

# Fours de boulangerie : la chaleur fatale... n'est pas une fatalité

L. Boillereaux, UMR GEPEA



Qualité  
sensorielle



Structure  
de l'aliment



Technologies et procédés  
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle  
et effets sur la santé

# Contexte et grands enjeux

## La boulangerie artisanale en France

**33 000** artisans - **16 millions** de baguettes / jour

**150 MW.h** par an pour une boulangerie en moyenne

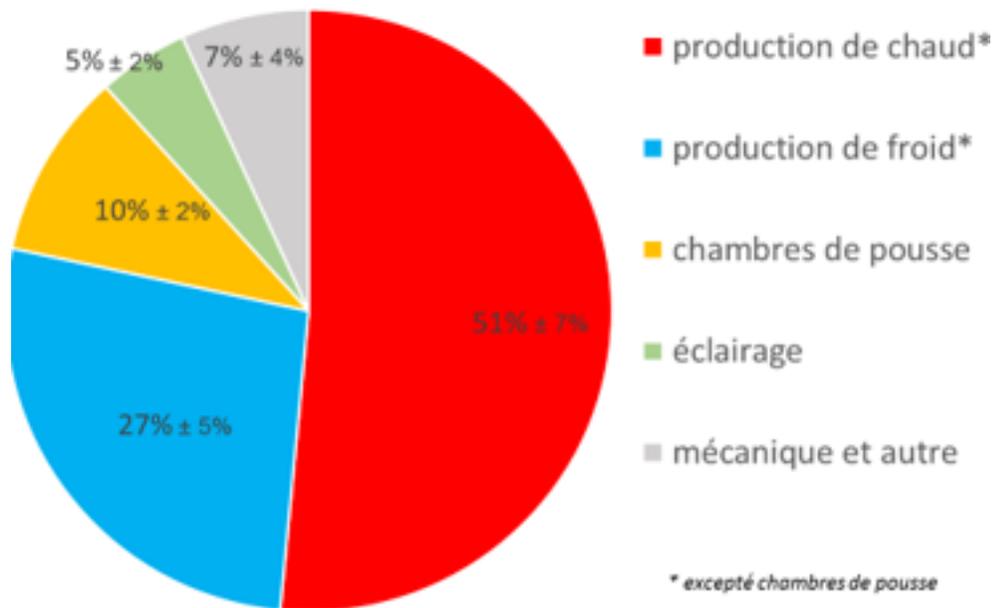
**0,065 kW.h** Energie minimale requise / baguette 250 g  
 dont 0,010 kW.h pour le coup de buée

**0,28 kW.h** Consommation réelle constatée / baguette

$$\text{Rendement} = \frac{0,065}{0,28} = 23 \%$$



Répartition moyenne des consommations énergétiques en Boulangerie



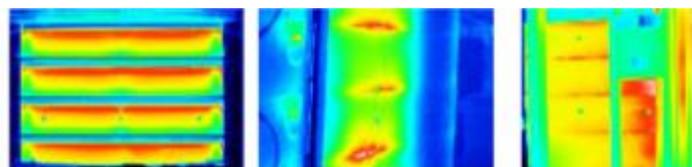
## 🔍 La boulangerie et l'énergie à Oniris, ce sont :

- 2006 - 2010    Projet EU-FRESHBAKE FP6: cuisson différée en « points chauds »  
MIWE – Puratos - Biofournil    CEMAGREF → INRAE
- 2009 - 2013    Projet ANR BRAISE (Boulangerie raisonnée et efficacité énergétique)  
BONGARD – EDF R&D – INBP LEMPA    CNRS - INRAE
- 2014 - 2015    Projet TMBP (Test de mesure et maîtrise de l'énergie en boulangerie  
pâtisserie)    CNBPF – EKIP – LEMPA – LESAFFRE – ENGIE
- 2014 - 2016    Projet EU-LEO Low Energy Oven FP7

Mais aussi des thèses CIFRE dans le domaine de la boulangerie industrielle

# Résultats phares

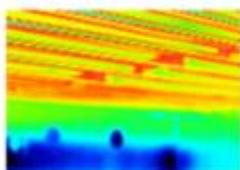
🔍 Des essais en conditions réelles de production



