



# LA MICRO COGENERATION A L'INSA DE STRASBOURG

**BOUVENOT Jean-Baptiste**

**FLAMENT Bernard**  
**LATOIR Benjamin**  
**SIROUX Monica**





## L'équipe

- 1 professeur
- 5 Maîtres de conférence
- 3 doctorants



## Les moyens

- 1 plateforme technique : Climatherm



## Les activités de recherche

- Energétique des systèmes
- Thermique du bâtiment
- Les transferts thermiques



## Contexte énergétique

- Le prix des énergies
- Evolution du ratio e/c



## Micro cogénération gaz à moteur Stirling

- Machine
- Modèle numérique
- Essais
- Plate forme d'optimisation



## Micro cogénération biomasse à cycle de Rankine

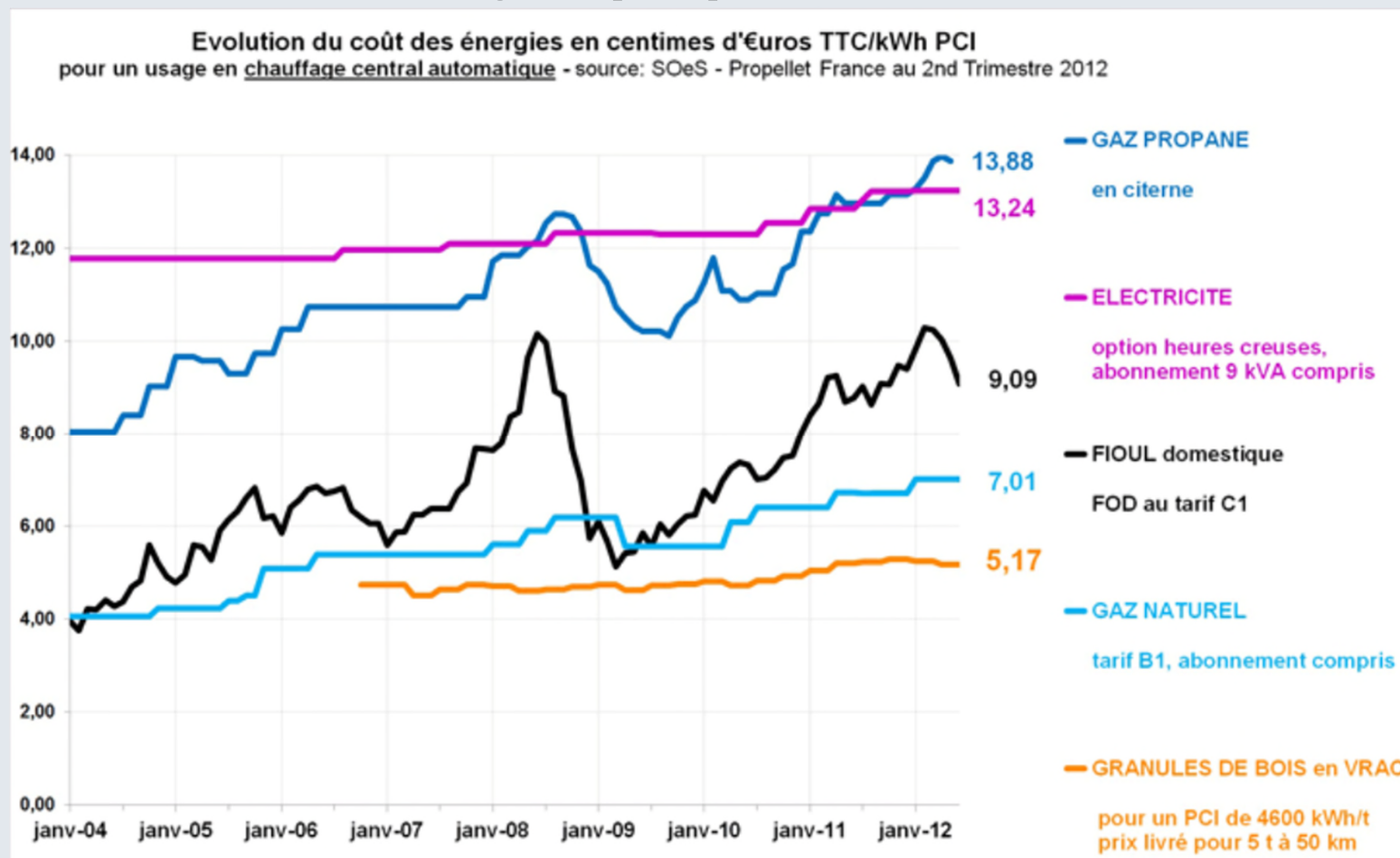
- Intérêt de la biomasse
- Marché
- Le BISON d'Exoes
- Modèle numérique



