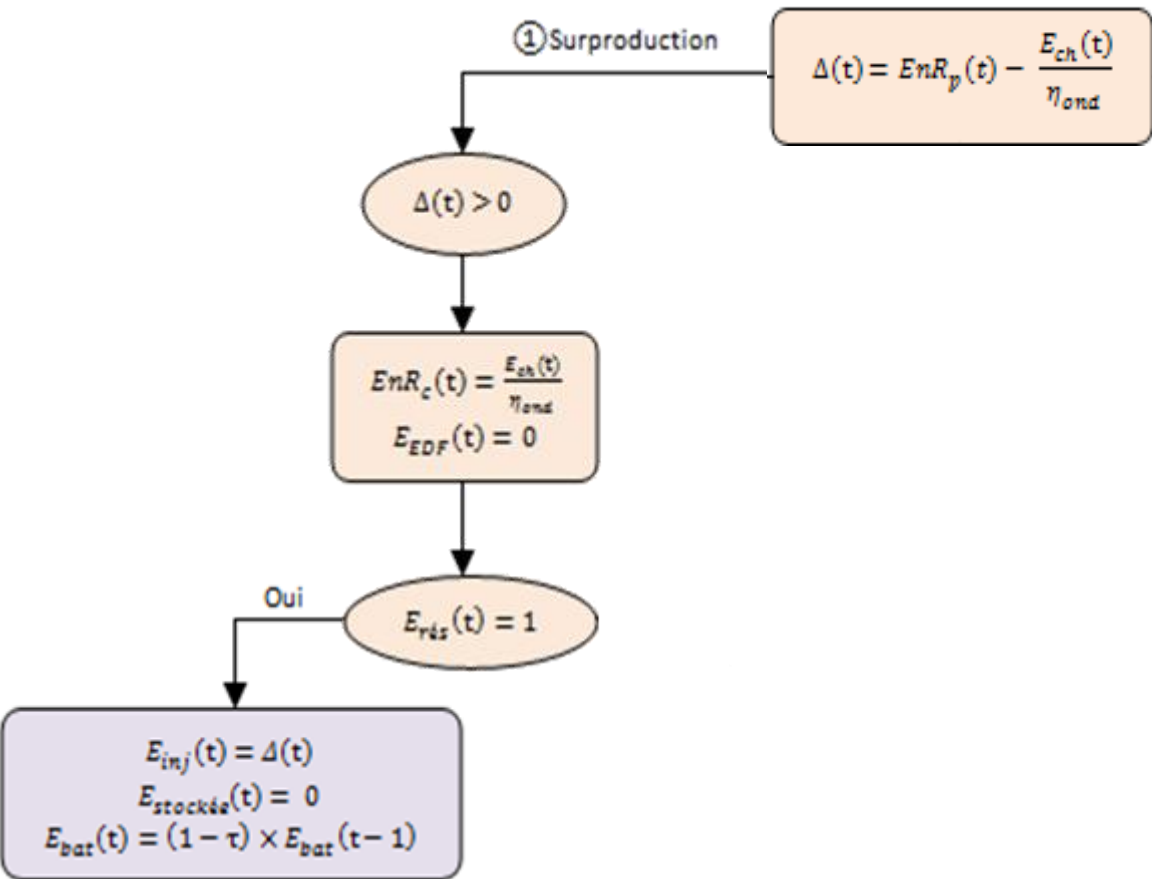
Déstockage de l'énergie



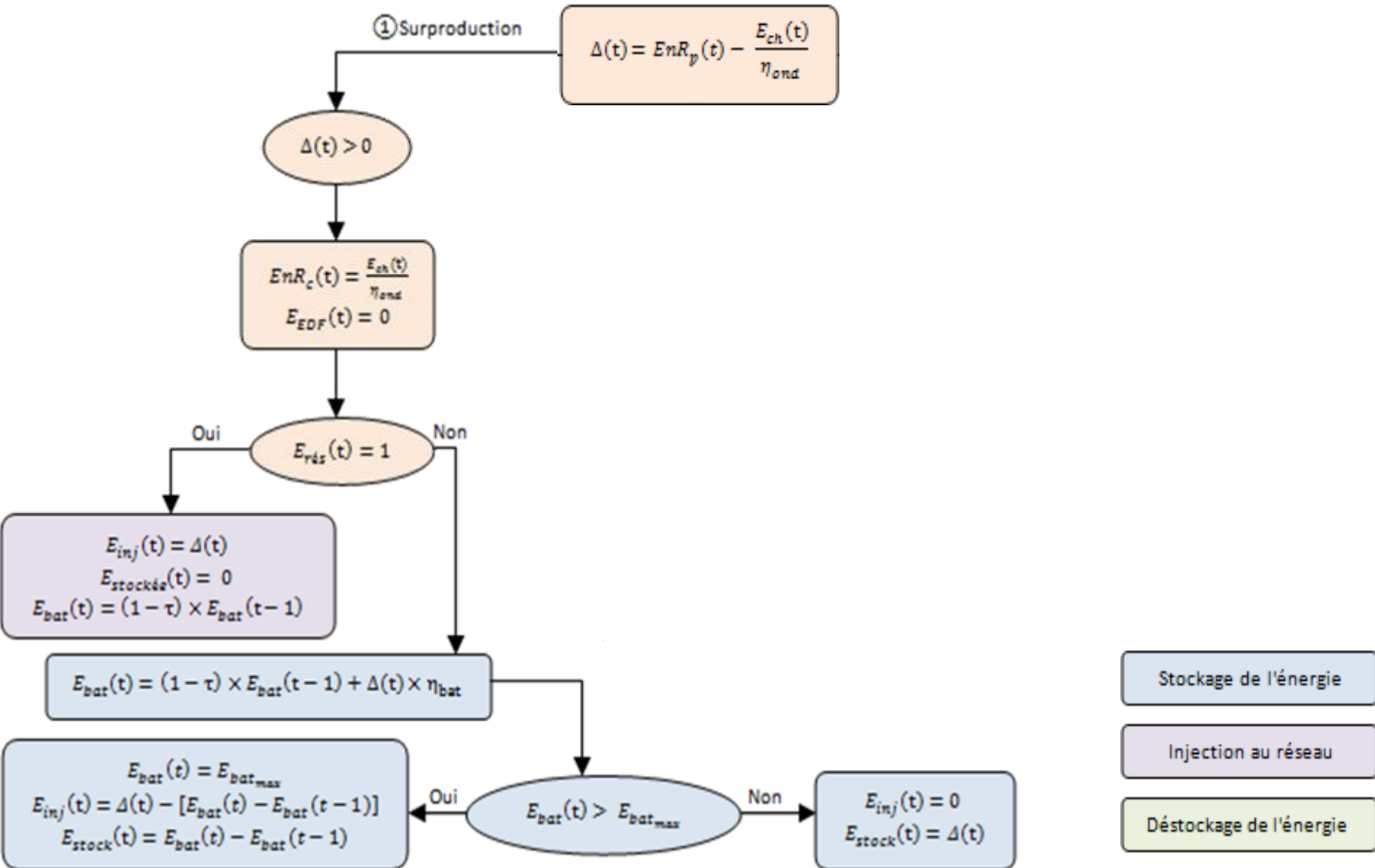
Stockage de l'énergie

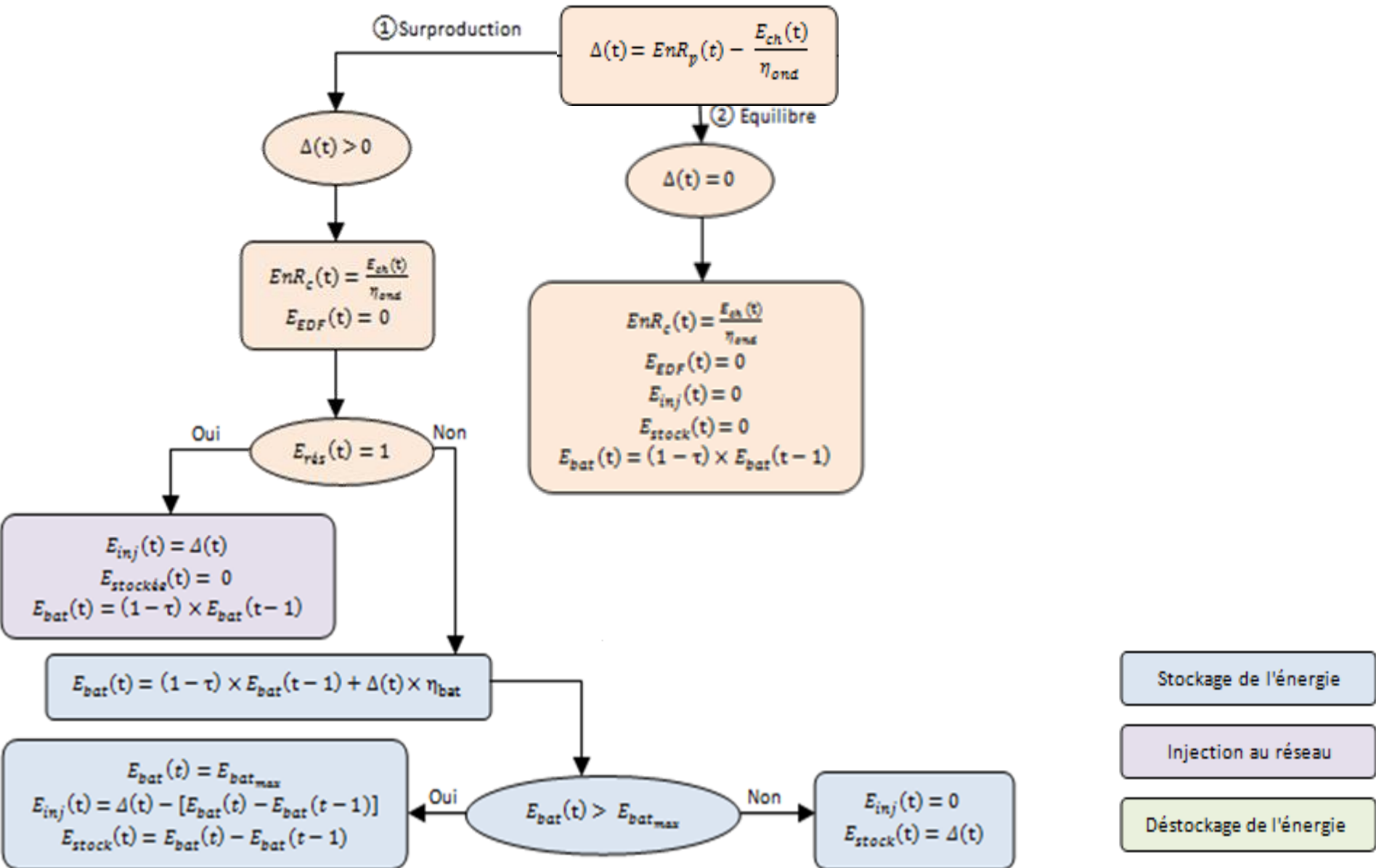
Injection au réseau

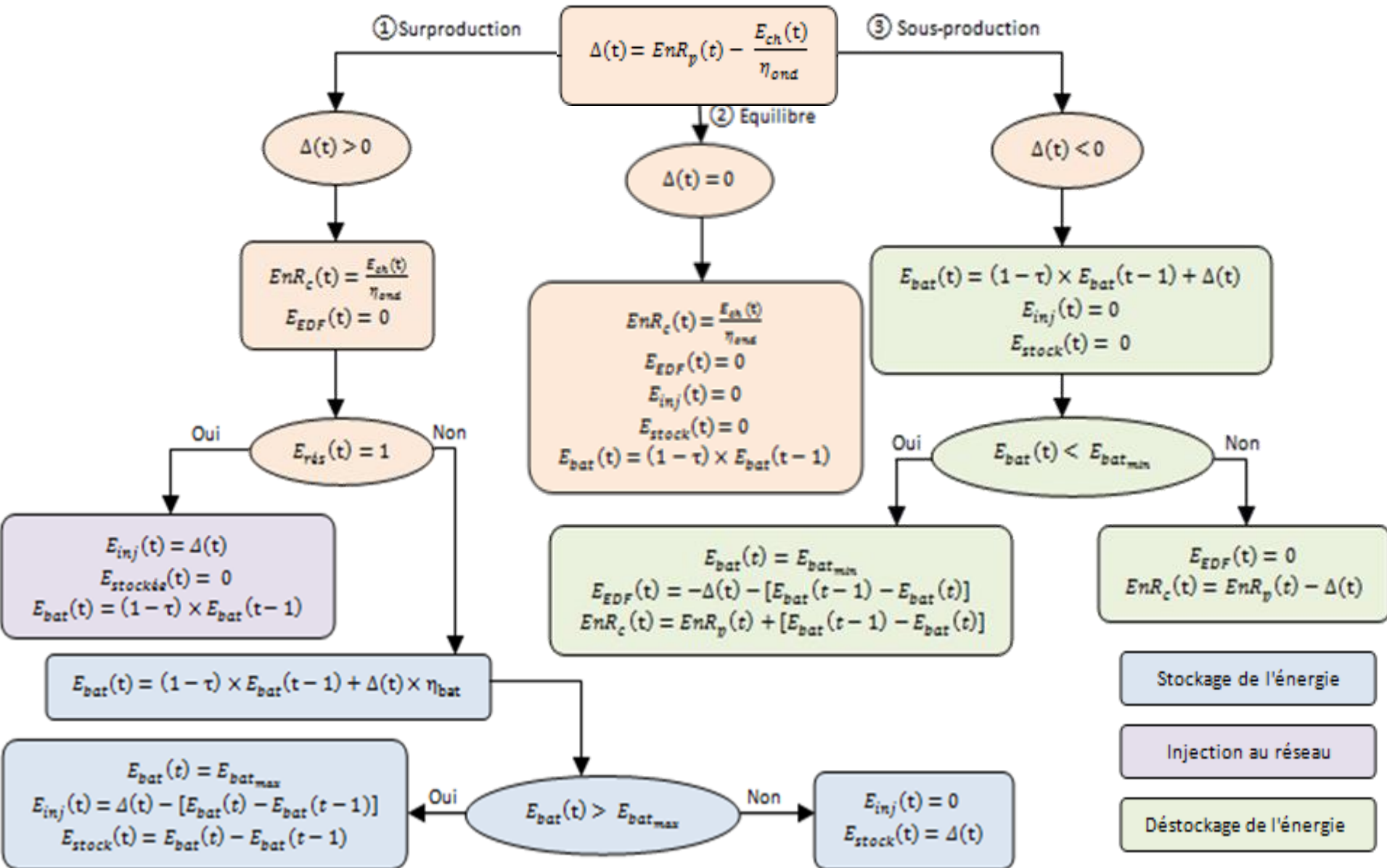
Déstockage de l'énergie



- Stockage de l'énergie
- Injection au réseau
- Déstockage de l'énergie

