

Bâtiments à énergie positive, optimisation de la demande et de la production à partir des sources d'énergies renouvelables

Thèse soutenue par

Michaël Salvador

Directeur : Prof. Monique Polit

Co-Directeur : Prof. Stéphane Grieu

Laboratoire CNRS PROMES
Perpignan

28 septembre 2012



UPVD
Université de Perpignan Via Domitia

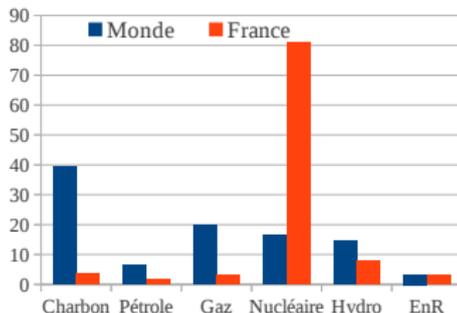
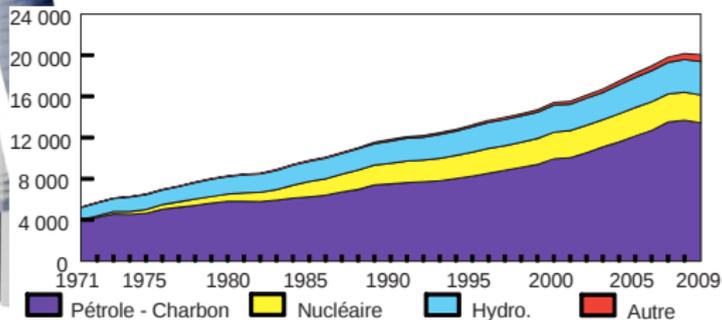
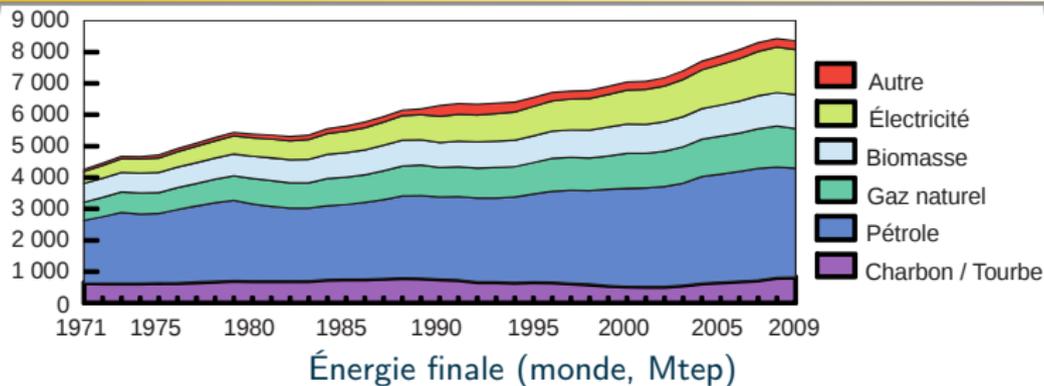
Plan

- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 Modélisation de bâtiments
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

Plan

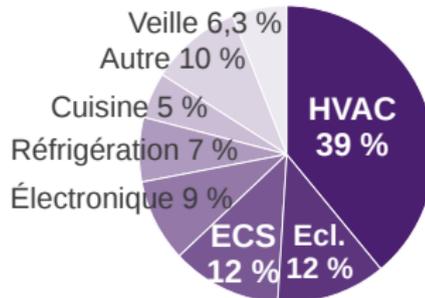
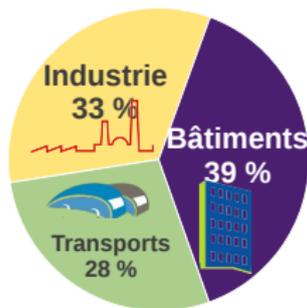
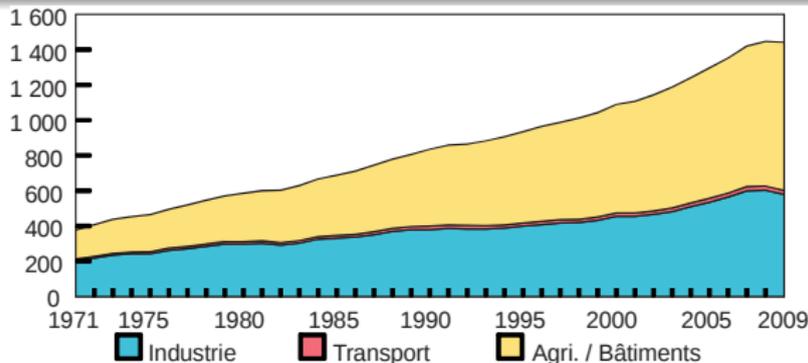
- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 Modélisation de bâtiments
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

L'énergie électrique : les sources primaires



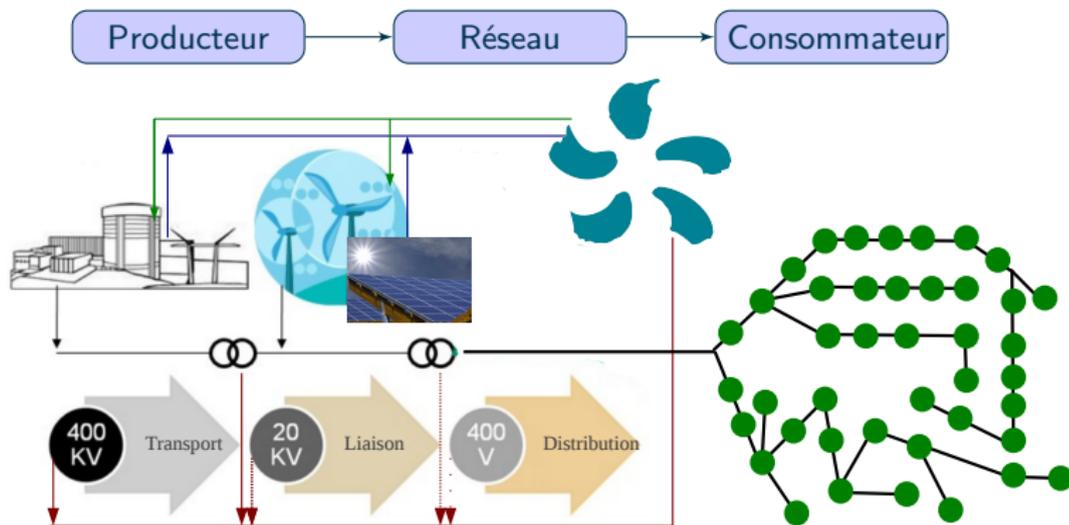
Énergie primaire électrogène (monde (TWh), France en 2010)

L'énergie électrique : une demande croissante



Consommation électrique par secteur (haut : monde, Mtep; bas : France, %)

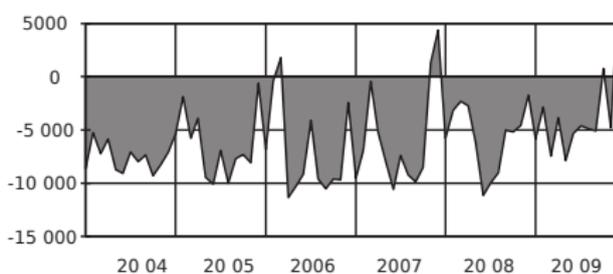
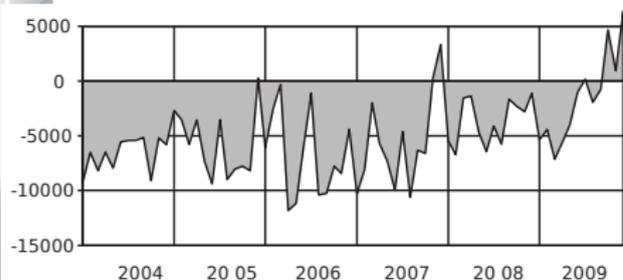
La chaîne de l'énergie électrique



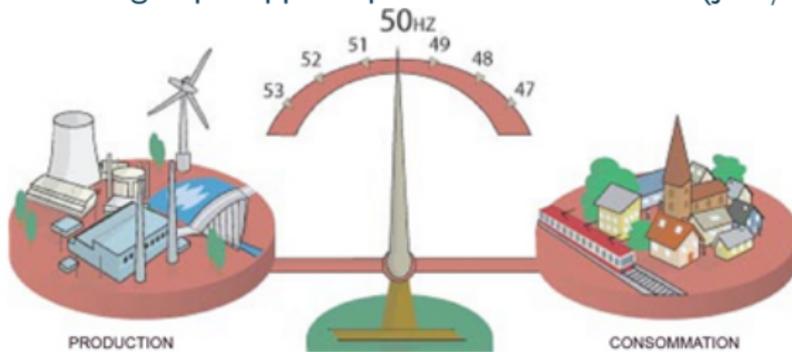
Caractéristiques

- Structure descendante
- Instrumentation corrélée avec la quantité de puissance transportée

La chaîne de l'énergie électrique : échanges internationaux



Volume énergétique appelée par la France en GWh (jour/nuit)



La chaîne de l'énergie électrique : maintien de la fréquence

- HP
- HC
- Pilotage

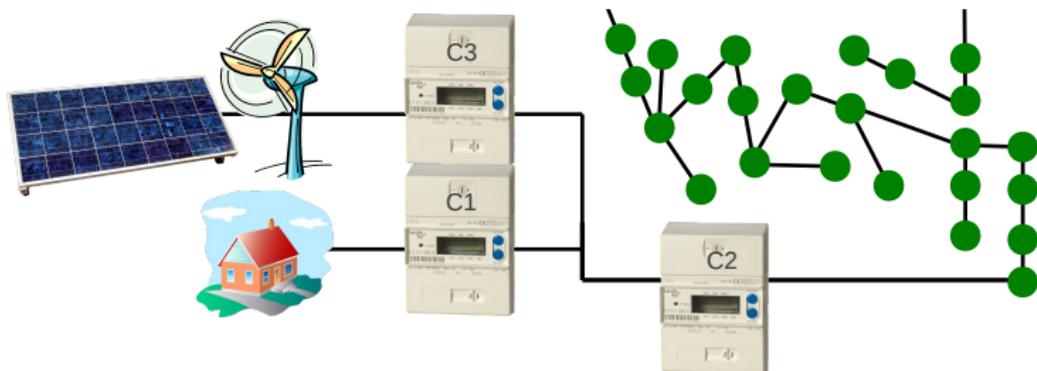


La stabilité du réseau est elle garantie en cas d'injection massive de la production renouvelable ?