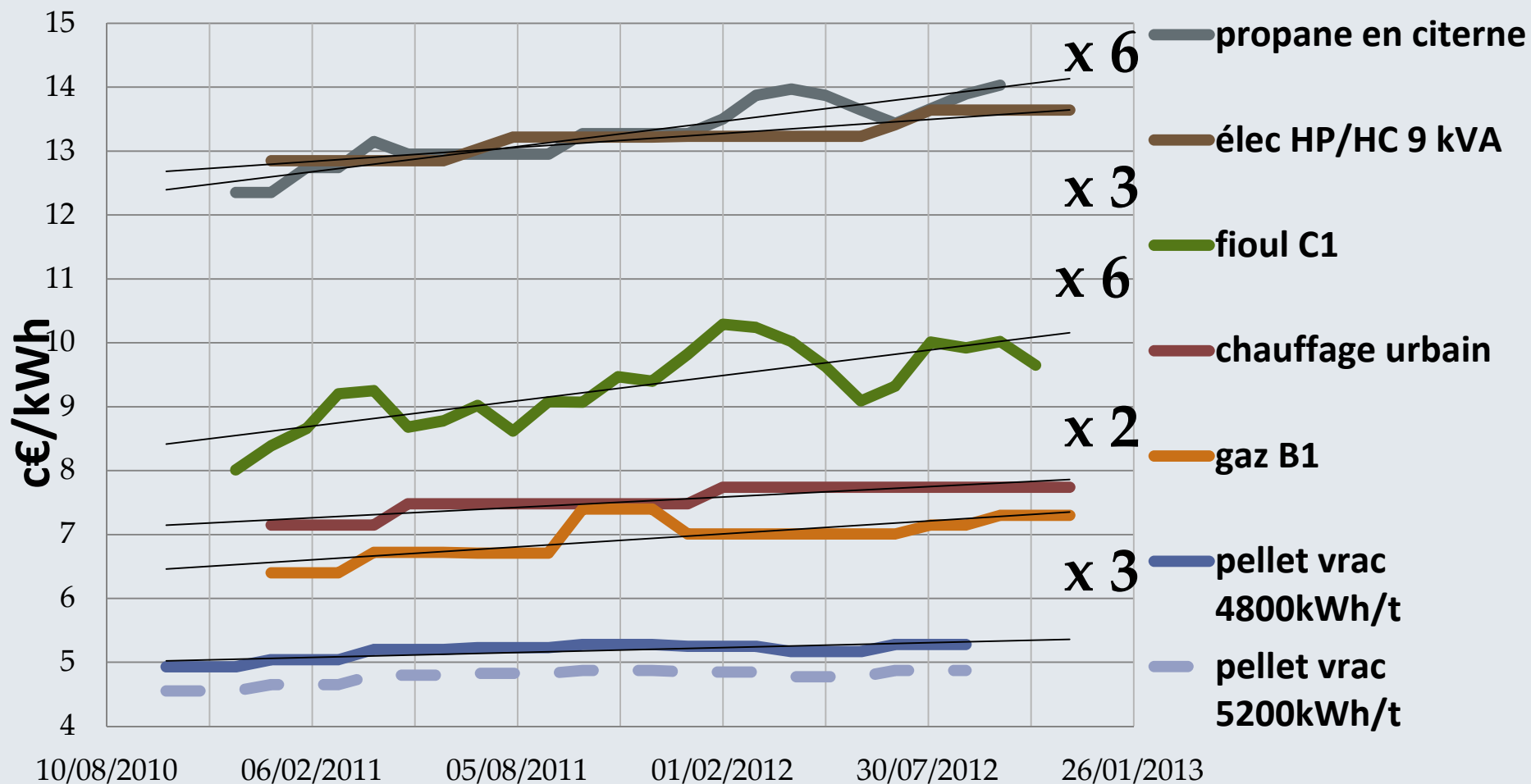
## Perspectives

- Micro cogénération gaz
- Micro cogénération biomasse

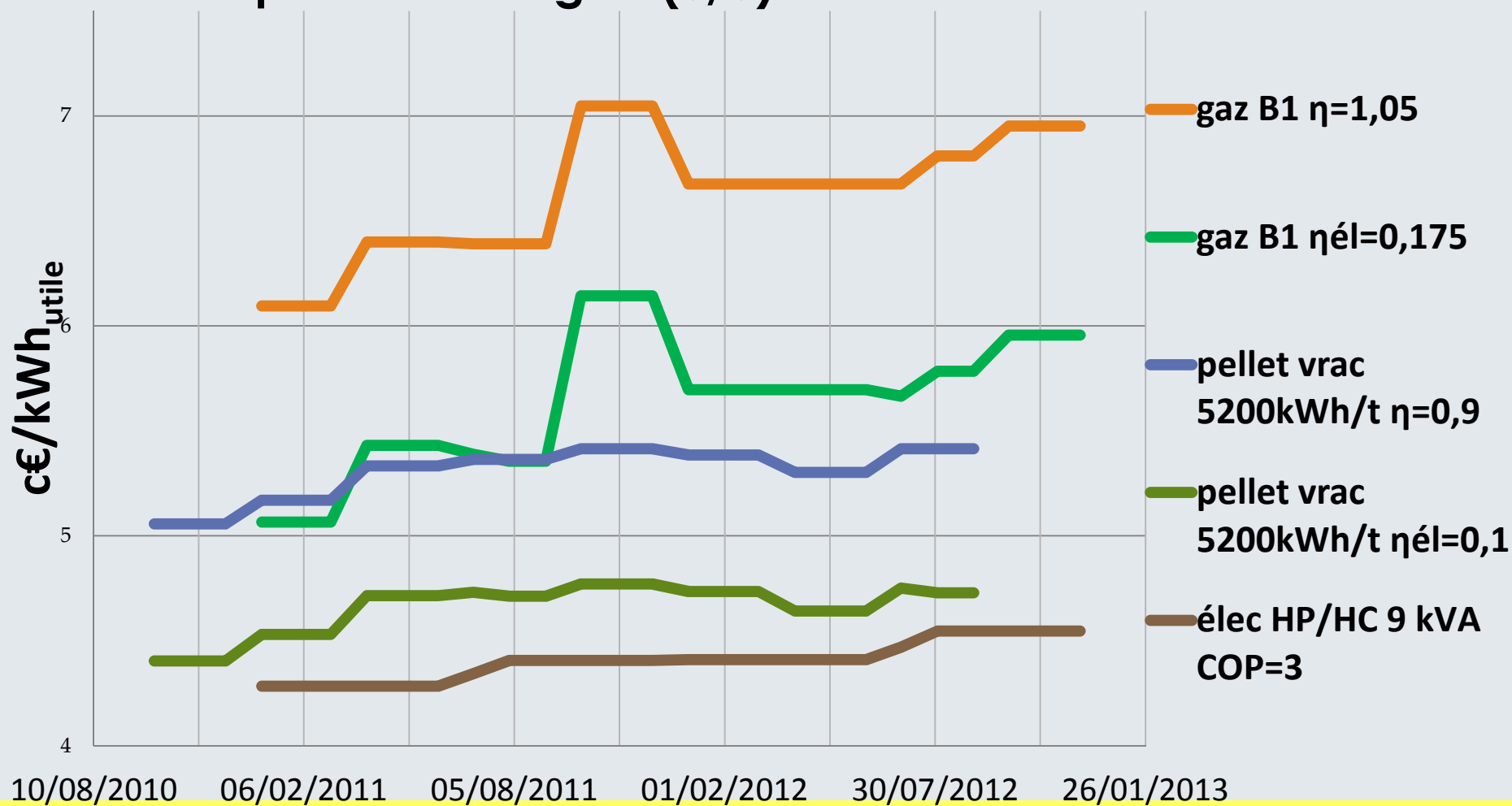
## ❑ Le prix des énergies (1/3)



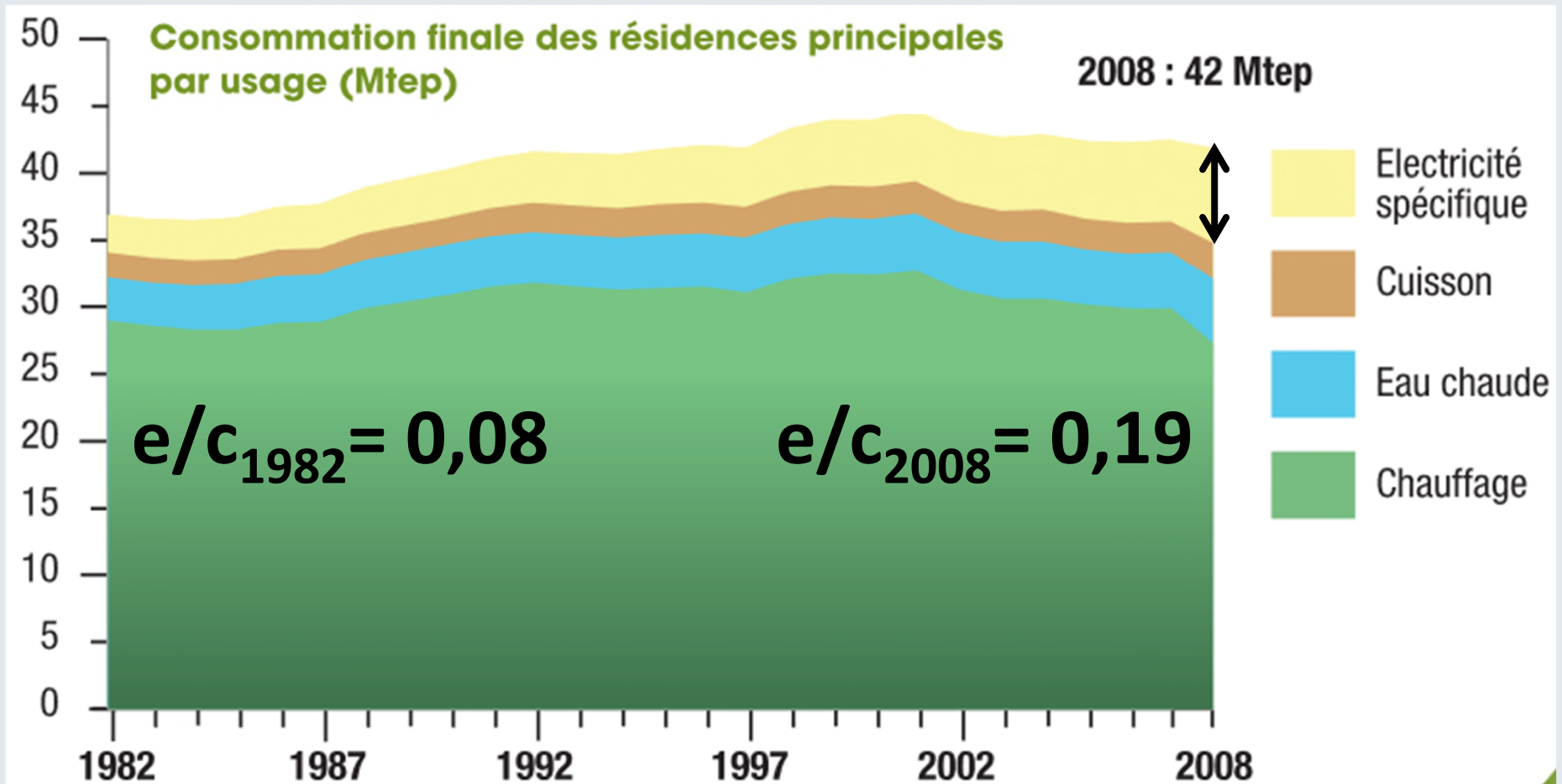
## Le prix des énergies (2/3)