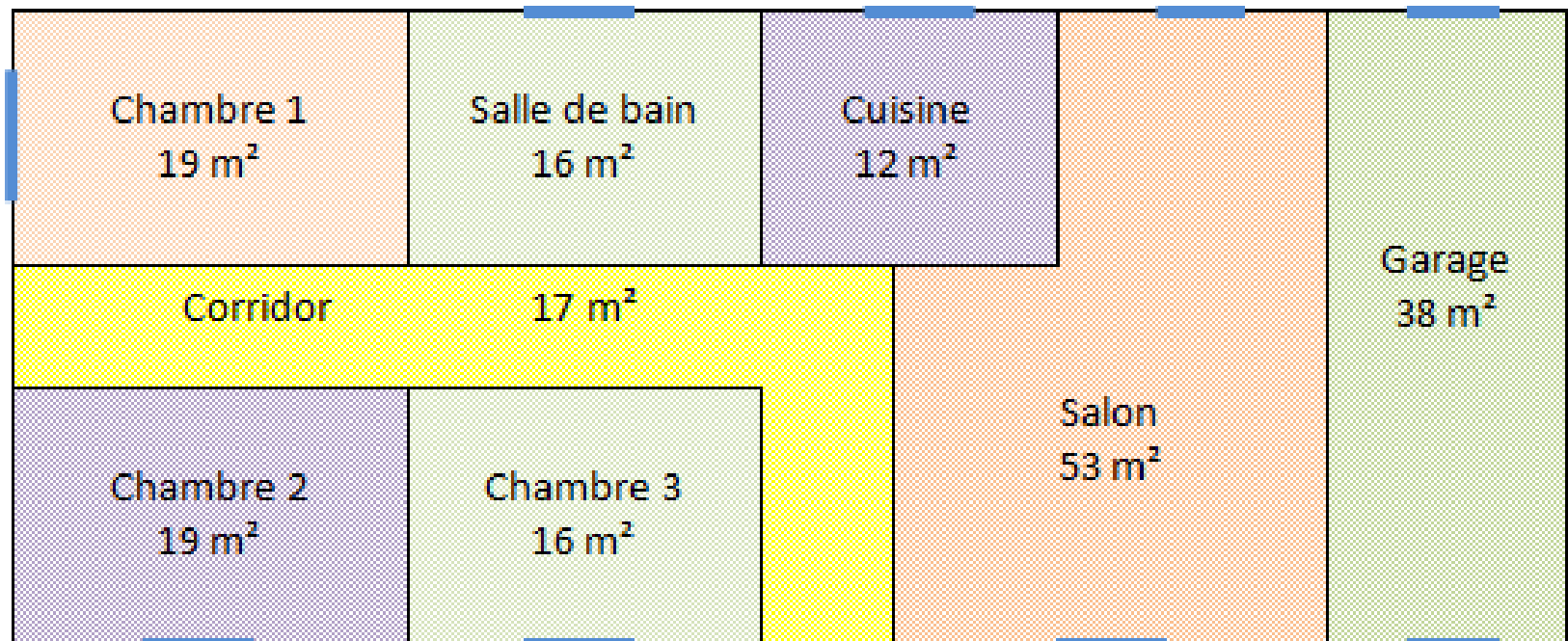






Modèles thermiques d'habitats individuels sous TRNSYS

Étude de cas : maison en rez-de-chaussée de 150 m² située à Perpignan et habitée par 4 personnes (un couple et deux enfants)



Modèles thermiques d'habitats individuels sous TRNSYS

Composition des éléments du bâtiment :