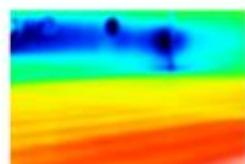
Face avant

Face arrière

Face gauche



Résistances d'axe droite



Boîte avec emergence des résistances intérieures

## Le Four électrique :

Modulable SOLEO

M4 4 étages

Surface de cuisson : 5,3 m<sup>2</sup>

Puissance électrique :  
 40,8 kW **dont 8 kW**  
**machines à buée**

Four à résistances  
 blindées



## Le Four gaz :

CERVAP Compact DB

800/4.143

Surface de cuisson : 4,6 m<sup>2</sup>

Puissance électrique :  
 0,7 kW

Puissance gaz : 35 kW

Four à tubes vapeur



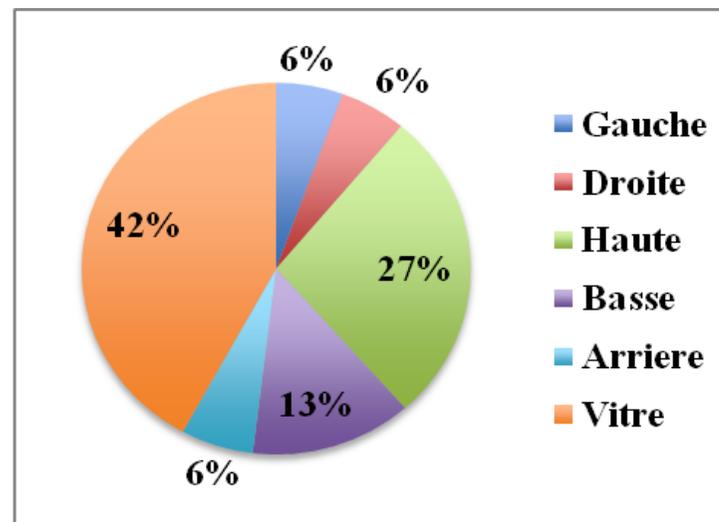
3 jours de production – 4 fournées / jour – baguettes 250g  
 72 baguettes / fournée

# Résultats phares

## 🔍 Une quantification des pertes

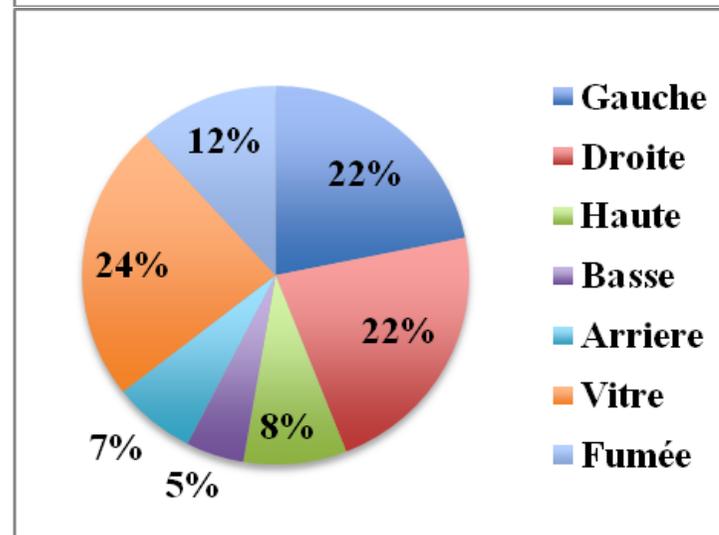
- ❑ Mise en régime : 58 min / 36 kW.h
- ❑ Energie TOTALE pour 4 cuissons : 76 kW.h
- ❑ 0,26 kW.h / baguette
- ❑ Puissance déperdition : 6,6 kW (0,66 kW.m<sup>-2</sup>)

### ELECTRIQUE



- ❑ Mise en régime : 75 min / 48 kW.h
- ❑ Energie TOTALE pour 4 cuissons : 78 kW.h
- ❑ 0,28 kW.h / baguette
- ❑ Puissance déperdition : 4,5 kW (0,28 kW.m<sup>-2</sup>)

### GAZ



# Résultats phares

## Un bilan final éloquent

1 jour de production - focus four électrique

76 kW.h

47 %  
PRECHAUFFAGE

53 %  
4 fournées

46%  
pertes

54%  
Utile

Baguettes de 250g après cuisson – 330 g de pâte crue  
22 minutes de cuisson à 258°C 72 baguettes par  
fournée  
4 fournées par jour  
4 jours de production

Parois et vitres  
50 %

Autres  
50%

Mie /  
évapo  
55 %

Croûte  
29 %

Buée  
16  
%

# Résultats phares

## Un bilan final éloquent

1 jour de production - focus four électrique

76 kW.h

47 %  
PRECHAUFFAGE

53 %  
4 fournées

46%  
pertes

54%  
Utile

Baguettes de 250g après cuisson – 330 g de pâte crue  
22 minutes de cuisson à 258°C 72 baguettes par  
fournée  
4 fournées par jour  
4 jours de production