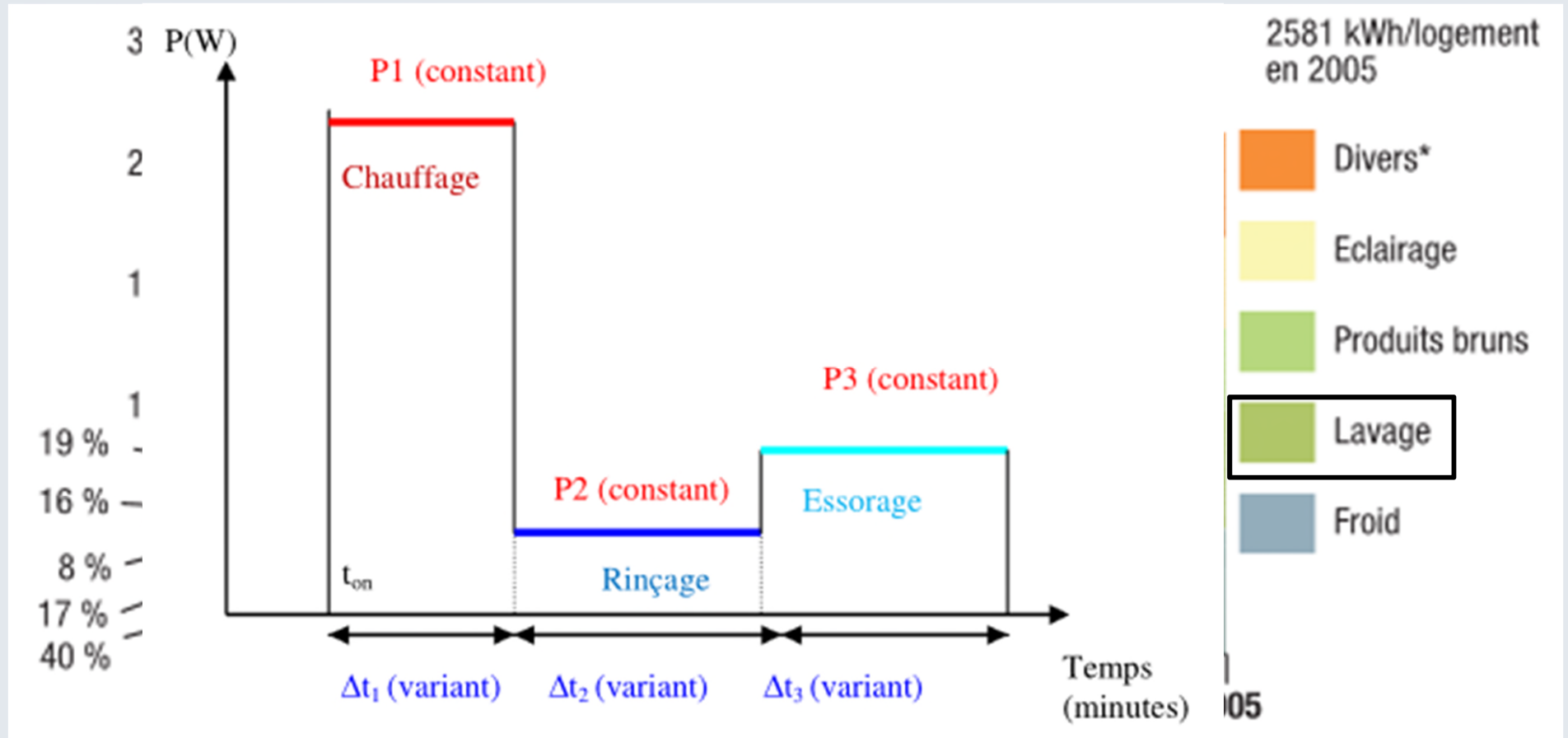
## Le prix des énergies (3/3)



## □ Evolution du ratio e/c (1/3)



## □ Evolution du ratio e/c (2/3)





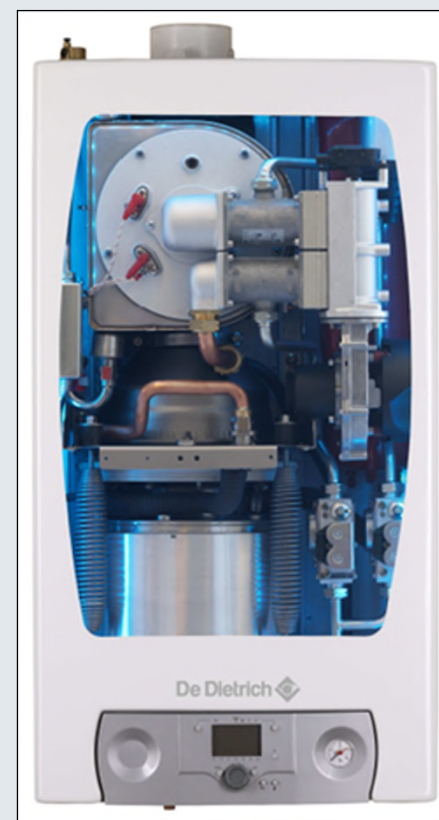
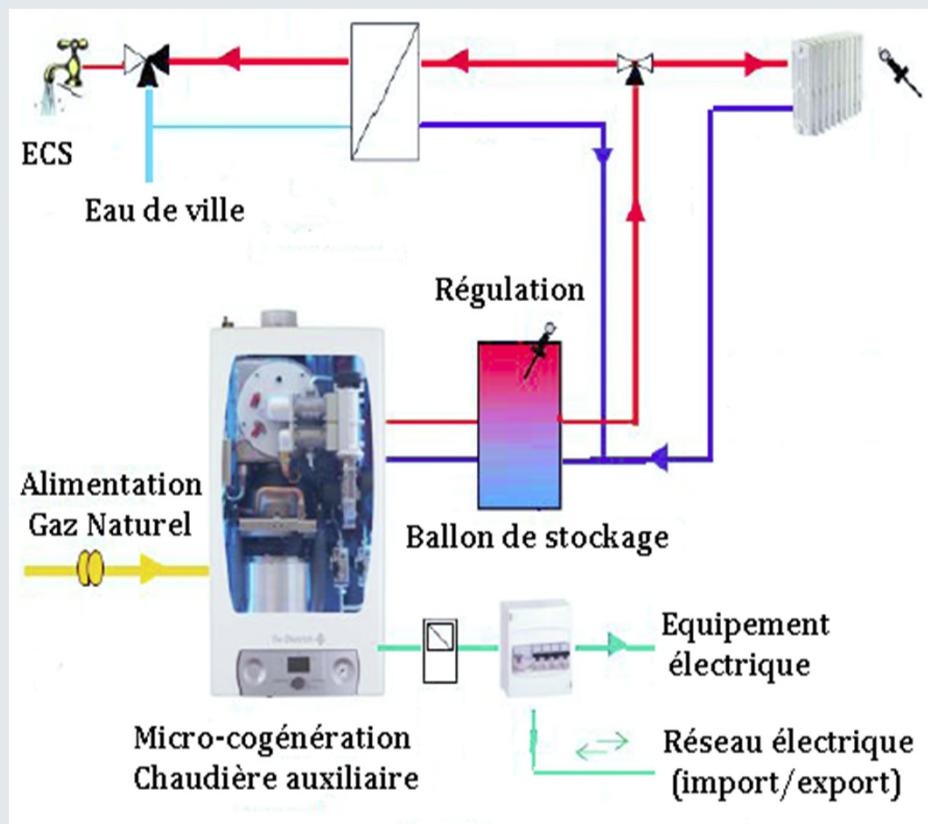
## □ Evolution du ratio e/c (3/3)

Pour un logement de 100 m<sup>2</sup>, pour 4 personnes.

kWh/m <sup>2</sup> .an	ECS + lavage	chauffage	électricité	e/c
ancien	25 + 5	100	25 - 5	0,15
rénovation	25 + 5	50	25 - 5	0,25
BBC	25 + 5	15	25 - 5	0,45

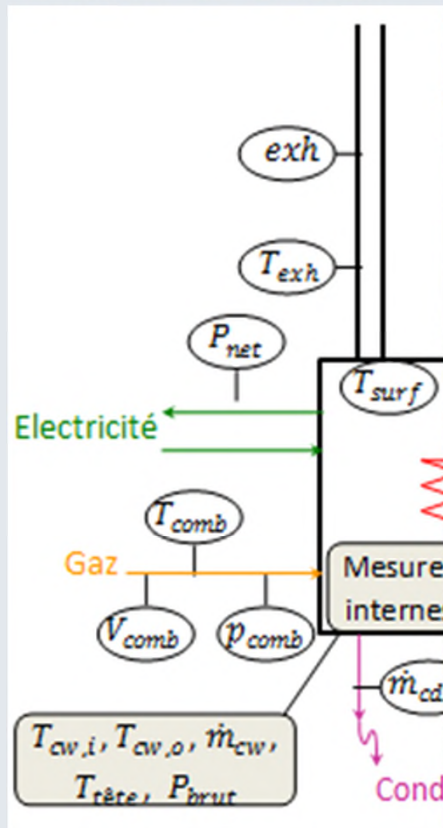
## □ Machine (1/2)