Plan

- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 Modélisation de bâtiments
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

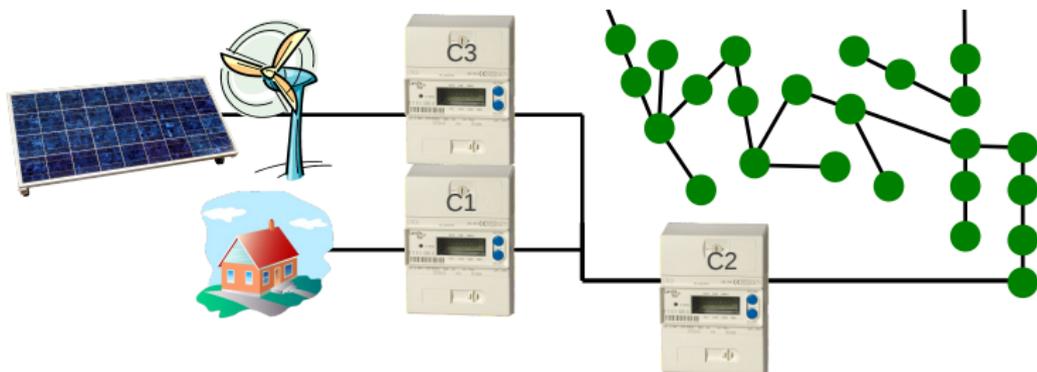
DPE et Impact Énergétique Réseau (IER)



DPE - Diagnostic de performance énergétique

- Estimation de la consommation C1 sans occupant
- Améliorations possibles pour le bâtiment
 - Structurelles : isolation, fenêtres...
 - Dispositifs énergétiques

DPE et Impact Énergétique Réseau (IER)



IER - Indicateur d'impact sur le réseau électrique

- Gisements en matière d'économies d'énergies
 - Habitudes comportementales
 - Amélioration structurelle et dispositifs énergétiques
- Identifier une ressource renouvelable disponible sur site

Le comportement humain

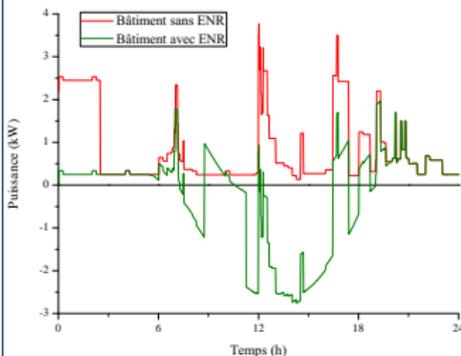


Bâtiment

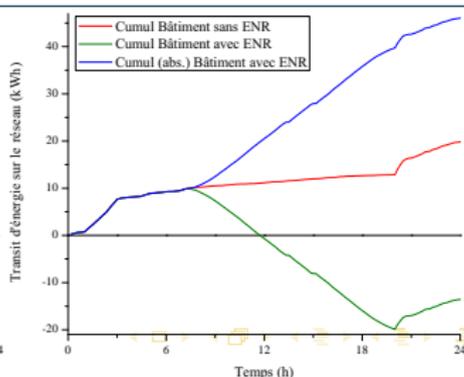
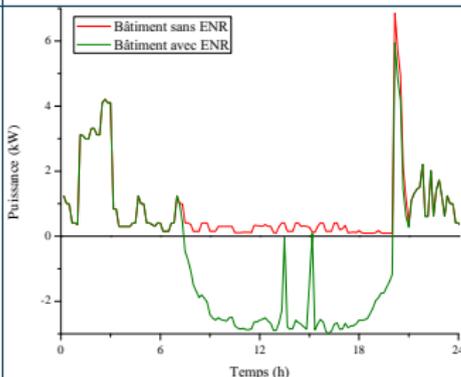
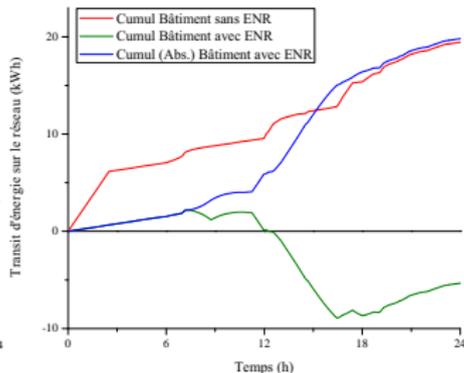
Occupé

Vide

Courbe de charge



Échange énergétique



Calcul de l'IER

Impact énergétique temps réel

$$IER_{enerTR}(n) = P_{app}(n) - P_{prod}(n) \quad (1)$$

avec $P_{app}(n)$ l'énergie appelée (C1) et $P_{prod}(n)$ l'énergie produite (C3) à l'instant n

Normalisation

$$IER_{norm}(n) = \frac{|IER_{enerTR}(n)|}{P_{pic}} \quad (2)$$

avec P_{pic} la valeur maximale du transit bâtiment/réseau

Calcul de l'IER

Pénalisation exponentielle

$$Comp_{TR}(n) = e^{K \cdot \frac{|P_{app}(n) - P_{prod}(n)|}{P_{pic}}} - 1 \quad (3)$$

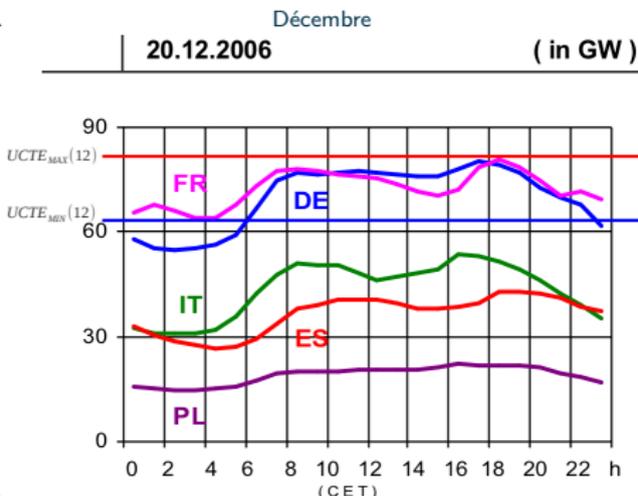
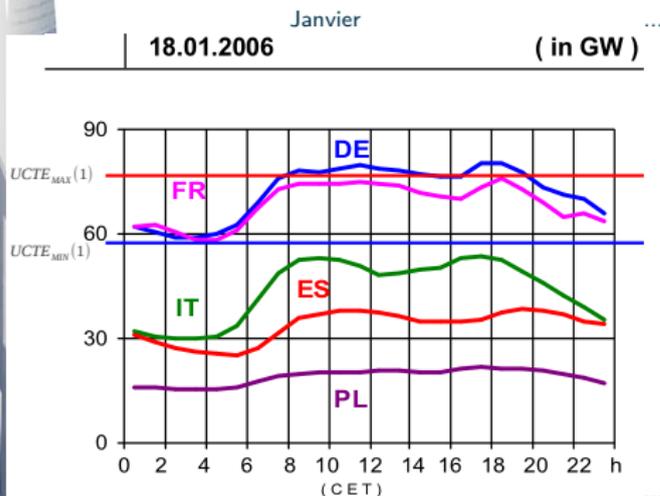
avec K un coefficient, généralement égal à k_1 le coefficient de "pénalisation"

Formule générale

$$IER = \frac{\sum_1^{n_{max}} e^{K \cdot \frac{|P_{app}(n) - P_{prod}(n)|}{P_{pic}}} + k_2 - 1}{n_{max}} \quad (4)$$

avec k_2 le coefficient de correction temporelle et n_{max} la limite de l'intervalle d'étude

Calcul de l'IER : seuil de "pénalisation" k_1

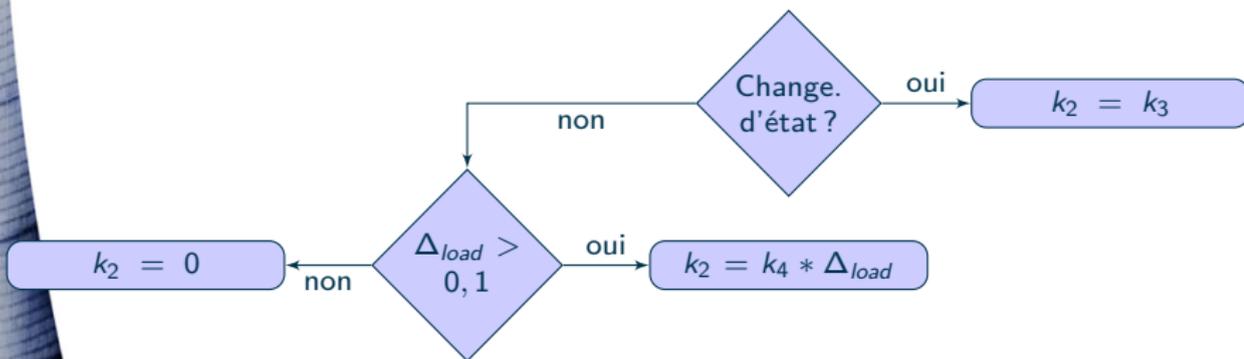


Pays	k_1	Seuil	Échange énergétique	
			"normal ⁽¹⁾ "	"anormal ⁽²⁾ "
			% de P_{pic}	
France	3	79	0-78	80-100
Pologne	2,7	88	0-87	88-100
Italie	4,5	53	0-52	54-100

$$\%P_{pic}^{DEP} = \frac{\sum_{12} UCTE_{min}}{\sum_1 UCTE_{max}}$$

Calcul de l'IER : le facteur temporel k_2

- Pénalisation des changements d'état (k_3) et des variations brutales de charge (k_4)
- Adaptation au pas de temps de l'étude



Pas de temps	k_3	k_4		Qualité de l'analyse
1 seconde	1	20		Bonne
1 minute	10	10		Excellente
2 minutes	15	9		Bonne
5 minutes	17	7		Moyenne
10 minutes	20	5		Passable
20 minutes	30	2		Médiocre
30 minutes	50	n.a.		Impossible

n.a. non applicable

IER - Les options

IER - Constats

- Une injection réseau est traitée comme une consommation
- Un échange réseau est traité de façon identique quelle que soit l'heure
- Un échange réseau est traité de façon identique quelle que soit la charge sur le réseau

IER - Les options

- Favoriser l'injection réseau
 - Diminution de K lors d'une injection réseau
- Considérer les options tarifaires
 - Diminution de K en heure creuse
- Considérer l'état du réseau
 - HP : augmenter/diminuer K lors d'une consommation/injection
 - HC : diminuer/augmenter K lors d'une consommation/injection

IER - Échelle proposée



IER	Interprétation
$IER < 5$	
$5 \leq IER < 10$	
$10 \leq IER < 15$	
$15 \leq IER < 20$	
$20 \leq IER < 50$	
$50 \leq IER < 100$	
$IER \geq 100$	