Élément	Matériaux	Épaisseur [m]	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT2005} [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Mur extérieur	BA13	0,013	0,602	0,45
	Laine de roche	0,06		
	Parpaing	0,2		
	Enduit extérieur	0,02		
Mur intérieur	BA13	0,013	0,845	/
	Laine de verre	0,04		
	BA13	0,013		
Sol	Carrelage	0,022	0,415	0,4
	Mortier	0,05		
	Béton lourd	0,16		
	Polystyrène expansé	0,08		
Plafond	BA13	0,013	0,196	0,34
	Laine de verre	0,1		
	Lame air	0,5		
	Terre cuite	0,01		
Plafond du garage	BA13	0,013	2,37	0,34
	Terre cuite	0,2		
Fenêtre	Double vitrage	0,2	1,43	2,6

Modélisation du mode de vie des habitants

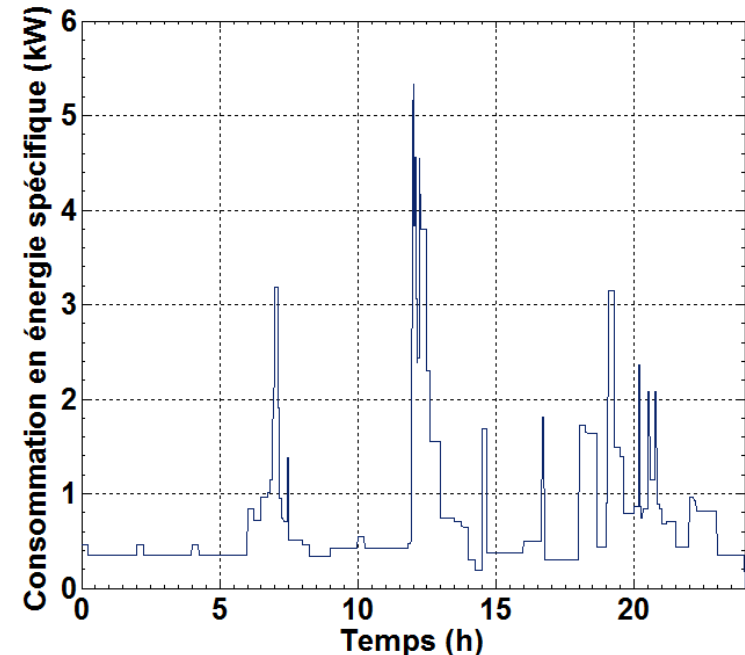
Scénario d'occupation conventionnel fixé par la RT 2005