### Modèle pré série *Hybris Power* de De Dietrich/Remeha

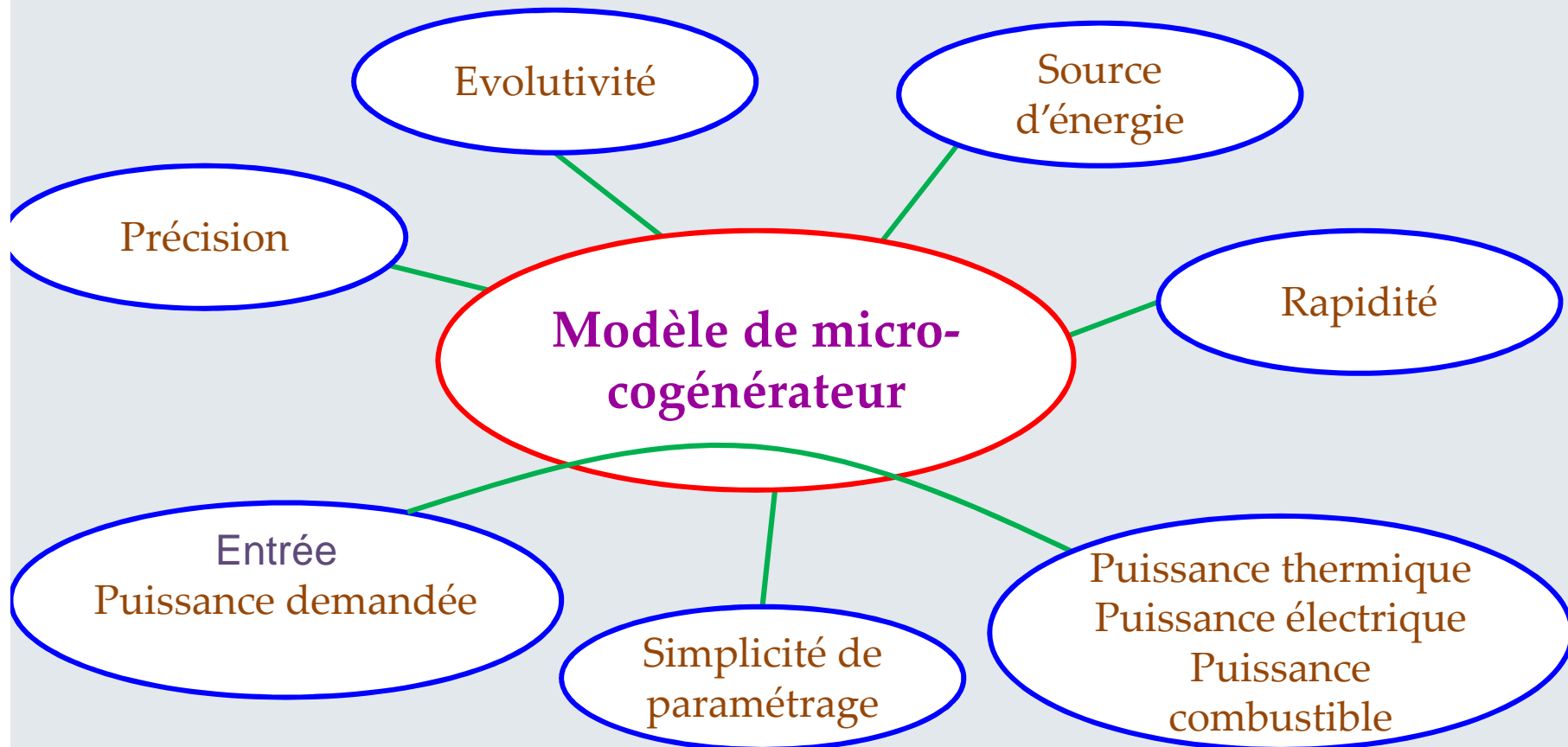


## □ Machine (2/2)

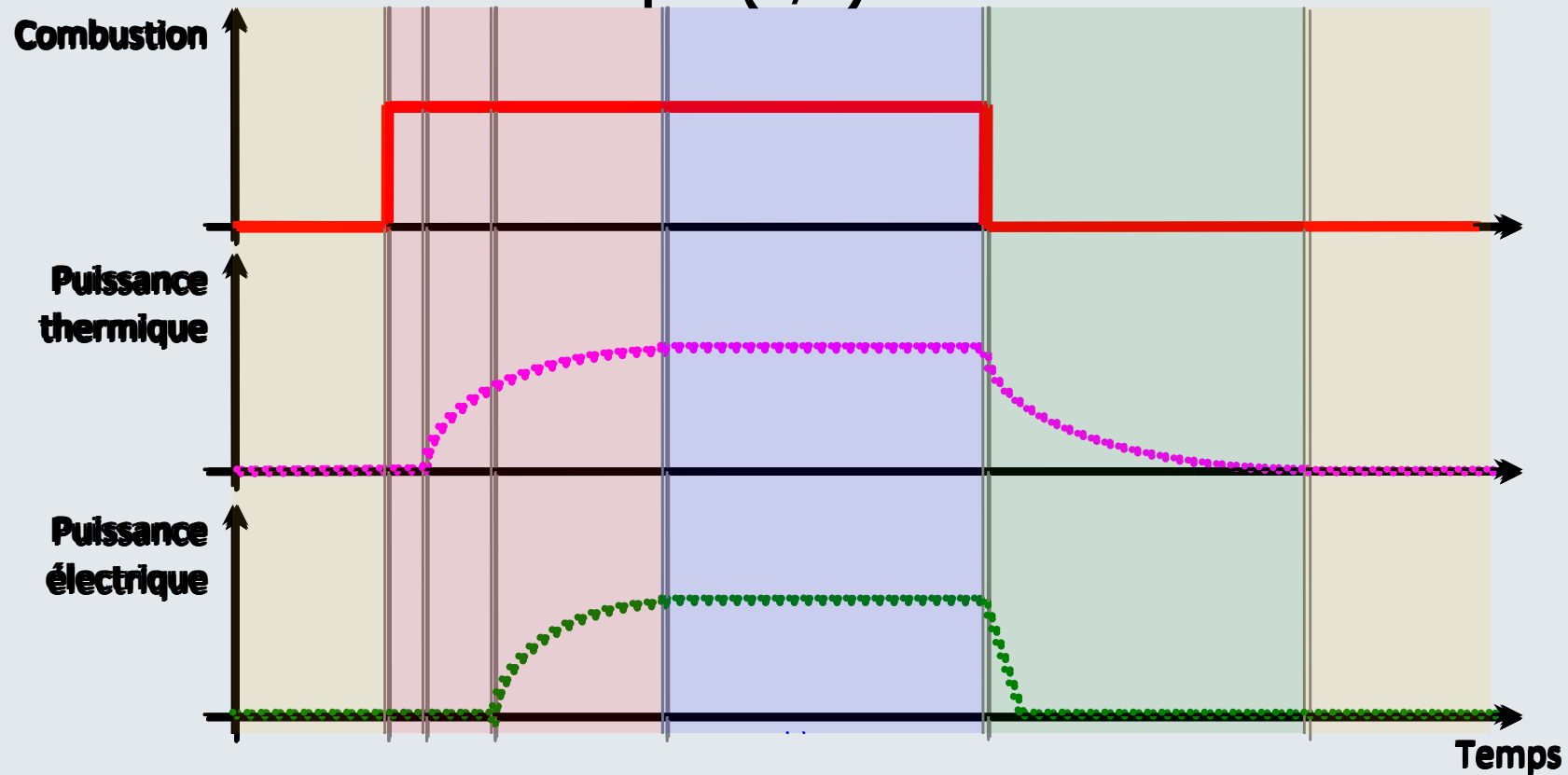
### Banc d'essai



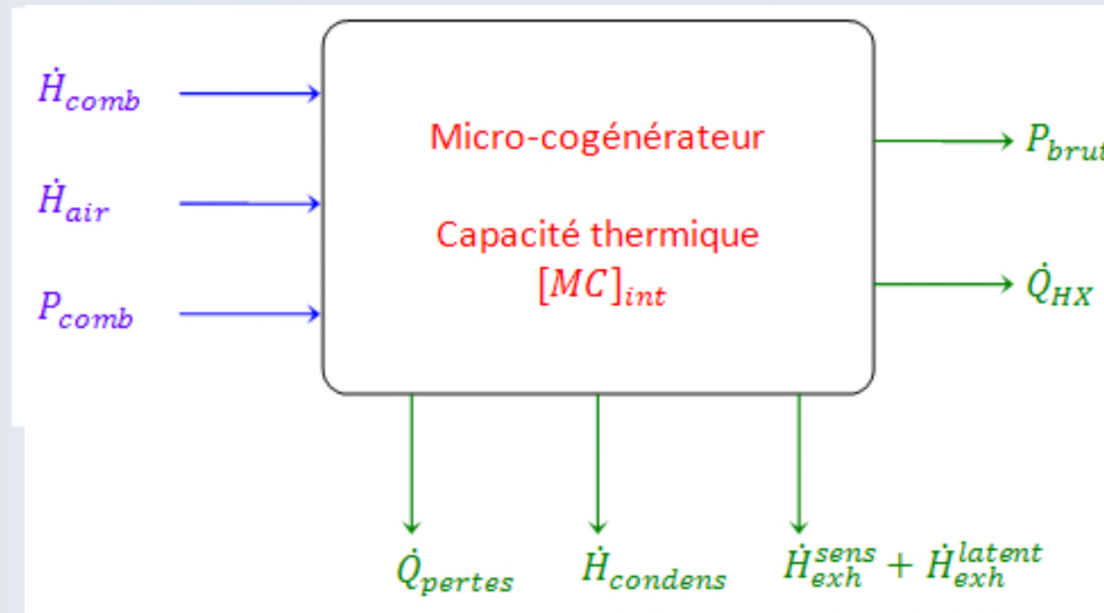
## □ Modèle numérique (1/8)