: bâtiment énergétiquement performant

: bâtiment conventionnel

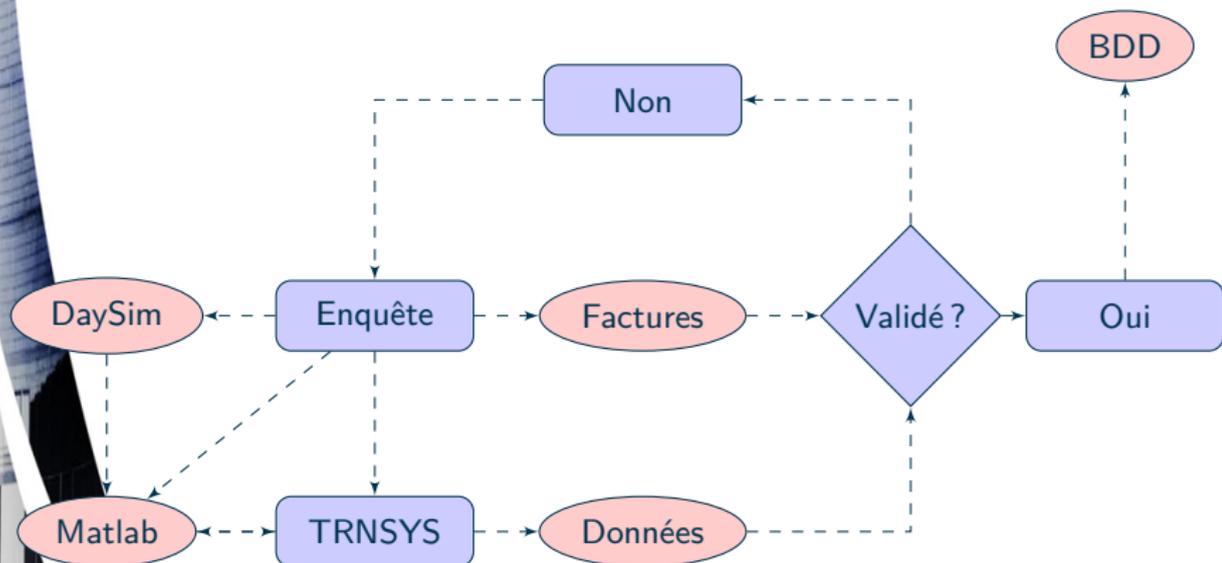
: bon comportement énergétique des occupants

: mauvais comportement énergétique des occupants

Plan

- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 **Modélisation de bâtiments**
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

Base de données de bâtiments - Approche générale



Base de données de bâtiments - Caractéristiques

Type

- Industrie
- Tertiaire
- Habitat

Isolation

- RT2012
- RT2005
- Type 1990
- Type 1970
- Sans

Occupation

- 4 & 5 pers. (100 et 150 m^2)
- 2 & 3 pers. & 4 (65 m^2)
- 2 & 3 pers. (40 m^2)
- 1 & 2 pers. (25 m^2)

- 130 bâtiments visités,
- 40 bâtiments retenus,
- 7 démarches particulières,
- 2 rénovations.

Base de données de bâtiments - Collecte des données

Données

- Consommations
- Habitudes
- Structures

Observations

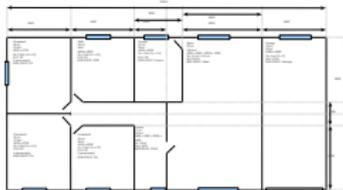
- Type d'isolation
- Type de chauffage
- Surface en présence
- Nature des matériaux
- Équipements énergétiques

Résultats

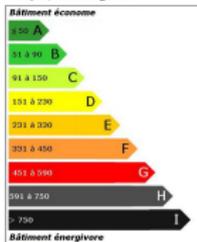
- DPE
- Courbes de charge
- Améliorations possibles



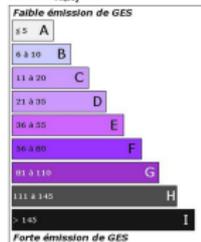
ajustement automatique



Étiquette Énergie : consommations énergétiques en kWh/m².an



Étiquette Climat : émissions de gaz à effet de serre en kgCO₂eq/m².an



Modélisation TRNSYS : les modèles développés

Habitats modélisés

Numéro du modèle	1	2	3	4	5	6	...	11	12	13	...	21	22	23	24	...	33
Maison ⁽¹⁾	4				4	2	...		5	3	4
Appartement ⁽²⁾		M	R	C	D		...	D			...	D	R	M	M	...	
DPE	B	B	B	B	C	C	...	D	D	D	...	E	E	E	E	...	G
Surface ⁽³⁾	150	70	40	35	152	100	...	80	150	100	...	40	75	80	90	...	110
Nombre d'occupants	4	3	2	1	4	5	...	4	5	5	...	2	4	3	4	...	5
Chauffage ⁽⁴⁾	G	P	E	P	E	P	...	G	Ch	F	...	E	P	G	C	...	B
ECS ⁽⁵⁾	S	P	E	R	E	R	...	G	Ch	F	...	E	R	E	P	...	E
Production d'EnR ⁽⁶⁾	P						...		P	P	
MultyWatt 1 / StarBOX 2	2	1			1	1	...		1		...		1			...	1

(1) Nombre de faces,

(2) R(C) : situé en RDC (au dessus de caves), M : entre deux étages habités, D : Dernier étage,

(3) m^2 habitable Carrez,

(4) E : électrique (C : convecteur, P : PAC), G : géothermie, B : bois, G : gaz (C : condensation, Ch : cheminée), F : fioul,

(5) E : électrique (R : résistance, P : PAC), G : géothermie, G : gaz (C : condensation, Ch : cheminée), F : fioul, S : solaire,

(6) Électrique, uniquement pour les équipements injectant l'énergie au réseau, P : photovoltaïque, E : éolien

Modélisation TRNSYS : les modèles étalons

Les modèles n°5 et 22 sont les deux premiers modèles développés

Points communs

- Systèmes thermiques résistifs (HVAC, ECS...)
- Tout électrique
- 2 adultes & 2 enfants

Modèle n°5

- Maison 152 m^2 T5
- Ballon d'ECS solaire
- Piscine
- Isolation & fenêtres 1990

Modèle n°22

- Appartement 75 m^2 T3/4
- Isolation : sans/RT2005
- Fenêtres PVC 4/16/4 FE argon

Modélisation TRNSYS : le modèle n°22



Type 1



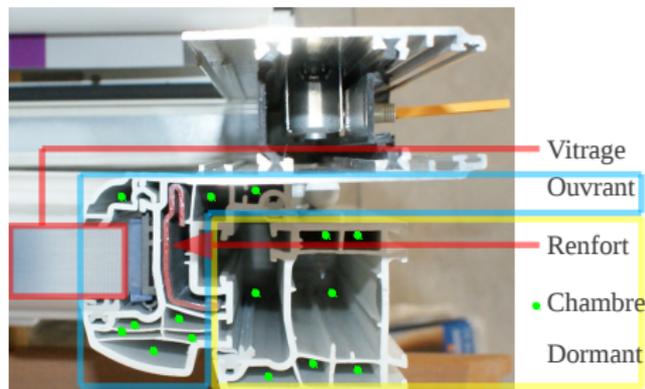
Type 2



Type 3



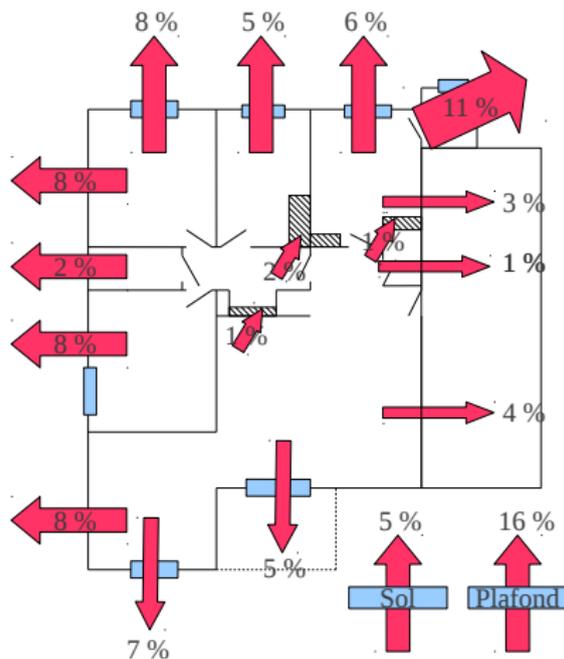
Caves →
Type 4



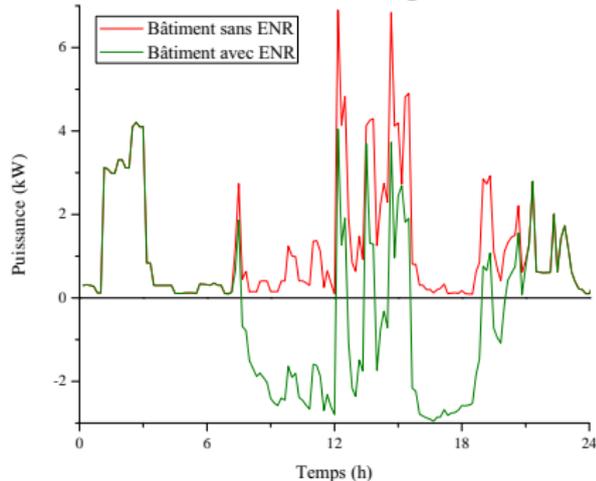
- λ : conductivité $kJ.(h.m.K)^{-1}$
- C : capacité calorifique $kJ.(kg.K)^{-1}$
- D : masse volumique $kg.m^{-3}$

Modélisation TRNSYS : le modèle n°22

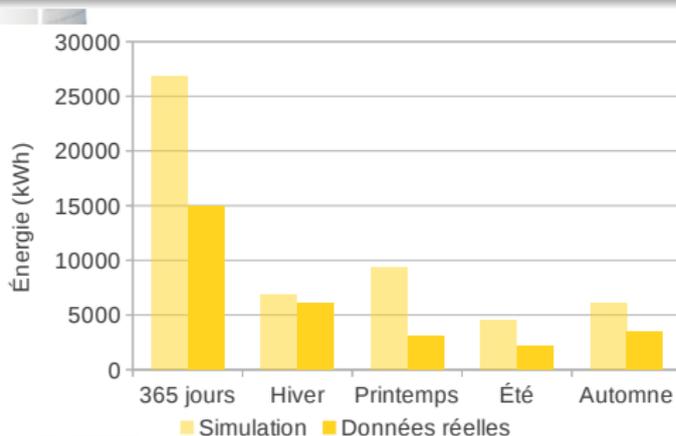
Pertes thermiques



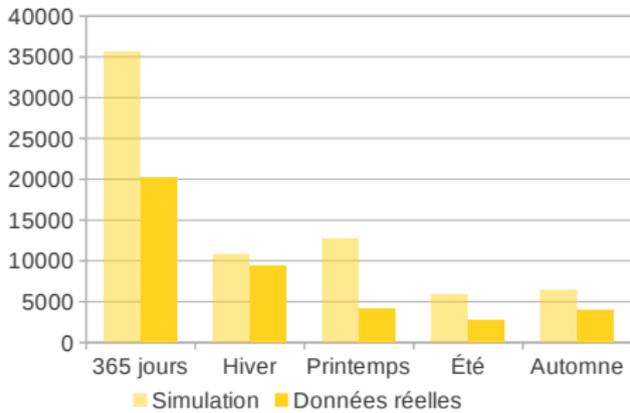
Courbes de charge



Modélisation TRNSYS : les premiers résultats



Modèle n°5



Modèle n°22

Constats

- Surestimation des besoins toute l'année
- Problèmes dans les modèles ?