Présence en semaine	Présence le week-end
0h-10h ; 18h-24h	0h-24h

Consigne de température conventionnelle fixée par la RT 2005

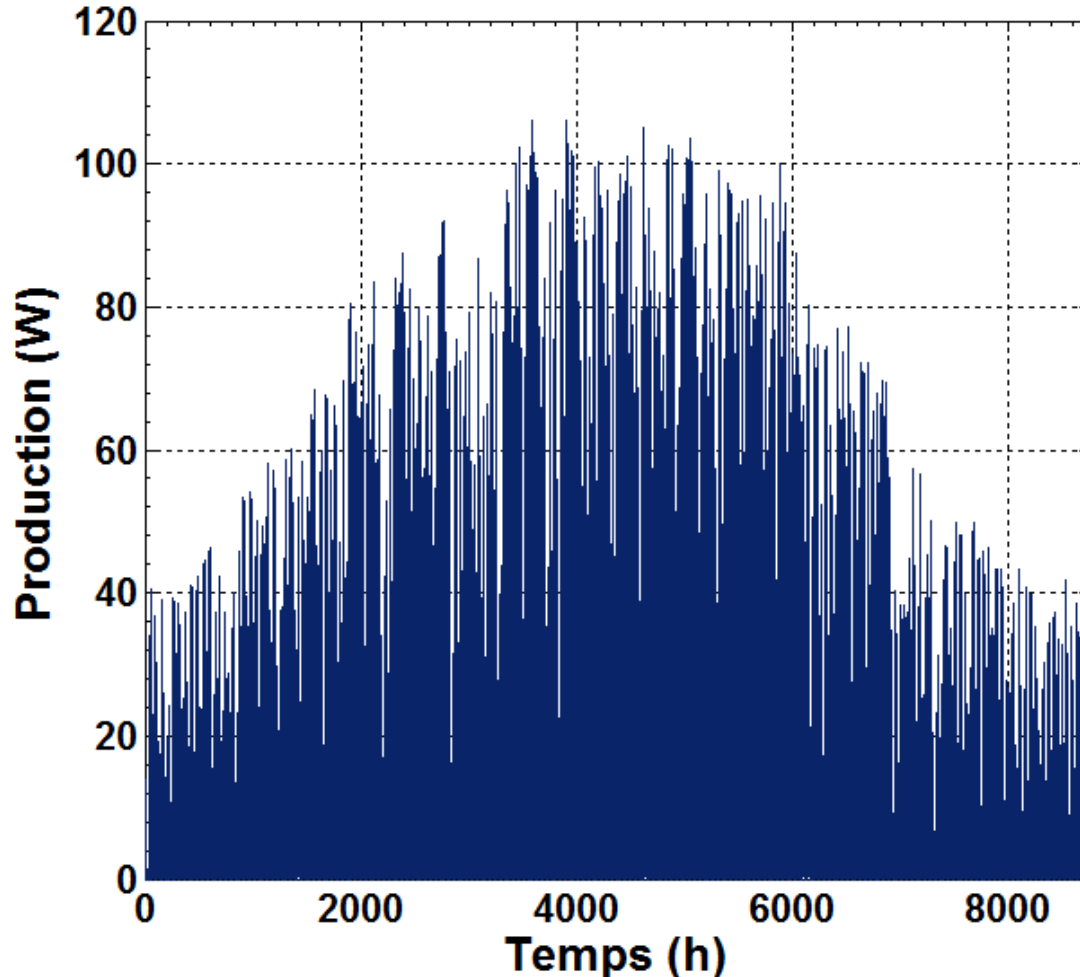
Température de consigne	Présence des occupants	Absence des occupants
Chauffage	19°C	16°C
Climatisation	28°C	30°C

Scénario de comportement



Modélisation des systèmes de production et de stockage

Mix-énergétique



Panneaux photovoltaïques

Modèle 194 sous TRNSYS

- Basé sur la méthode de calcul présentée par DeSoto¹ et l'utilisation d'équations semi-empiriques
- Détermine le courant et la puissance d'un panneau photovoltaïque à une tension donnée

¹ DeSoto W., Klein S.A., Beckman W.A., 2006. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, Solar Energy, vol. 80, pp. 78-88.