## □ Modèle numérique (2/8)

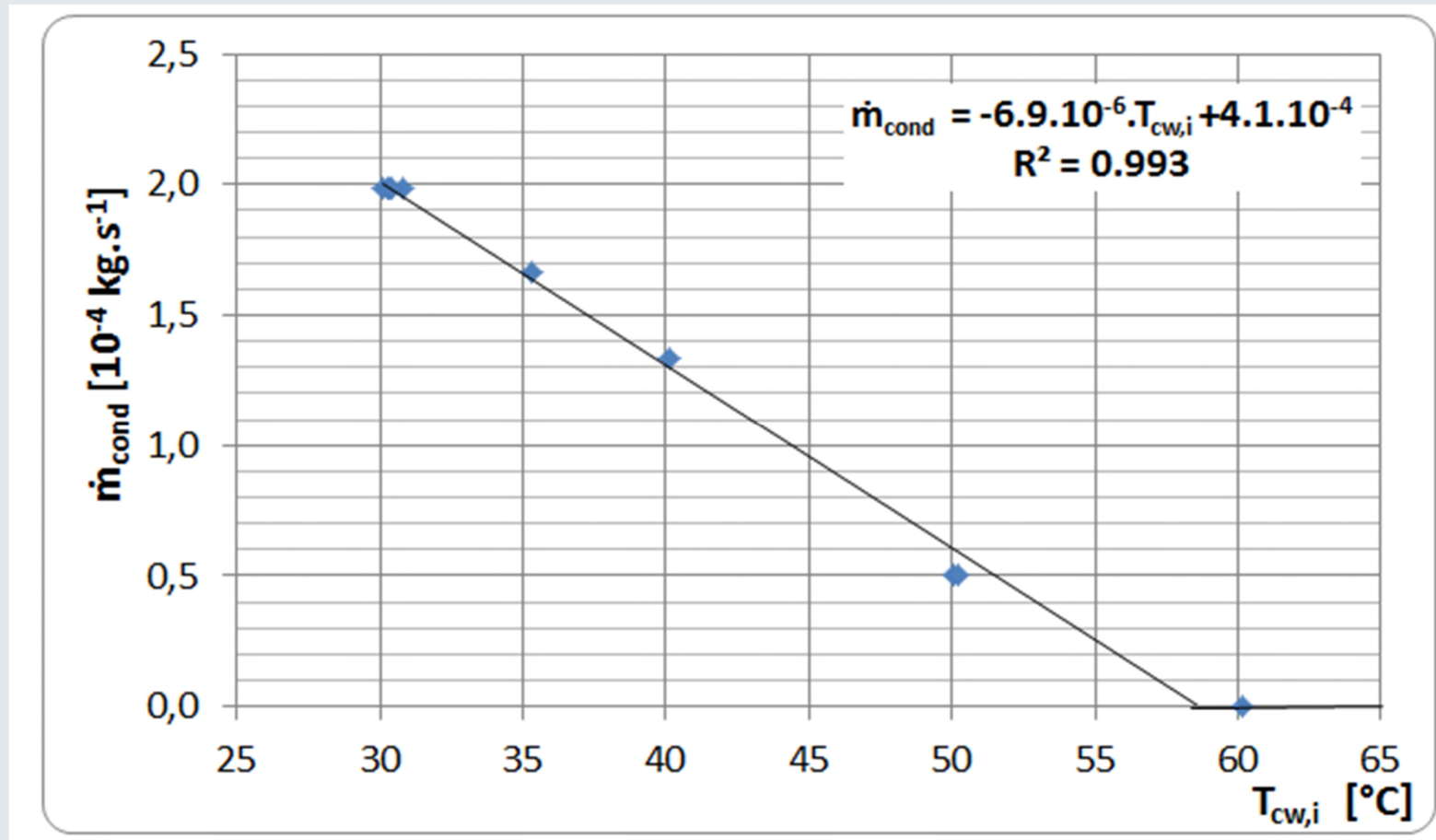


## □ Modèle numérique (3/8)

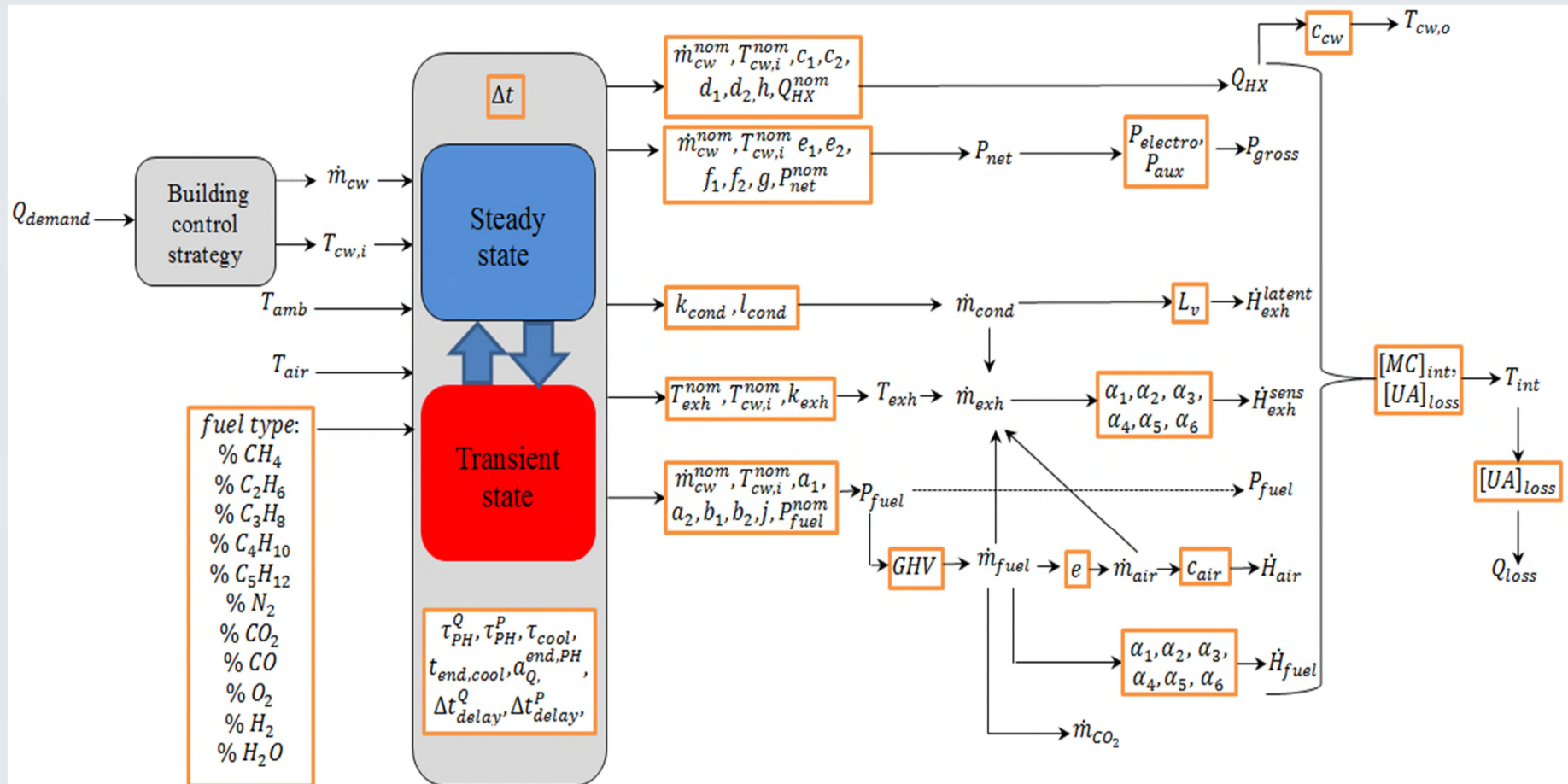


$$\underbrace{[MC]_{int} \frac{dT_{int}}{dt}}_{\text{Terme d'accumulation}} = \underbrace{\dot{H}_{comb} + \dot{H}_{air} + P_{comb}}_{\text{Flux entrants}} - \underbrace{\left( P_{brut} + \dot{Q}_{HX} + \dot{Q}_{pertes} + \dot{H}_{exh}^{sens} + \dot{H}_{exh}^{latent} + \dot{H}_{condens} \right)}_{\text{Flux sortants}}$$