Modélisation TRNSYS : synthèse

Faiblesses

- Prise en compte limitée de l'action de l'homme
- Prise en compte simpliste des postes électronique et éclairage
- TRNSYS = énergie finale uniquement
- Ignore l'action d'un volet ou d'un brise-soleil
- Gestion de la ventilation inadaptée et complexe
- Gestion de la consigne de température complexe

Modèles complémentaires

- Gestion des volets
- Gestion du renouvellement d'air
- Scénario d'occupation
- Module de calcul des COP

Gestion des volets

Objectif

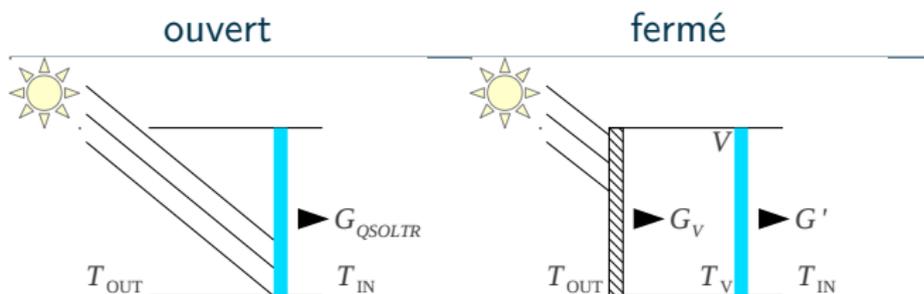
Rendre compte de l'action d'un volet sur les performances thermiques d'une ouverture



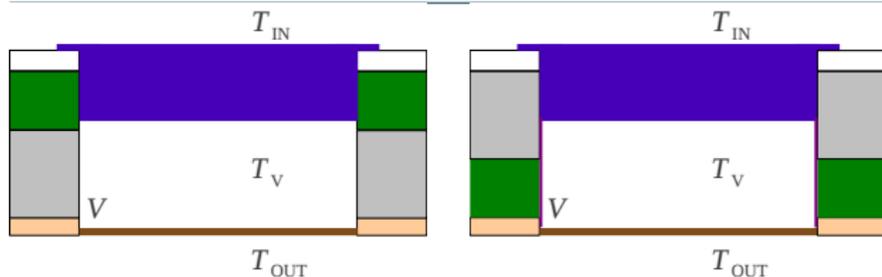
Problématique

- *QSOLTR* apport d'énergie solaire sur une surface vitrée
- *QTSOUT* énergie perdue vers l'extérieur

Gestion des volets - QSOLTR



Une pièce additionnelle tampon $G' = \Delta(T_V; T_{IN}) \cdot W$

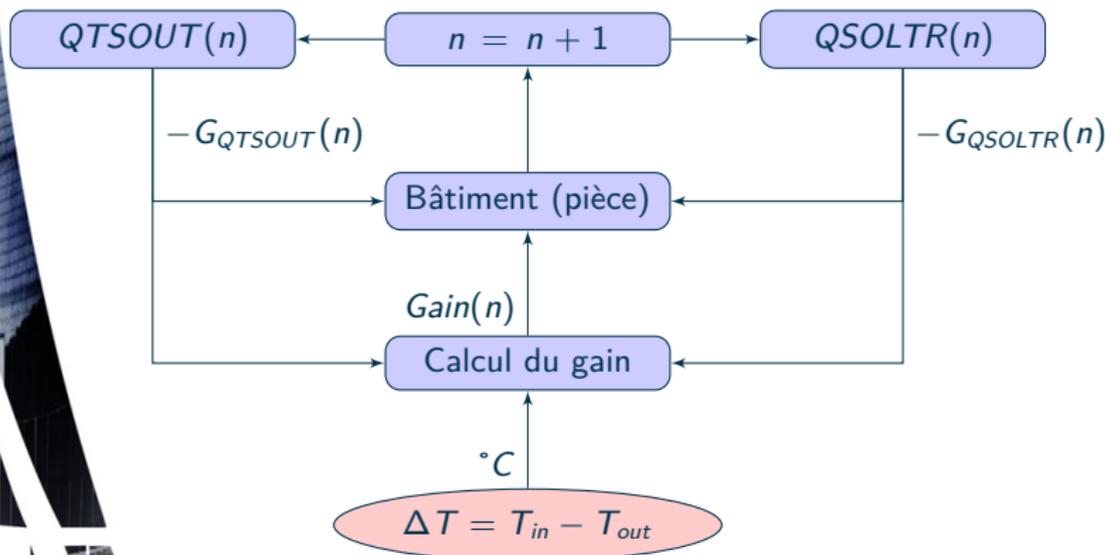


interne

externe

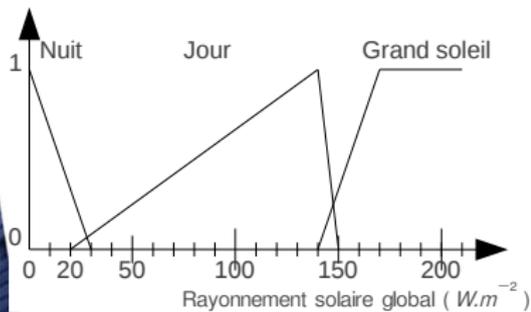
Gestion des volets - *QTSOUT* & Application des correctifs

- Pas d'effet de jour (volet ouvert)
- Lorsque le volet est fermé $QSOLTR = QSOLTR'$ et $QTSOUT = QTSOUT'$

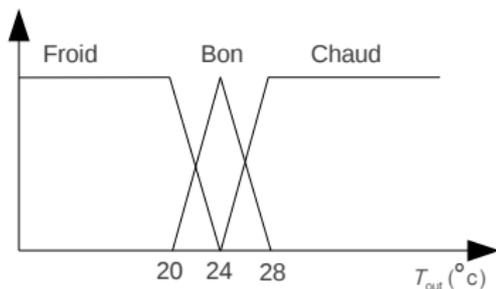
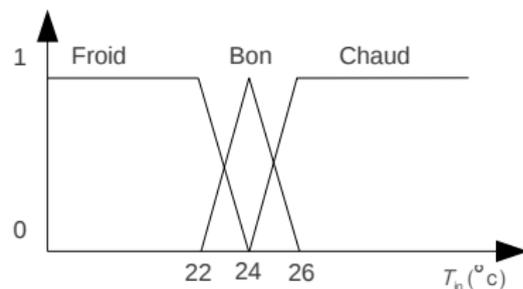


Gestion des volets - Fuzzification

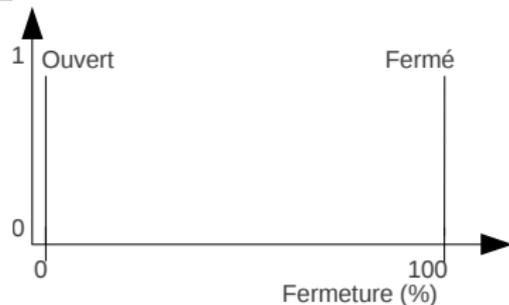
Rayonnement solaire global



Température intérieure



Température extérieure



État du volet

Gestion des volets - Base de règles

Règle	1	2	3	4	5
Soleil	Jour	Soleil	Soleil	Soleil	Soleil
T_{OUT}	-	-	-	Froid	Chaud
T_{IN}	-	Froid	Chaud	Bon	Bon

Absence de pare-soleil

Fermeture	F	F	O	F	O
-----------	---	---	---	---	---

Présence de pare-soleil

Fermeture	F	F	F	F	F
-----------	---	---	---	---	---

Règle	6	7	8	9	10
Soleil	Nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Nuit
T_{OUT}	-	Froid	Froid	Chaud	Chaud
T_{IN}	Bon	Froid	Chaud	Froid	Chaud

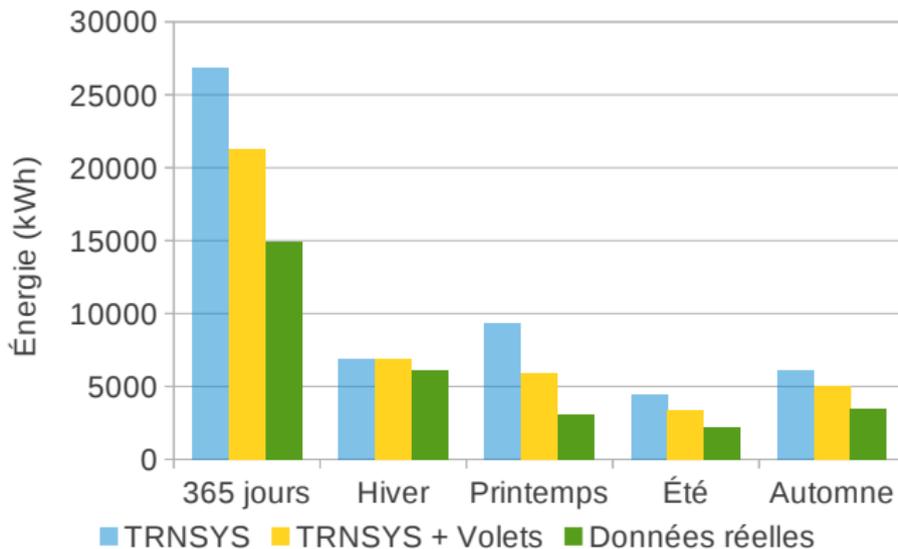
Absence de pare-soleil

Fermeture	O	O	F	F	O
-----------	---	---	---	---	---

Présence de pare-soleil

Fermeture	O	O	F	F	O
-----------	---	---	---	---	---

Gestion des volets - Amélioration (modèle n°5)