Modélisation des systèmes de production et de stockage Mix-énergétique

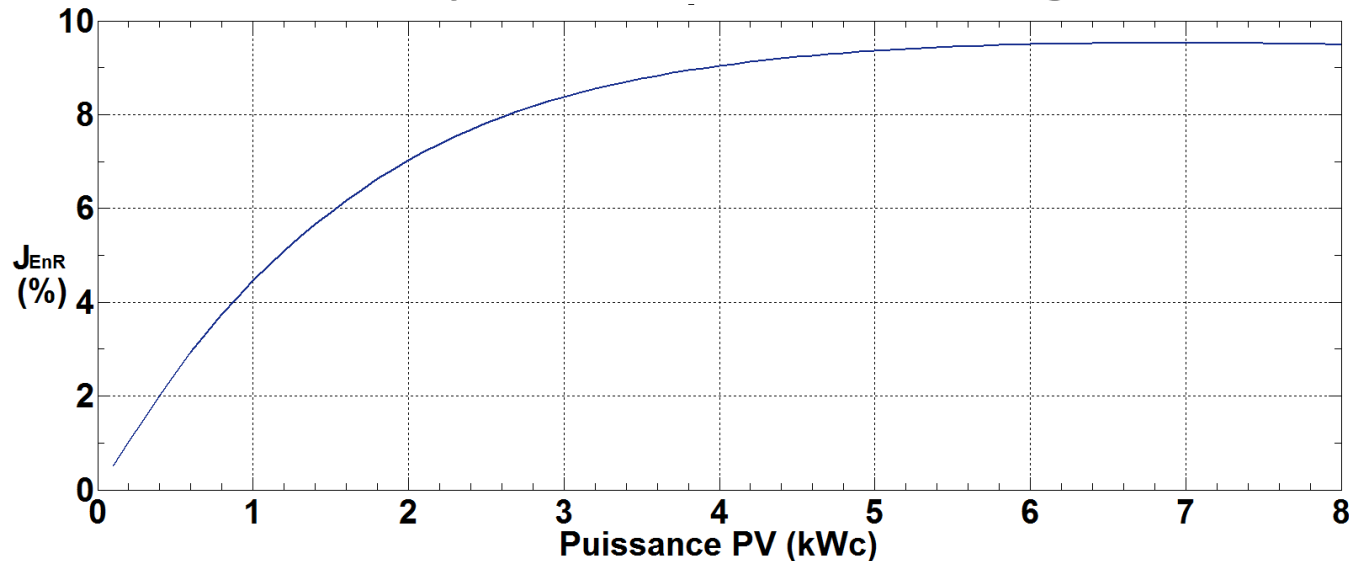
Description du mode de fonctionnement de la batterie:

- en mode charge: $E_{bat}(t) = (1 - \tau) \cdot E_{bat}(t - 1) + \left(E_{EnR}(t) - \frac{E_{ch}(t)}{\eta_{inv}} \right) \cdot \eta_{bat}$
- en mode décharge: $E_{bat}(t) = (1 - \tau) \cdot E_{bat}(t - 1) + \left(\frac{E_{ch}(t)}{\eta_{inv}} - E_{EnR}(t) \right)$

Contraintes: $E_{bat_{min}} = (1 - DOD) \times E_{bat_{max}}$ et $E_{bat_{max}} = C_n$

- η_{ond} Rendement de l'onduleur
- η_{bat} Rendement de charge de la batterie
- E_{bat} Energie stockée dans la batterie
- E_{ch} Energie demandée par la charge
- E_{EnR} Energie produite par le système de production décentralisée
- τ Taux horaire d'autodécharge
- DOD Profondeur de décharge
- C_n Capacité nominale de la batterie

Dimensionnement des systèmes de production (sans système de stockage)



PV (kWc)	3	6,9
EnR_c (kWh)	3306	5345
EnR_{inj} (kWh)	1132	4861
E_{EDF} (kWh)	26078	24038
$\%_{ac}$ (%)	74,49	52,38
$\%_{EnR_c}$ (%)	11,25	18,19
J_{EnR} (%)	8,14	9,53
$J_{coût}$ (€)	-1262	-953

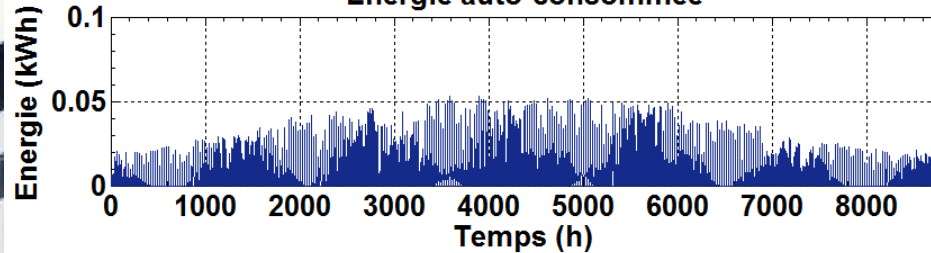
PV optimisés (6,9 kWc) vs. PV standard (3 kWc)	
$\%_{ac}$ (%)	↗ 61,7%
E_{EDF}	↘ 7,8%
J_{cost} (€)	↘ 25%

Dimensionnement des systèmes de production (sans système de stockage)