## □ Modèle numérique (4/8)

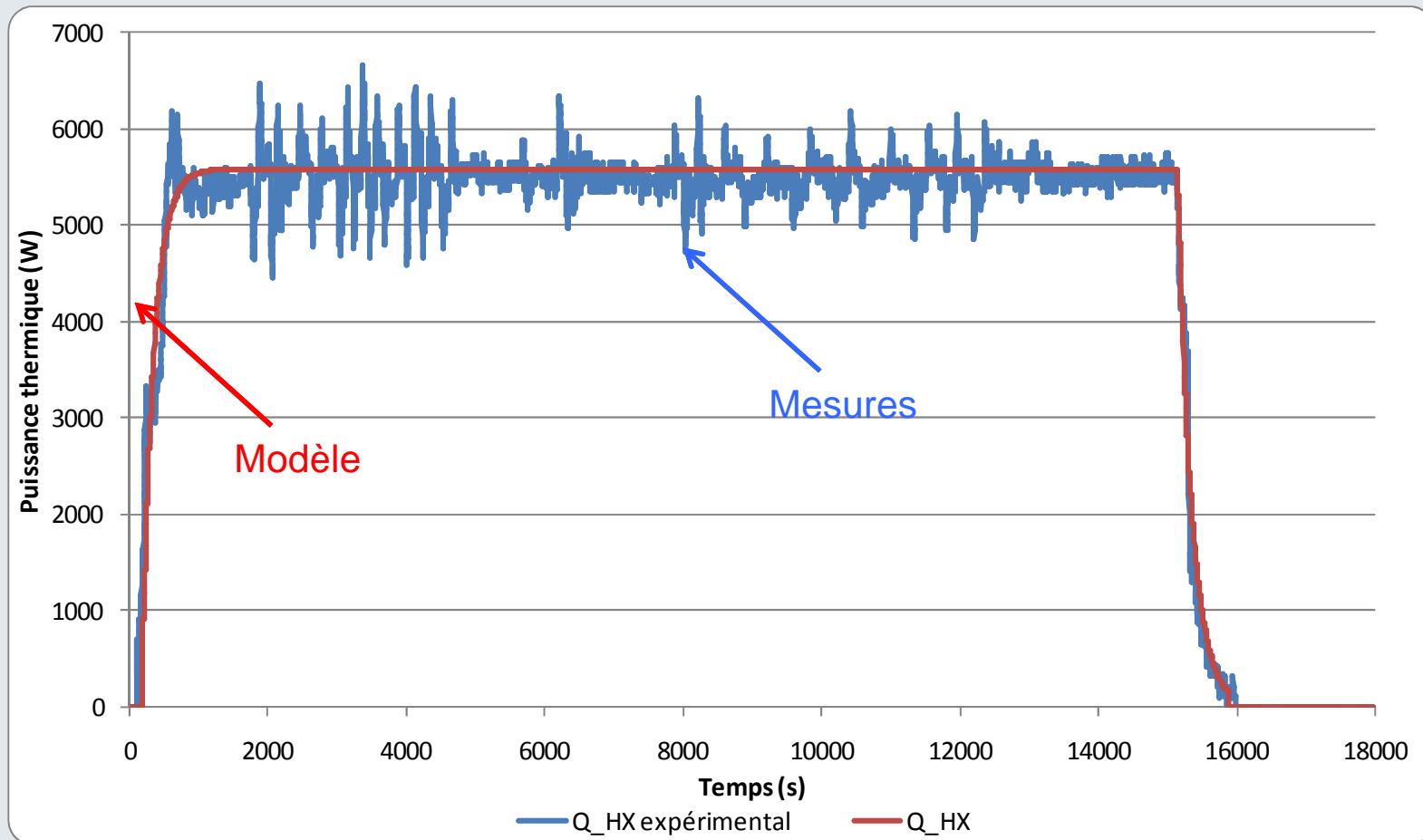


## □ Modèle numérique (5/8)



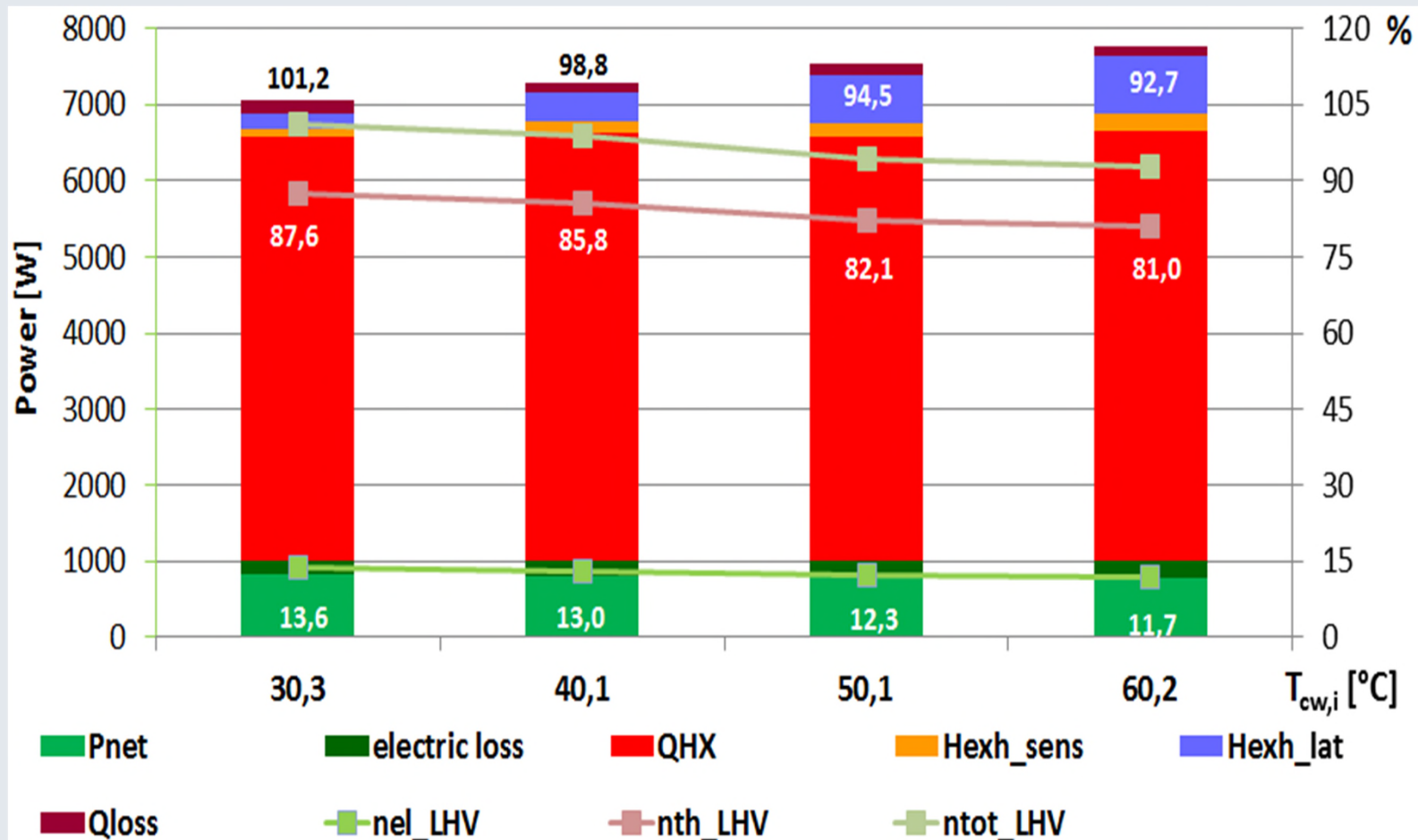


## □ Modèle numérique (6/8)

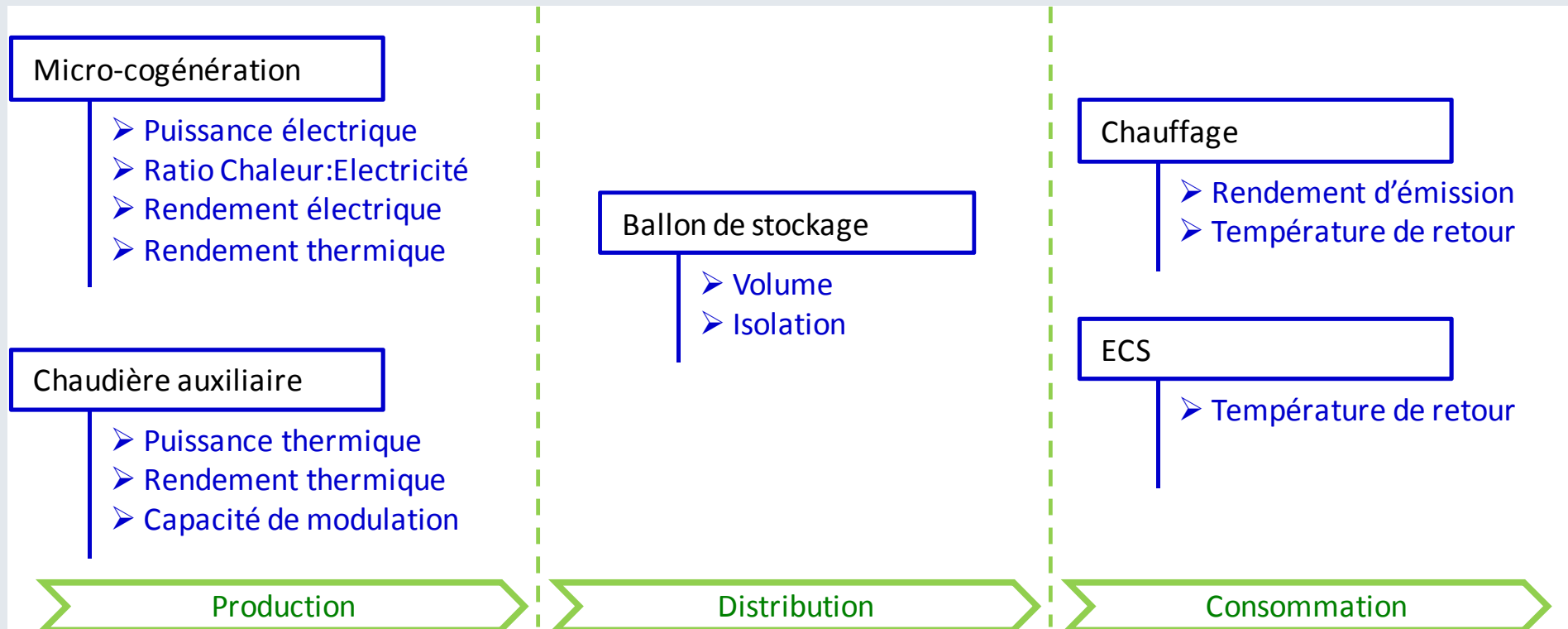




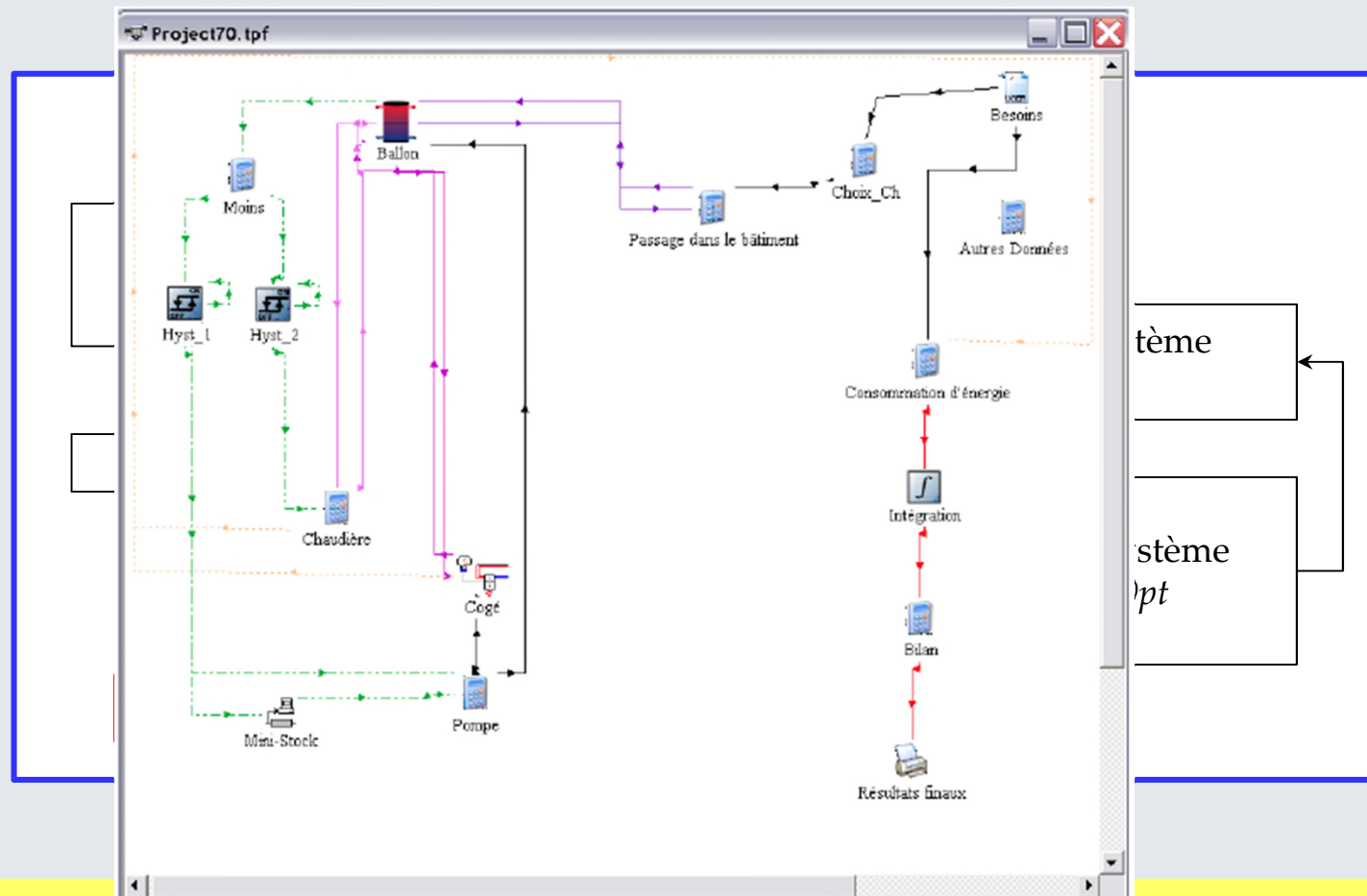
## □ Modèle numérique (8/8)



## □ Plateforme d'optimisation (1/3)



## □ Plateforme d'optimisation (2/3)

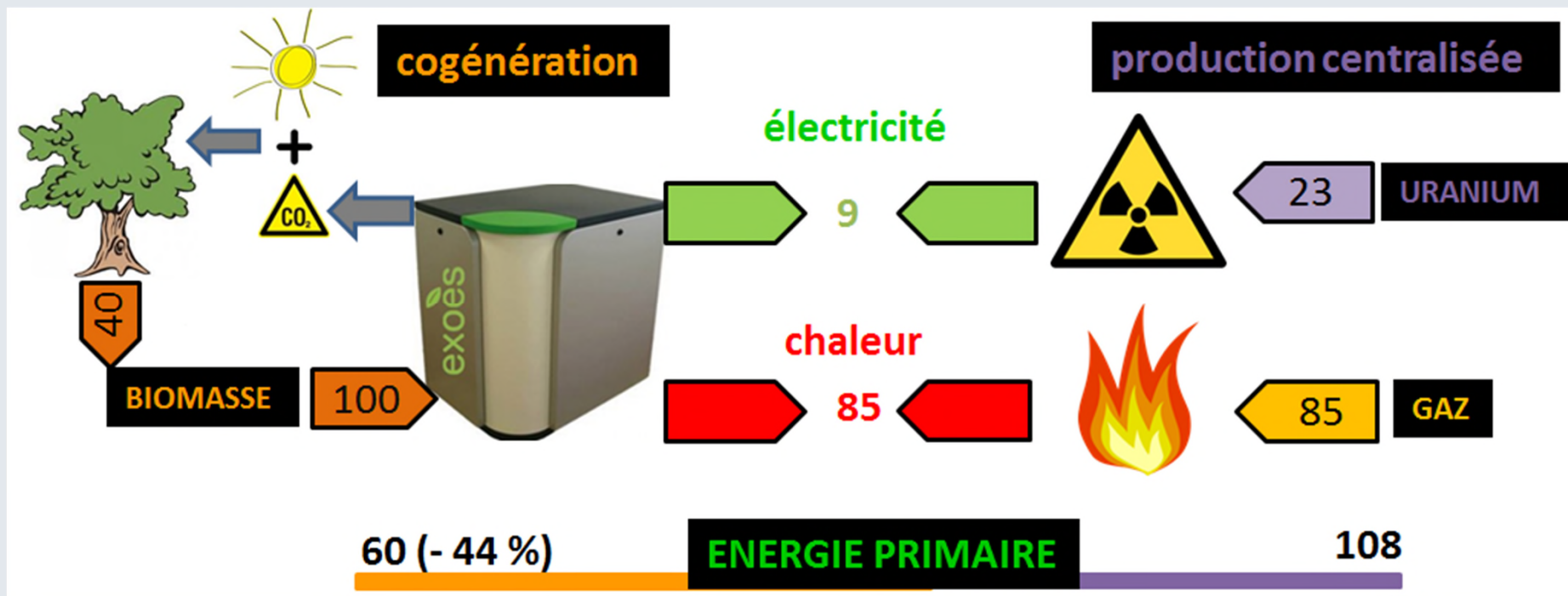


## □ Plateforme d'optimisation (3/3)

Paramètre	Valeur initiale	Borne minimale	Borne maximale	Valeur après optimisation
Volume du ballon [L]	300	180	1000	181.3
Puissance de la chaudière auxiliaire [kW]	19000	5000	45000	18435