Résultats partiels obtenus pour le modèle n°5

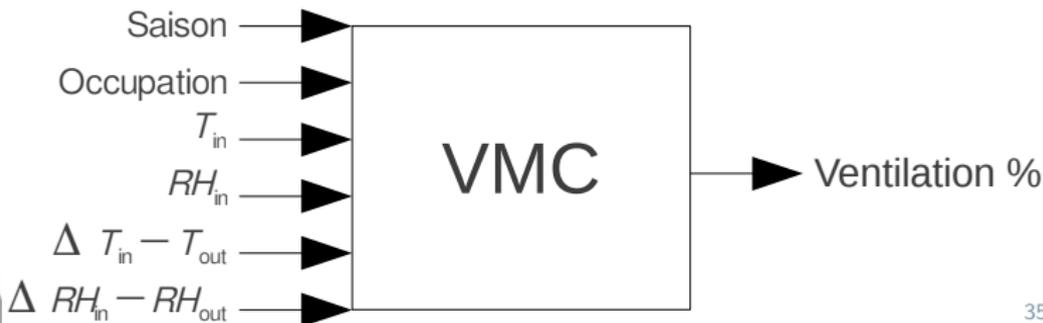
Gestion du renouvellement d'air - VMC

Problématique

En été, si T_{in} est élevée, TRNSYS = HVAC

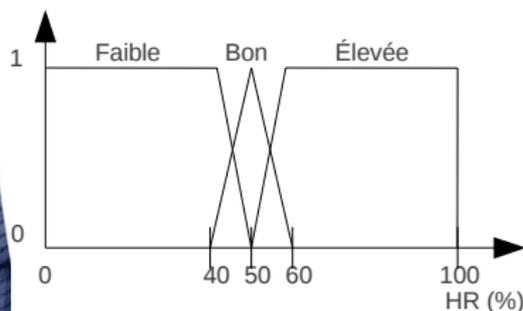
Objectifs

- Appliquer des règles de bon sens pour la gestion d'une VMC et l'ouverture des fenêtres
- Apporter un correctif à ce qui est proposé sous TRNSYS

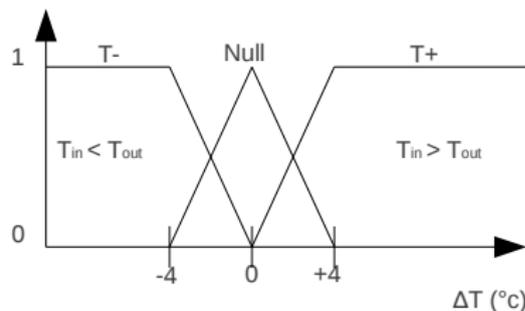
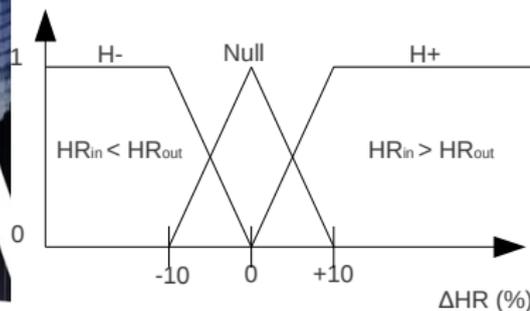
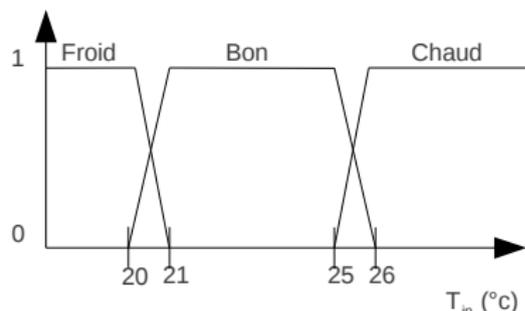


Gestion du renouvellement d'air - Fuzzification (1/2)

Taux d'humidité intérieur



Température intérieure

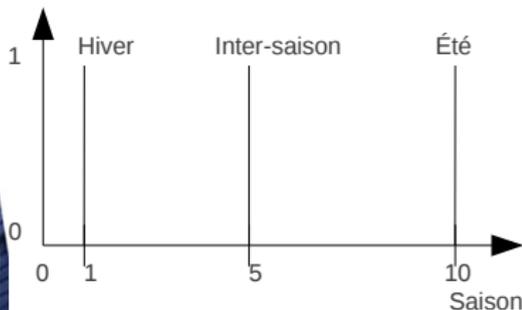


Dif. entre humidités int. et ext.

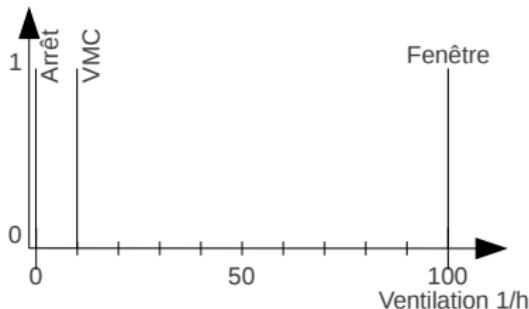
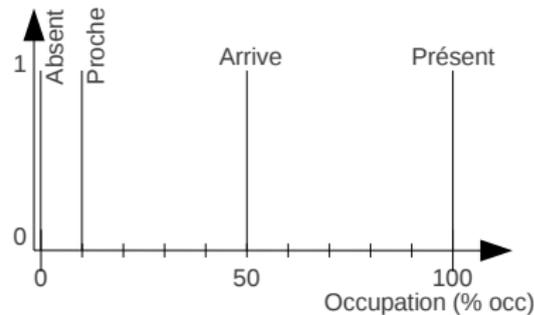
Dif. entre les temp. int. et ext.

Gestion du renouvellement d'air - Fuzzification (2/2)

Variable d'état saisonnière



Variable d'état d'occup.



Sortie VMC

Gestion du renouvellement d'air - Base de règles

Règle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Occupation	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
T_{IN}	-	-	Bon	Froid	Froid	Froid	Chaud	Froid	Froid	Froid
Hg_{IN}	Élevé	Faible	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon
ΔT	-	-	-	T+	T-	T-	T+	T-	Null	T+
ΔHg	H-	H+	-	-	-	-	-	-	-	-
Saison	-	-	-	H.	H.	H.	H.	I.S.	I.S.	I.S.
Ventilation	VMC	VMC	At	At	VMC	Fen	At	At	At	VMC

Règle	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Occupation	100	-	-	-	100	-	-	-	100
T_{IN}	Froid	Chaud	Chaud	Chaud	Chaud	Froid	Chaud	Chaud	Chaud
Hg_{IN}	Bon								
ΔT	T+	T+	Null	T-	T-	T+	Null	T-	T-
ΔHg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saison	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	Été	Été	Été	Été	Été
Ventilation	Fen	At	At	VMC	Fen	VMC	At	VMC	Fen

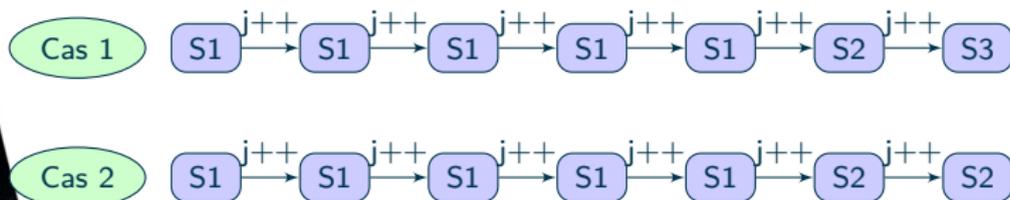
Améliorations

- Un meilleur confort thermique
- Une diminution du recours au système HVAC
- Une baisse de l'humidité intérieure

Scénario d'occupation

Les limites de TRNSYS

- Un mode de création de scénarios d'occupation complexe, de nature procédurale
- Répétition *stricto sensu* du ou des scénarios prédéfinis (effet robotique)



Répétition de scénarios (cas 1 : 3 scénarios, cas 2 : 2 scénarios)

Scénario d'occupation

Objectifs

- Améliorer la politique de gestion énergétique du bâtiment modélisé
- "Humaniser" la courbe de charge



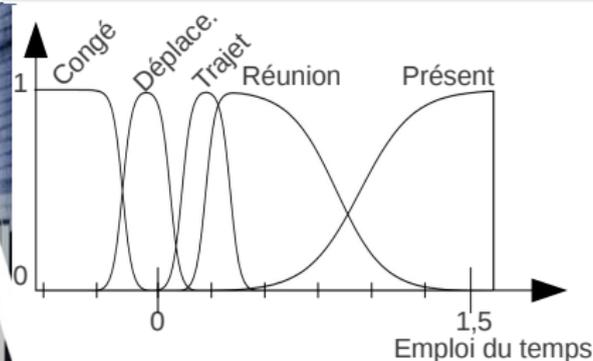
Éléments clés

- Tenir compte du trafic routier
- Tenir compte des tendances météorologiques
- Simplifier l'emploi du temps des occupants à des actions élémentaires

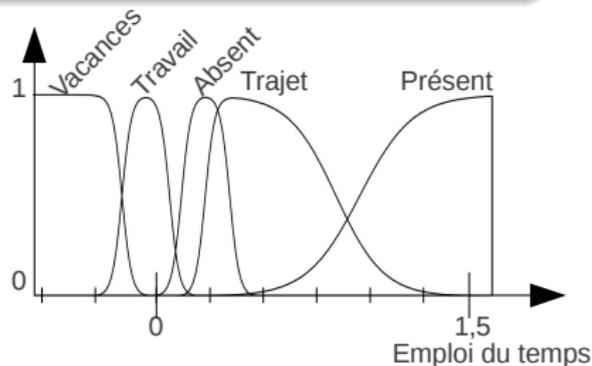
Scénario d'occupation - Fuzzification (1/2)

Deux profils définis

- Le profil "travail"
- Le profil "maison"



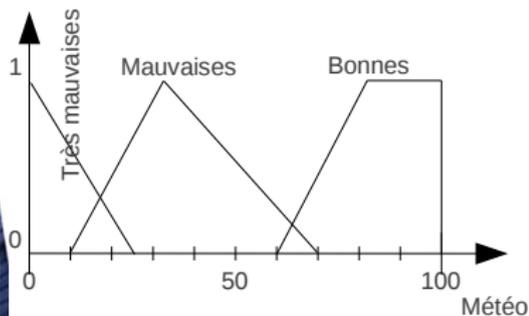
Profil "travail"



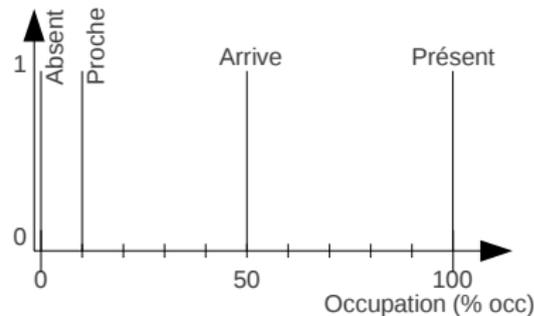
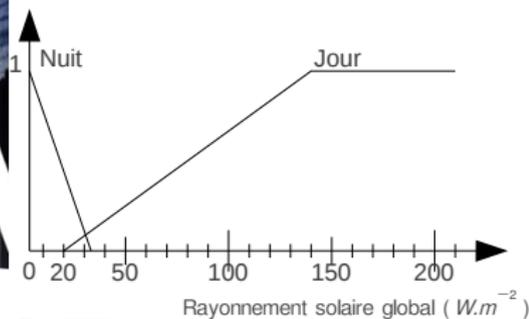
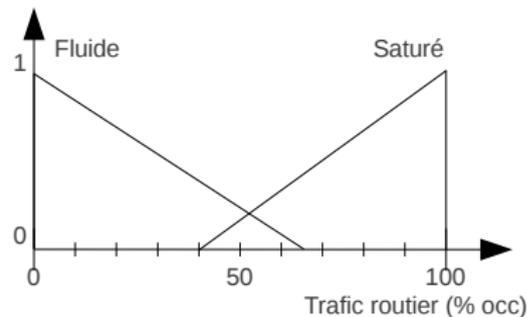
Profil "maison"

Scénario d'occupation - Fuzzification (2/2)

Conditions météorologiques



État du trafic



Rayonnement solaire global

Occupation d'une pièce

Scénario d'occupation - Base de règles

Règle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Edt	Trajet	Trajet	Trajet							
Météo	TM	M	M	B	B	TM	M	M	B	B
Trafic rout.	-	S	F	S	F	-	S	F	S	F
Ray. sol.	J	J	J	J	J	N	N	N	N	N
Occ. jour	Pro.	Pro.	Pré.	Arrive	Pré.	Pro.	Pro.	Pro.	Pro.	Arrive
Occ. nuit	Abs.	Abs.	Pro.	Abs.	Pré.	Pro.	Pro.	Arrive	Arrive	Pré.
Règle	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Edt	Vac	Trava.	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.	Présent	Présent	
Météo	-	-	B	B	M	M	TM	-	-	
Trafic rout.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ray. sol.	-	-	J	N	J	N	-	J	N	
Occ. jour	Abs.	Pro.	Pro.	Pro.	Arrive	Pro.	Pro.	Pré.	Pro.	
Occ. nuit	Abs.	Pro.	Pro.	Pré.	Pro.	Arrive	Pro.	Pro.	Pré.	