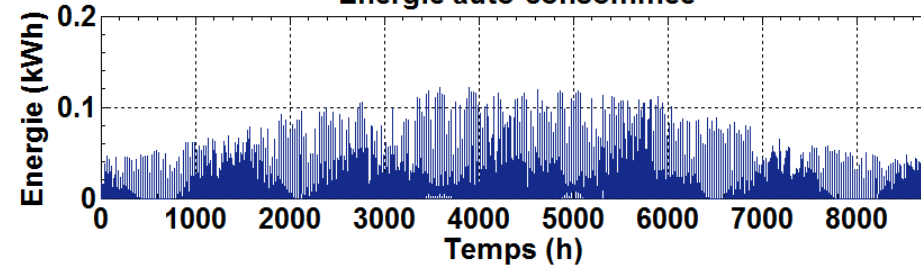
PV : 3 kWc

PV : 6,9 kWc

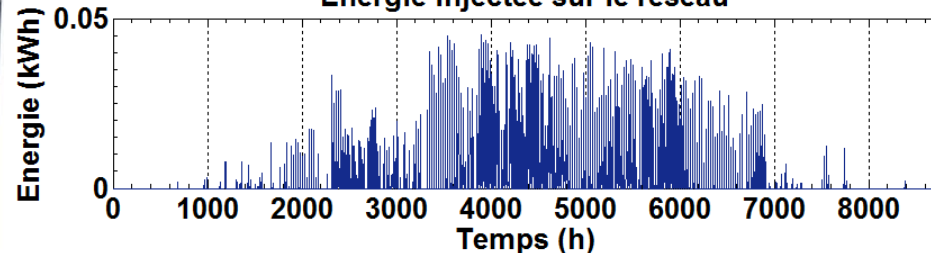
Energie auto-consommée



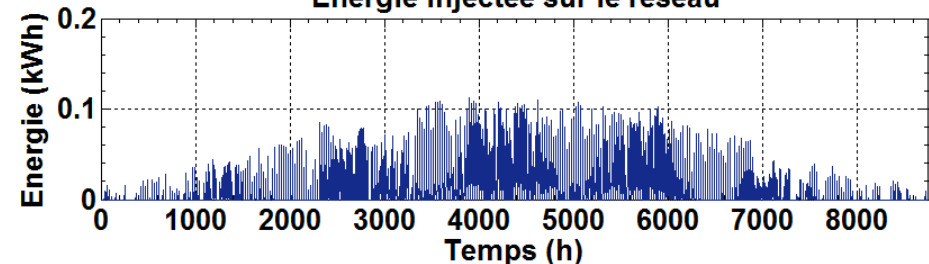
Energie auto-consommée



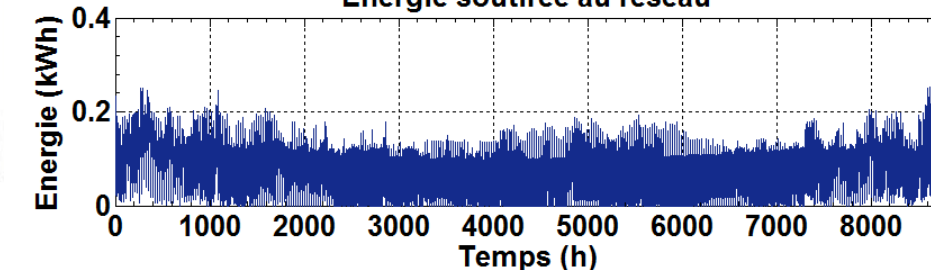
Energie injectée sur le réseau



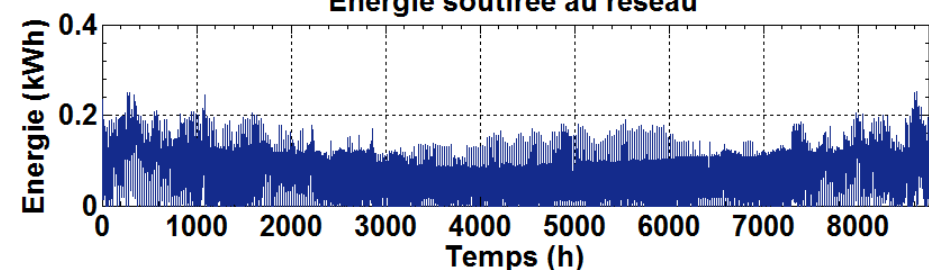
Energie injectée sur le réseau



Energie soutirée au réseau



Energie soutirée au réseau

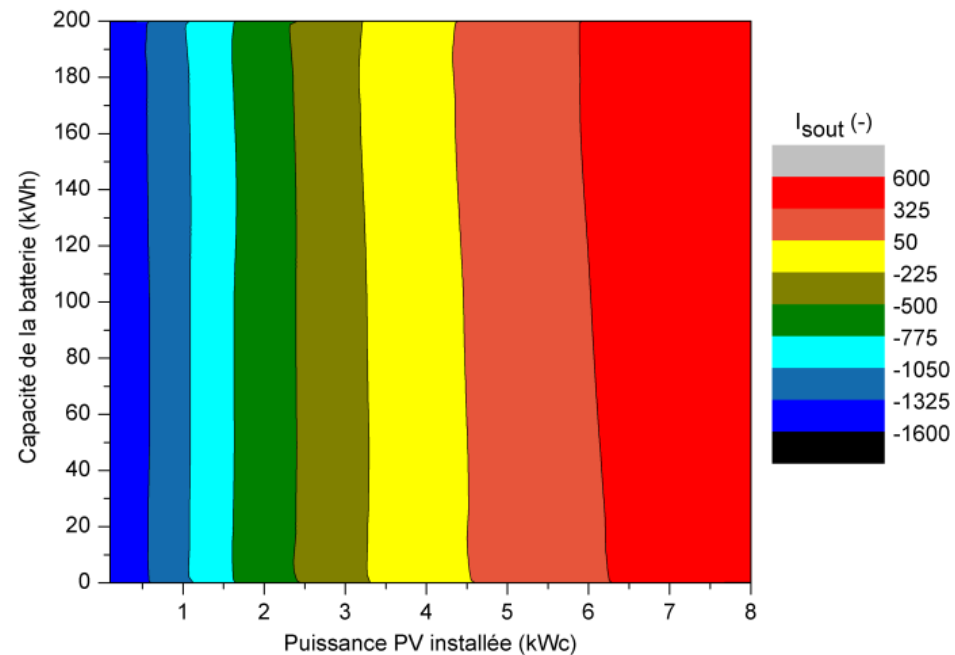
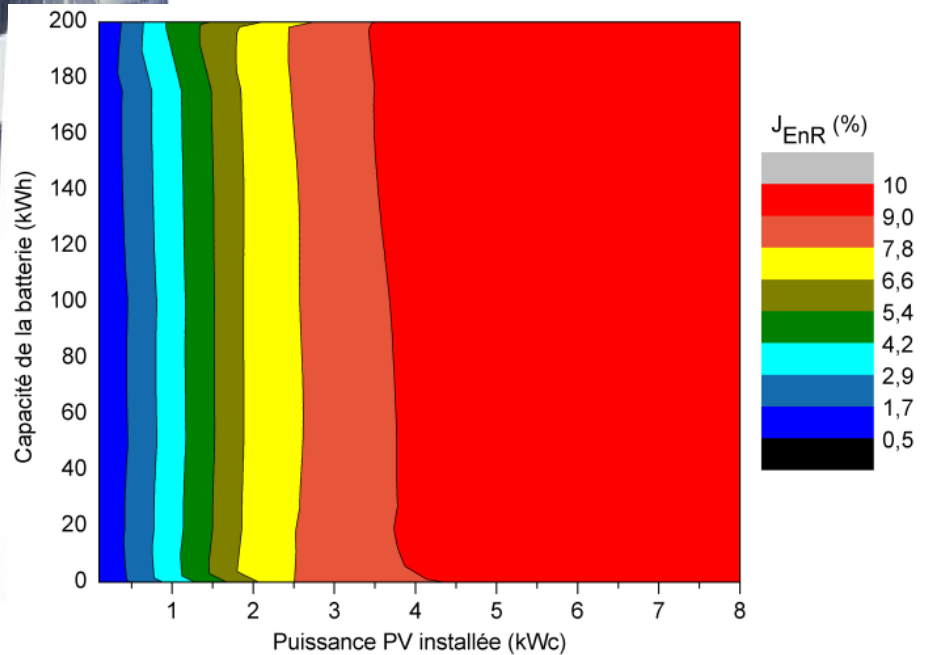


Dimensionnement des systèmes de production et de stockage pour un seuil réseau de 43%

Impact de la puissance PV installée et de la capacité de la batterie sur :

J_{EnR}

I_{sout}



Dimensionnement des systèmes de production et de stockage

Seuil réseau (%)	26		43		79	
PV (kWc)	7,5		4,2		4,2	
C_{Bat} (kWh)	105	(-)	50	(-)	200	(-)
EnR_c (kWh)	5610	(5570)	4130	(4081)	4091	(4081)
E_{inj} (kWh)	5473	(5523)	2073	(2132)	2117	(2132)
E_{EDF} (kWh)	23773	(23813)	25253	(25302)	25293	(25302)
E_{stock} (kWh)	49,8	(-)	58,5	(-)	14,3	(-)
$\%_{ac}$ (%)	50,57	(50,21)	66,48	(65,69)	65,85	(65,69)
$\%_{EnR_c}$ (%)	19,09	(18,96)	14,06	(13,89)	13,92	(13,89)