	Coût d'exploitation annuel	Emissions CO <sub>2</sub> annuelles	Energie primaire annuelle	Coût global (15 ans)	Durée de fonctionnement annuelle	Nombre de démarrages annuels
	[€]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[kWh <sub>EP</sub> ]	[€]	[h]	[-]
Base	761	4 310	16 329	19 529	2 870	2 870
Optimisée	685	3 885	14 743	18 435	2 537	4 579

## □ Intérêt de la biomasse (1/2)





## □ Intérêt de la biomasse (2/2)

contenu CO <sub>2</sub>	Granulés de bois	électricité	gaz
g <sub>CO2</sub> ·kWh <sub>utile</sub> <sup>-1</sup>	33	180	222

Le rendement électrique est faible, mais :

- Disponibilité et proximité du combustible
- Abondance (potentiel important non exploité)
- Renouvelabilité (si exploitation durable des forêts)
- Production électrique renouvelable **non intermittente**
- Bilan CO<sub>2</sub>





## □ Marché(1/5)

Moteur Stirling

$$P_{\text{élec}} = 1,5 \text{ kW}$$

$$P_{\text{th}} = 5,5 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{él}} = 15 \%$$

$$\eta_{\text{th}} = 55 \%$$

$$\eta_{\text{g}} = 70 \%$$

$$e/c = 0,27$$

## La SUN MACHINE





## □ Marché(2/5)

## Le BISON

Cycle de Rankine  
Moteur linéaire à vapeur

$$P_{\text{élec}} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_{\text{th}} = 16 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{él}} = 8 \%$$

$$\eta_{\text{th}} = 82 \%$$

$$\eta_{\text{g}} = 90 \%$$

$$e/c = 0,1$$





## □ Marché(3/5)

## La PELLEMATIC smart e

Moteur Stirling

$$P_{\text{elec}} = 1,1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{th}} = 15,8 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{él}} = 7 \%$$

$$\eta_{\text{th}} = 95 \%$$

$$\eta_{\text{g}} = 102 \%$$

$$e/c = 0,07$$



## □ Marché(4/5)

## Le ENEFCOGEN plus

ORC

Turbine Scroll

$P_{\text{élec}} = 5 \text{ kW}$

$P_{\text{th}} = 33 \text{ kW}$

$\eta_{\text{él}} = 15 \%$

$\eta_{\text{th}} = 80 \%$

$\eta_{\text{g}} = 95 \%$

$e/c = 0,15$





## □ Marché(5/5)

## NOVOTEK

ORC

Turbine Scroll

$P_{\text{elec}} = ? \text{ kW}$

$P_{\text{th}} = 12 \text{ kW}$

Modulation 40-100%

$\eta_{\text{el}} = ? \%$

$\eta_{\text{th}} = ? \%$

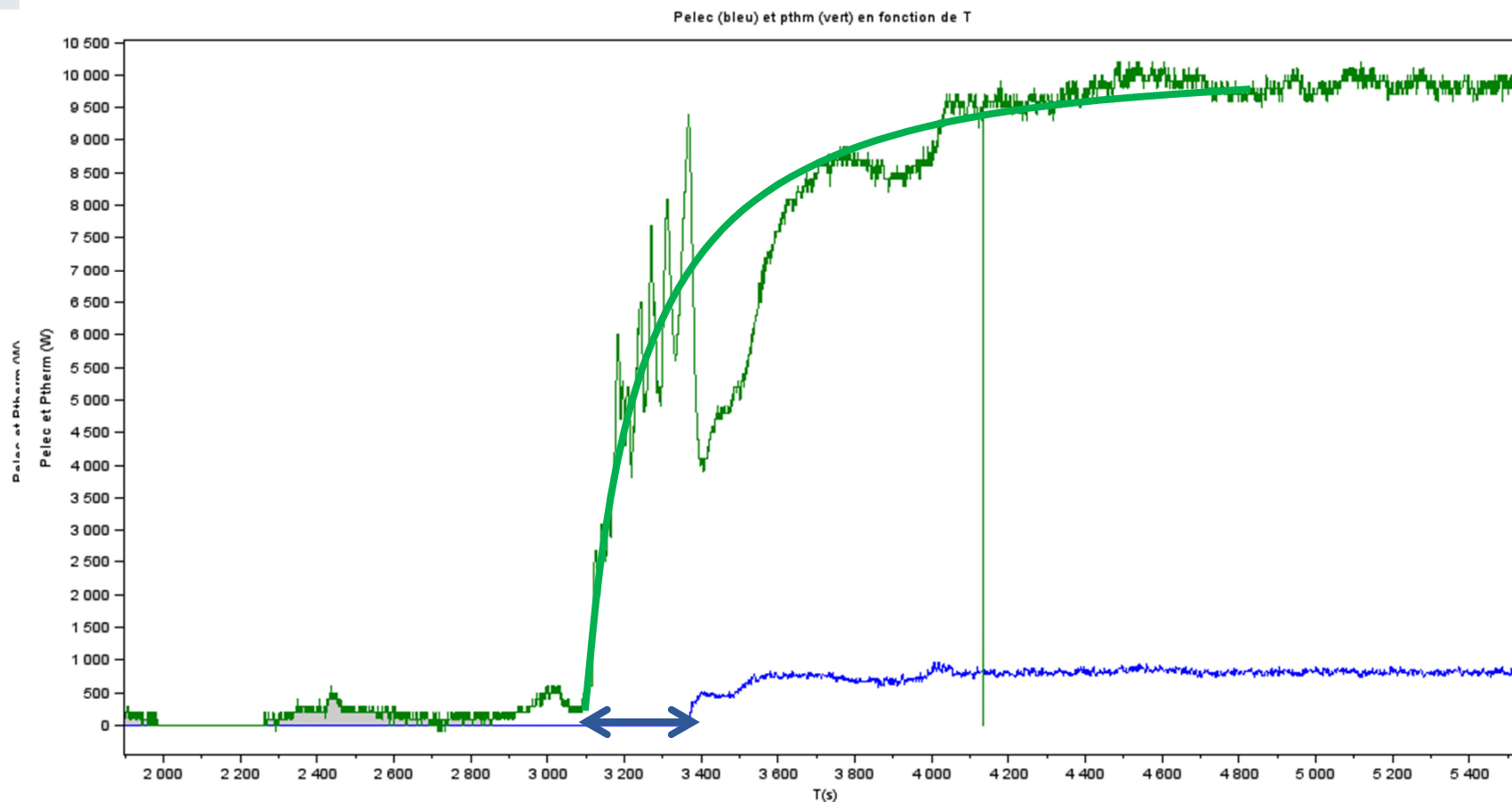
$\eta_g = 92 \%$

$e/c = ?$





## □ Le BISON d'EXOES (1/1)



## ❑ Micro cogénération gaz (1/2)

- Modification du modèle
  - Intégration de la chaudière auxiliaire
- Optimisation
  - Intégration d'un contrôle commande intelligent (commande des machines de lavage)
  - Stockage thermique voire électrique (batteries de voiture)
  - Sollicitation de la chaudière auxiliaire
  - Régulation
  - Schémas hydrauliques
  - Modulation?



## □ Micro cogénération biomasse (2/2)

- Essais
- Modification du modèle : prise en compte du combustible et de ses particularités
  - Composition chimique ( $\text{CH}_{1,5}\text{O}_{0,66}$ )
  - Production de CO
  - PCI fonction de la composition chimique
  - Taux de cendre
  - Excès d'air plus important





# CONCLUSIONS

- Essais dynamiques des systèmes
- Modélisation numérique des systèmes
- Comparaison à des systèmes de référence
- Optimisation de l'environnement d'accueil de solutions de micro cogénération, **trouver la combinaison gagnante** :
  - Rentabilité économique
  - Bilan carbone
  - Cycle de vie
  - Taux d'autoconsommation
  - Taux de couverture

Merci de votre attention