Améliorations observées

- Réduction importante de l'erreur de modélisation
- Diminution très significative du recours au système HVAC
- Augmentation de la consommation d'énergie spécifique

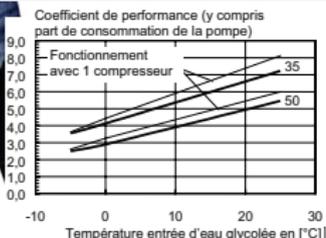
COP des dispositifs HVAC

Éléments requis

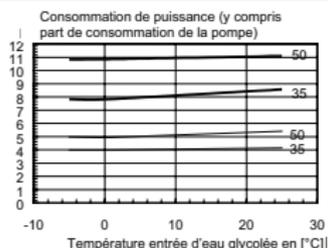
- Connaître les puissances absorbées et restituées par les appareils
- Établir un profil d'utilisation pour les appareils en question

Objectifs

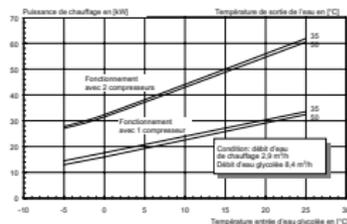
- Déterminer les coefficients de performance
- A partir des COP, obtenir des relations entre énergie primaire et énergie finale



COP



Consommation

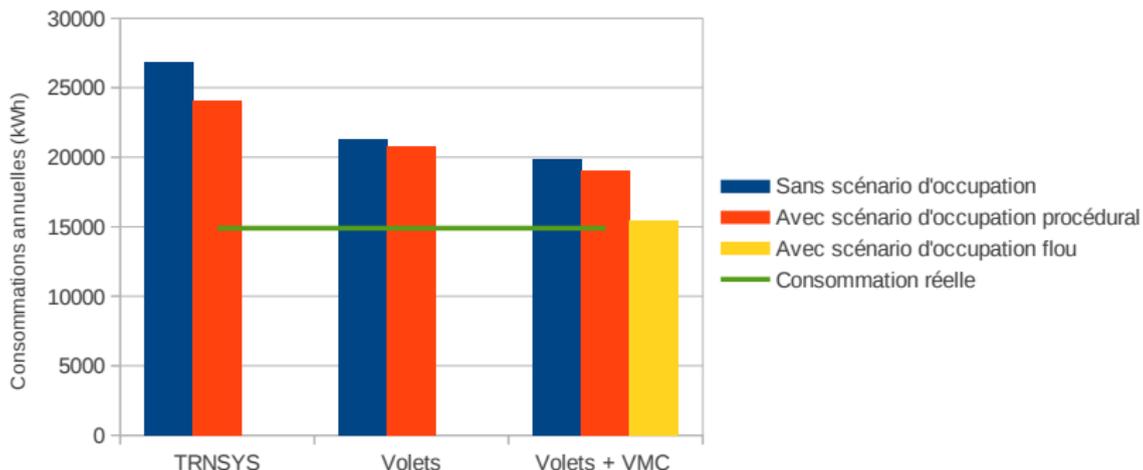


Éner. finale disponible

Résultats obtenus - Validation du modèle n°5

Synthèse

- L'apport des modèles complémentaires développés est significatif : obtention de données simulées très proches des données réelles
- Augmentation de la variabilité des courbes de charge obtenues

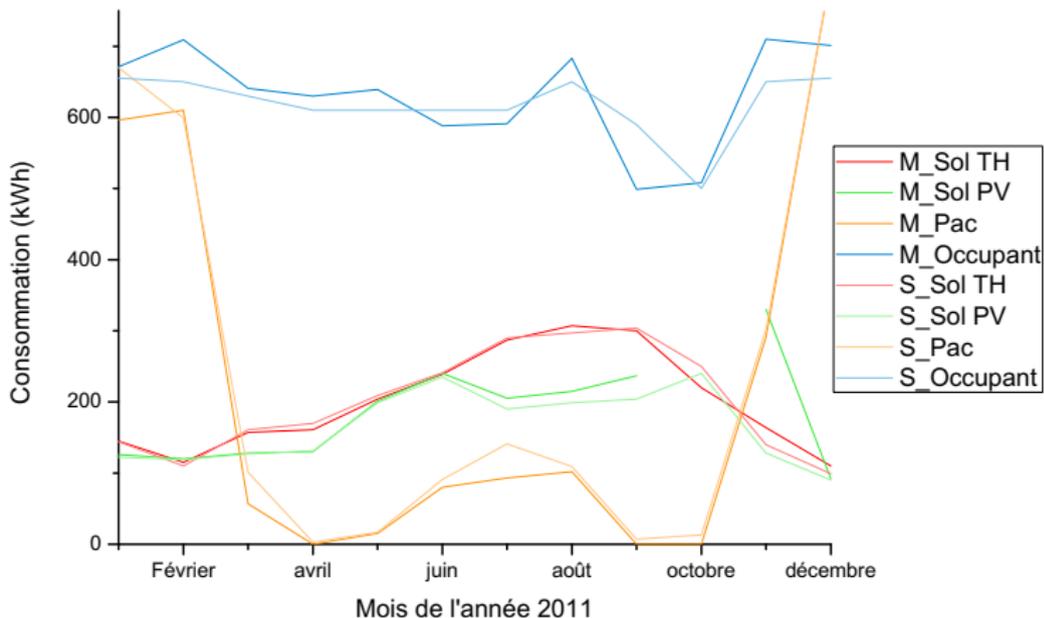


Résultats obtenus - Validation du modèle n°1

Caractéristiques du bâtiment

- Instrumentation : StarBox
 - PAC (9 kW_{th})
 - $Sol_{thermique}$ (1 m^2)
 - $Sol_{photovoltaïque}$ (800 W_c)
 - $Ener_{spécifique}$
- Volonté des occupants de réduire leurs consommations
- Une installation HVAC et ECS unique
 - Hybride solaire PAC et résistif
- Bâtiment efficace énergétiquement

Résultats obtenus - Validation du modèle n°1

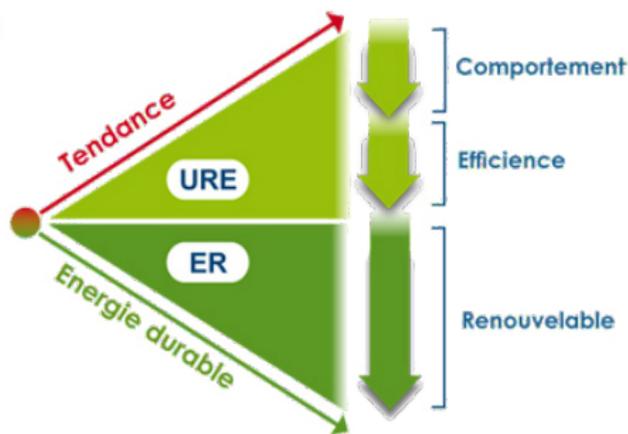
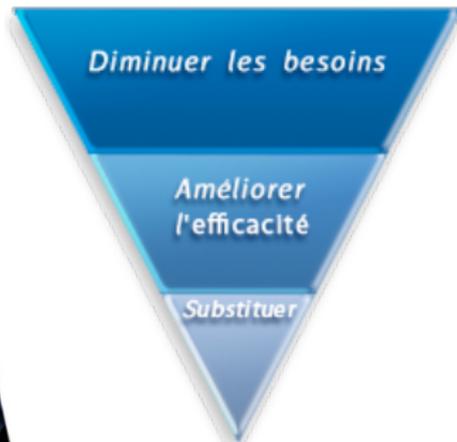


Consommations Mesurées (M) et Simulées (S)

Plan

- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 Modélisation de bâtiments
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

Les biais



Stockage énergétique

- Thermique $CAPA_{ECS}$ (I)
- Électrique $CAPA_{elec}$ (kWh)

Production thermique

- SOL_{TH} (kW_c)
- BIO_{BOIS} (kW_c)

Production électrique

- EOL (kW_c)
- SOL_{PV} (kW_c)