J_{EnR} (%)	9,66	(9,52)	9,35	(9,12)	9,17	(9,12)
$J_{coût}$ (€)	-905	(-905)	-1167	(-1167)	-1167	(-1167)
I_{inj} (-)	3306	(3290)	1044	(1028)	0	(-0,2)
I_{sout} (-)	-3310	(-3326)	1	(-17)	8768	(8767)
I_g (-)	-4	(-36)	1045	(1011)	8768	(8756)

Bilan

- Mise en avant de configurations favorisant l'autoconsommation
- Minimisation de l'impact de la production locale sur le réseau électrique
- Meilleure adéquation entre production décentralisée, besoins énergétiques et injection sur le réseau électrique

Perspectives

- Prise en compte conjointe de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne comme ressource
- Amélioration de la stratégie proposée par une approche prédictive
- Analyse de l'impact de la situation géographique, du niveau d'isolation et des scénarios de comportement

5^{ème} éditions des JD-JN-MACS,
Strasbourg, 11-12 juillet 2013

Gestion multicritère des ressources énergétiques à l'échelle d'un habitat individuel : interaction bâtiment / réseau électrique

¹ PROMES-CNRS, Perpignan

² Université de Perpignan Via Domitia, Perpignan



Aurélié Chabaud^{1,2}

Julien Eynard^{1,2}

Stéphane Grieu^{1,2}