Le problème d'optimisation

Formulation

$$\min_{SOL_{TH}, SOL_{PV}, EOL, CAPA_{ECS}, BIO_{BOIS}} \quad (IER) \quad (5)$$

Cas particulier de l'ECS

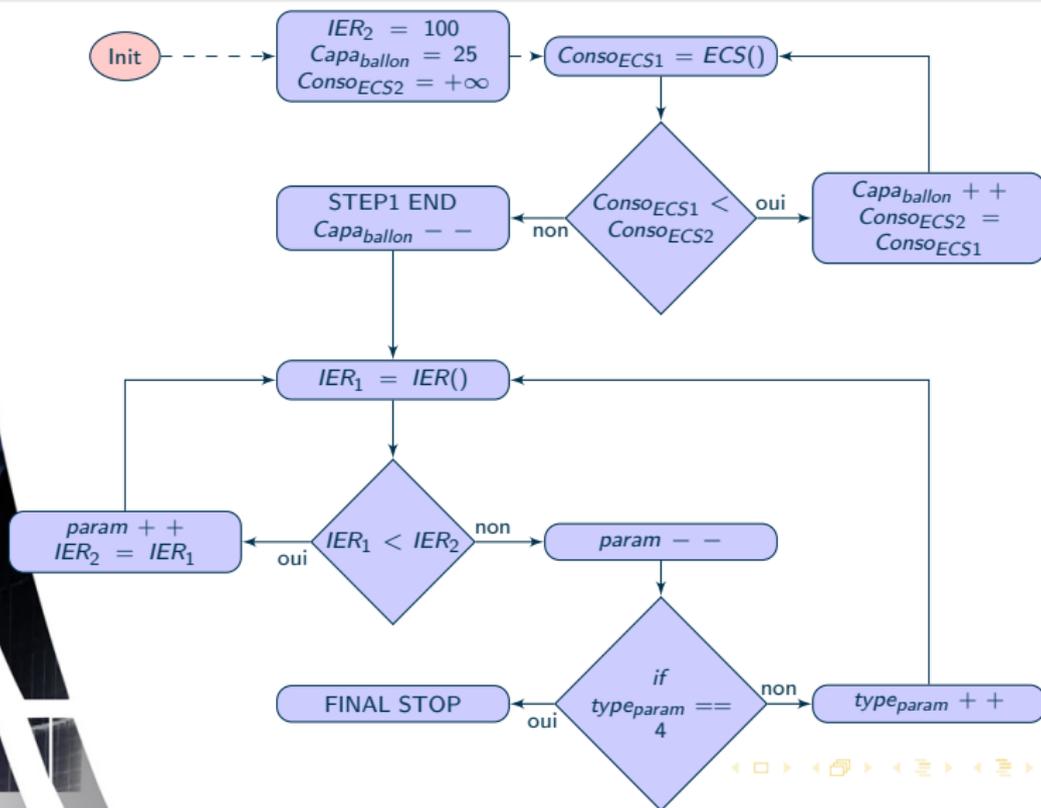
$$perte_{ECS} = \lambda * E * (2 * (\pi * r^2) + 2 * \pi * r * h) * (T_{eau} - T_{ambient}) \quad (6)$$

Les contraintes

	Habitat		Industriel tertiaire	
	min	max	min	max
SOL_{TH} (kW _c)	1	90 T ^a	2	T
SOL_{PV} (kW _c)	0,5	9 L ^b	1	12.10 ³ L
EOL (kW _c)	0,1	12	0,1	12.10 ³ L
BIO_{BOIS} (kW _c)	3	40 T	n.a. ^c	n.a.
$CAPA_{ECS}$ (I)	50	500 T	150	5.10 ³ T

^a T : dépend de la taille du bâtiment, ^b L : limite légale et ^c n.a. : non applicable

L'algorithme d'optimisation



Résultats à l'échelle locale - Le modèle n°5

Rappel des caractéristiques du bâtiment

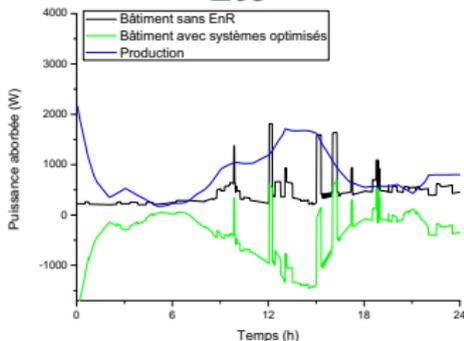
- Systèmes thermiques résistifs (HVAC, ECS...)
- Tout électrique
- 2 adultes & 2 enfants
- Maison 152 m² T5
- Ballon d'ECS solaire
- Piscine
- Isolation & fenêtres 1990
- IER : 32,1

Dimensionnement

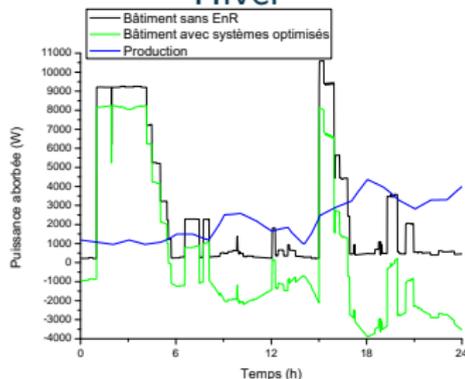
Système	Unité	min	max	Dimensionnement
<i>DIM_SOL_{TH}</i>	m ²	1	6	3
<i>DIM_SOL_{PV}</i>	kWc	0	12	1
<i>DIM_EOL</i>	kWc	0	12	6
<i>DIM_BIO_{BOIS}</i>	kWc	0	16	6
<i>DIM_CAPA_{ECS}</i>	l	0	500	400

Résultats à l'échelle locale - Le modèle n°5

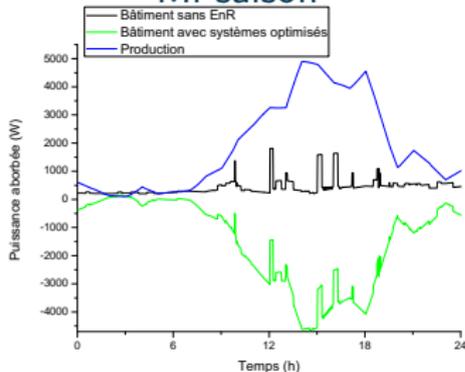
Été



Hiver



Mi-saison



$IER_{brut} = 32,1$ (E)
 $IER_{mini} = 19,7$ (D)
Diminution de 38 %

Résultats à l'échelle locale - Le modèle n°12

Rappel des caractéristiques du bâtiment

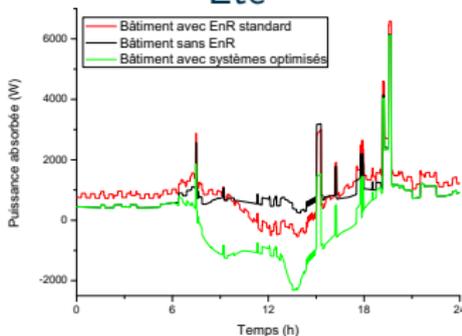
- Systèmes thermiques au fioul (HVAC et ECS)
- Pas de climatisation
- 2 adultes & 3 enfants
- Maison 150 m^2 T5
- Isolation & fenêtres 1970
- IER : 17,9

Dimensionnement

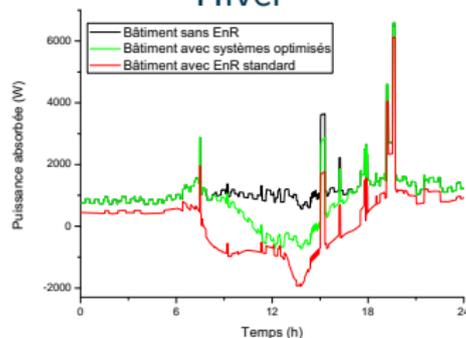
Système	Unité	min	max	Dimensionnement
DIM_SOL_{TH}	m^2	0	0	0
DIM_SOL_{PV}	kWc	1,2	6	3,5
DIM_EOL	kWc	0	3	2,2
DIM_BIO_{BOIS}	kWc	0	0	0
DIM_CAPA_{ECS}	l	50	50	50

Résultats à l'échelle locale - Le modèle n°12

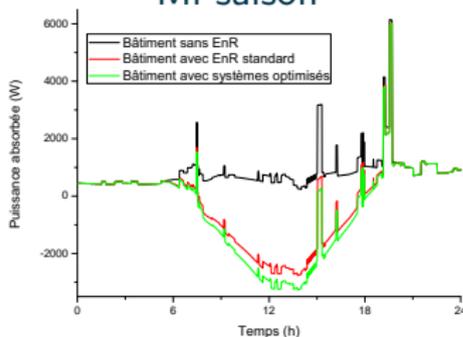
Été



Hiver



Mi-saison



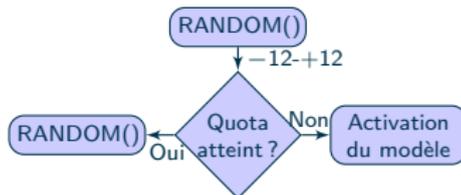
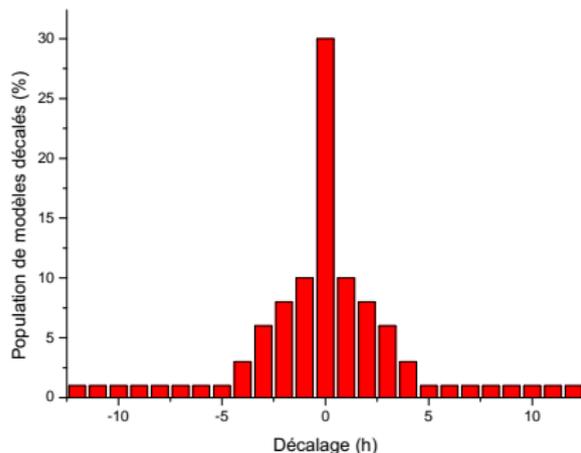
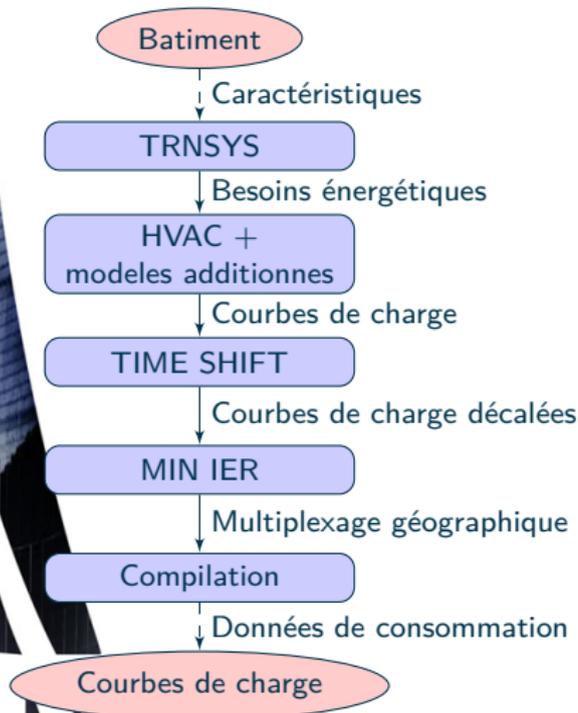
$IER_{brut} = 17,9$ (D)
 $IER_{mini} = 7,1$ (B)
Diminution de 60 %

Résultats à l'échelle locale - Synthèse

Conséquences du dimensionnement des systèmes

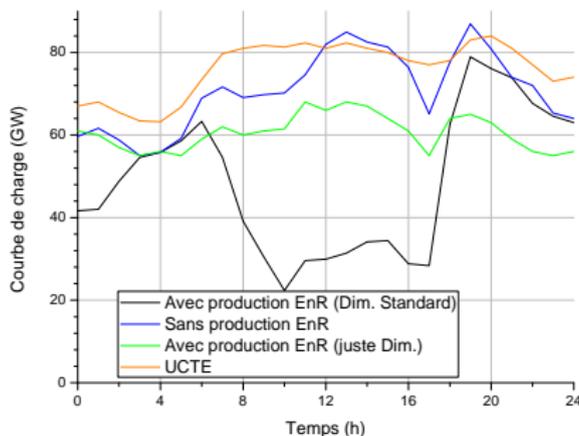
- Diminution de l'IER
- Augmentation de la part d'énergie auto-consommée
- Diminution des volumes d'énergie appelés
- Diminution des volumes d'énergie injectés comparativement à un dimensionnement standard
- Introduction sans excès des énergies renouvelables

Agrégation des résultats - Méthodologie



Algorithme de décalage

Agrégation des résultats



Impact du dimensionnement des systèmes à l'échelle du réseau électrique

- Effacement de la demande amoindri : permet de réduire les marges de puissance nécessaires au maintien de la fréquence
- Diminution des risques de black-out en cas de perte brutale de la ressource EnR
- Diminution des volumes d'énergie injectés

Plan

- 1 Contexte et problématique
- 2 Impact Énergétique Réseau (IER)
- 3 Modélisation de bâtiments
 - Modélisation TRNSYS
 - Les modèles complémentaires
- 4 Dimensionnement et minimisation de l'IER
- 5 Conclusion et perspectives

Conclusion

Objectif : proposer une méthodologie pour le juste dimensionnement des systèmes de production et de stockage d'énergie renouvelable intégrés au bâtiment

- Création d'un indicateur d'impact énergétique réseau : l'IER
 - Paramétrable
 - Prise en compte des spécificités des bâtiments et du réseau
- Développement d'une base de données de bâtiments
 - Modélisation des besoins énergétiques
 - TRNSYS et modèles complémentaires flous
- Observation des gisements d'EnR disponibles *in situ*
 - Sources : TRNSYS et stations météo des sites d'Odeillo et de l'UPVD
- Juste dimensionnement des systèmes de production et de stockage
 - Minimisation de l'IER
- Agrégation des modèles et création d'un réseau électrique virtuel
 - Impact du dimensionnement à l'échelle d'un réseau

Perspectives (1/2)

- L'isolation des bâtiments, vecteur d'économie d'énergie
 - Optimiser les caractéristiques de l'isolation
 - Appréhender l'effet de cette optimisation sur la courbe de charge nationale

- Instrumentation des bâtiments
 - Accroître la finesse des relevés énergétiques
 - Améliorer la modélisation du comportement des occupants

- Introduction de nouveaux outils de modélisation comportementale
 - Recourir à des outils de modélisation par entraînement
 - Exploiter la faculté de ces outils à généraliser

Perspectives (2/2)

- Améliorations possibles des modèles
 - Améliorer l'estimation des besoins en éclairage artificiel
 - Affiner la stratégie de gestion des volets et des ouvertures
- Quantifier l'impact de l'introduction de la voiture électrique
- Etendre l'étude à l'échelle d'un quartier
 - Couplage des ressources

Publications et communications (1/2)



SALVADOR, M. et GRIEU, S.

Methodology for the design of energy production and storage systems in buildings : Minimization of the energy impact on the electricity grid, Energy and Buildings, Vol. 47, pages 659-673, 2012.



SALVADOR, M. et GRIEU, S.

Evaluation and minimization of the energy impact of typical european buildings on the electricity grid : a simulation case study, Building Simulation 2011, Sydney, Australie, 14-16 novembre 2011.



PARIS, B., EYNARD, J., SALVADOR, M. et GRIEU, S.

Fuzzy logic as a useful tool for managing resources in multi-energy buildings, EUSFLAT / LFA 2011, Aix-les-Bains, France, 18-22 juillet 2011.

Publications et communications (2/2)



SALVADOR, M., PARIS, B. et GRIEU, S.

Dimensionnement des systèmes de production d'électricité et de stockage pour la minimisation de l'impact énergétique de bâtiments, JD-JN-MACS 2011, Marseille, France, 9-10 juin 2011.



SALVADOR, M., PARIS, B. et GRIEU, S.

Dimensionnement optimal d'une masse thermique pour la réduction des pics de consommation énergétique : influence géo-climatique, SFT 2011, Perpignan, France, 24-27 mai 2011.



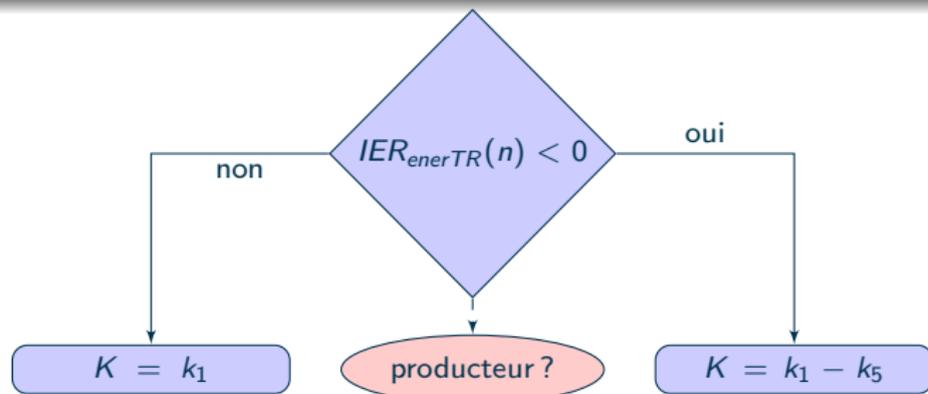
SALVADOR, M., GRIEU, S. et POLIT, M.

Évaluation de l'impact énergétique d'un bâtiment prenant en compte son interaction avec le réseau électrique, IBPSA France 2010, Moret-sur-Loing, France, 9-10 novembre 2010.

Merci pour votre attention

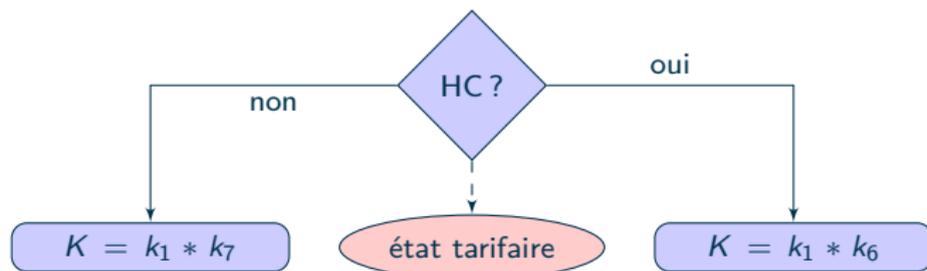
Michaël Salvador
salvmike@gmail.com

IER - Les options : favoriser l'injection réseau



k_5	Diminution de l'IER	Effet
$0 * k_1$	Nulle	Calcul classique de l'IER
$0, 2 * k_1$	Négligeable	Dépénalisation légère de l'injection réseau
$0, 3 * k_1$	Intéressante	Favorise sans excès les sources d'EnR
$0, 5 * k_1$	Idéale	Bât. énergie positive possible
$0, 7 * k_1$	Intéressante	Bât. énergie positive souvent possible
$0, 8 * k_1$	Importante	Bât. systématiquement à énergie positive
$1 * k_1$	Significative	Déploiement des ENR excessif

IER - Les options : option tarifaire 1 (HP/HC)

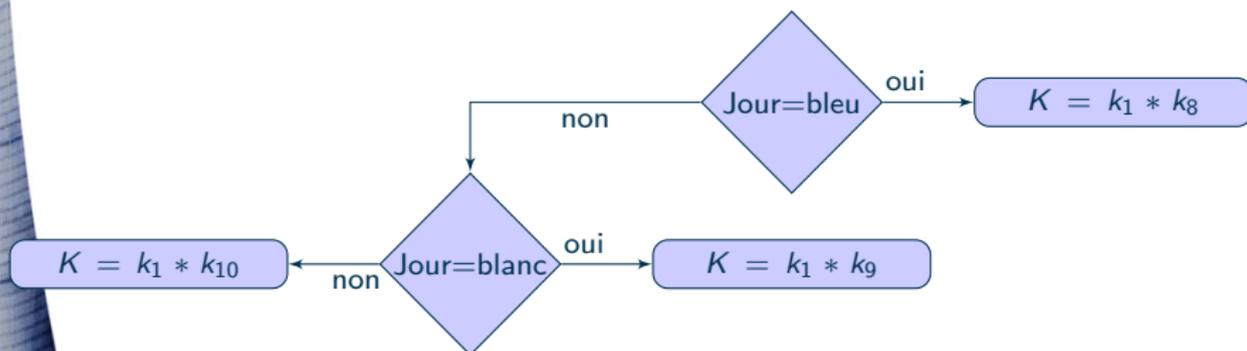


k_6	k_7		Commentaire
0,9-0,99	1,01-1,1	■	Valeurs idéale, l'IER est impacté par les HP/HC
0,8-0,89	1,11-1,2	■	Fort impact sur l'IER
0,7-0,79	1,21-1,3	■	L'IER ne tient plus compte que de la cohérence HP/HC

Exemple de valeurs

0,95	1,05		Impact sur l'IER mesuré mais juste
0,9	1,1		Une cohérence HP/HC est nécessaire pour un bon IER
0,95	1,2		Résultat intéressant avec pénalisation privilégiée sur les HP

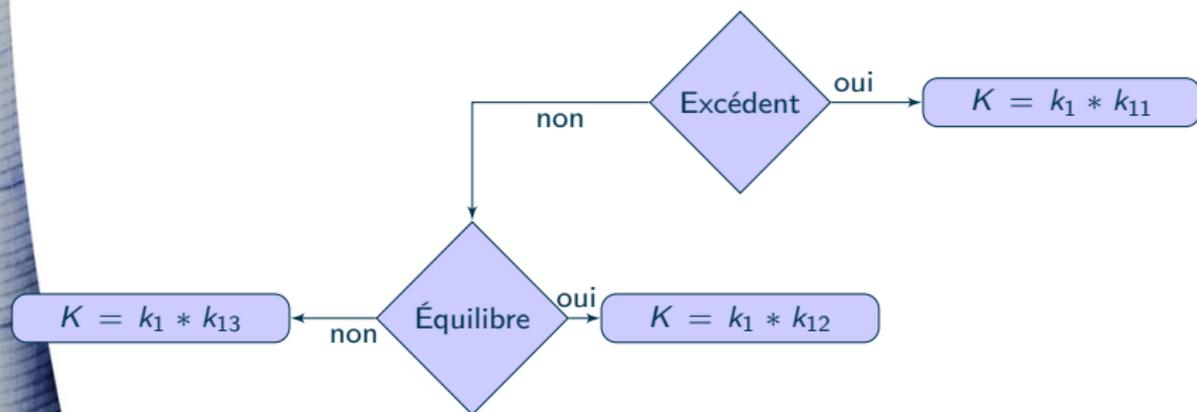
IER - Les options : option tarifaire 2 (ex :TEMPO)



Exemple de valeurs basées sur l'observation des tarifs pratiqués

- $k_{10} = 3,$
- $k_9 = 1,5,$
- $k_8 = 1.$

IER - Les options : la charge réseau



Exemple de valeurs basées sur le prix du kWh_e sur le marché ENTSO-E

- $k_{11} = 0,5$,
- $k_{12} = 1$,
- $k_{13} = 3$.