Parois et vitres  
50 %

Autres  
50%

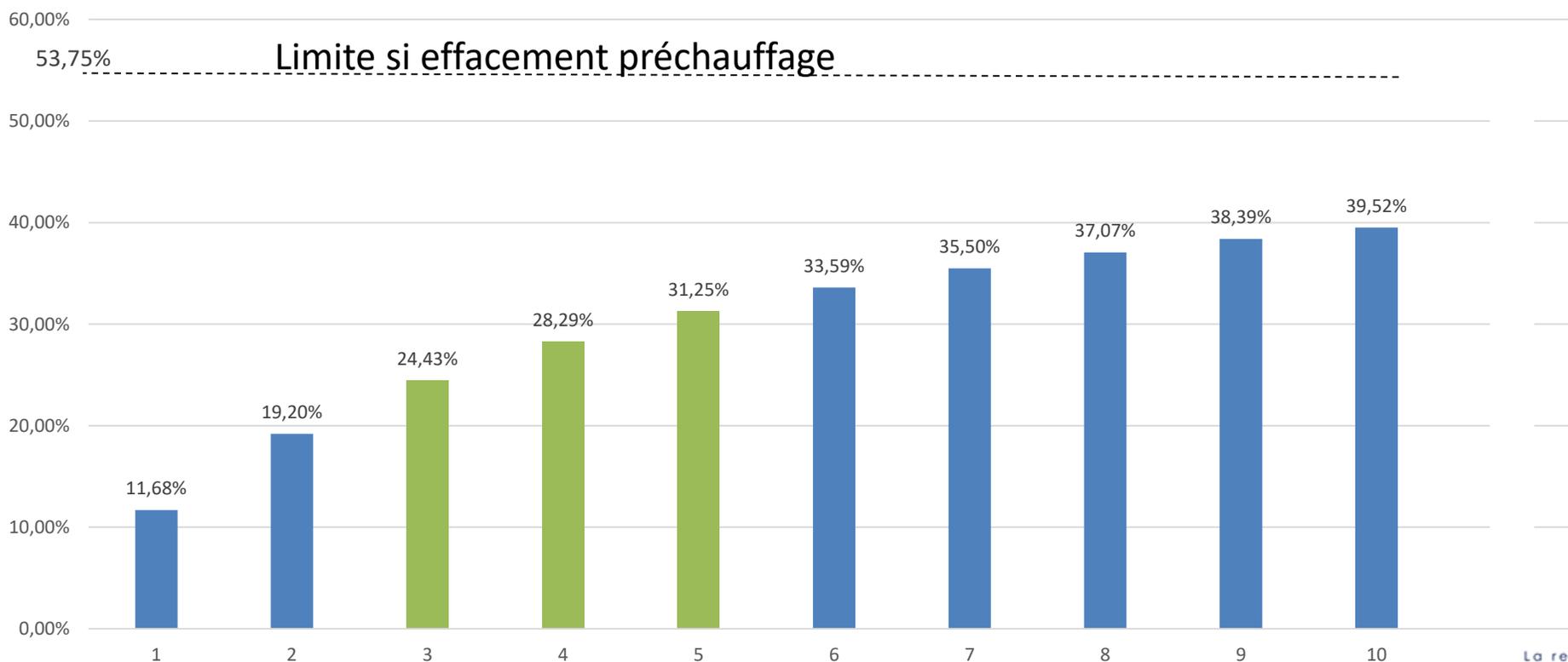
Mie /  
évapo  
55 %

Croûte  
29 %

Buée  
16  
%

# Perspectives d'innovations

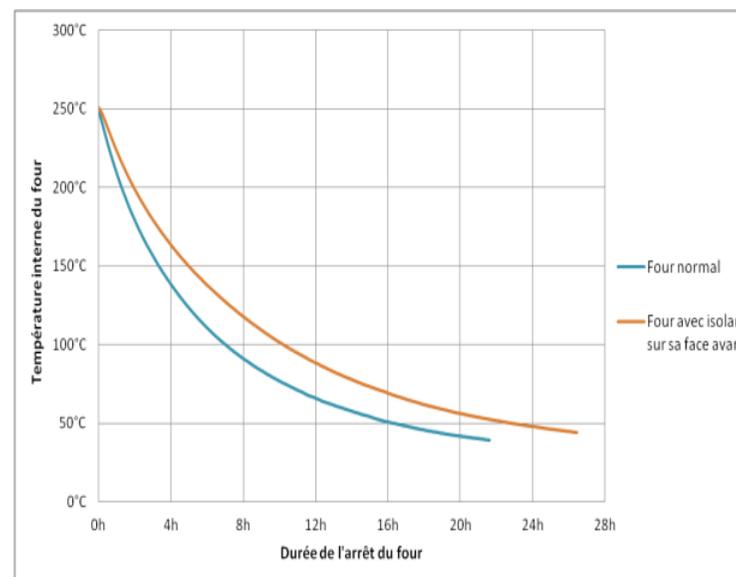
## Le préchauffage, facteur prépondérant



Données classiquement reportées dans la littérature

# Perspectives d'innovations

## Les pertes aux parois

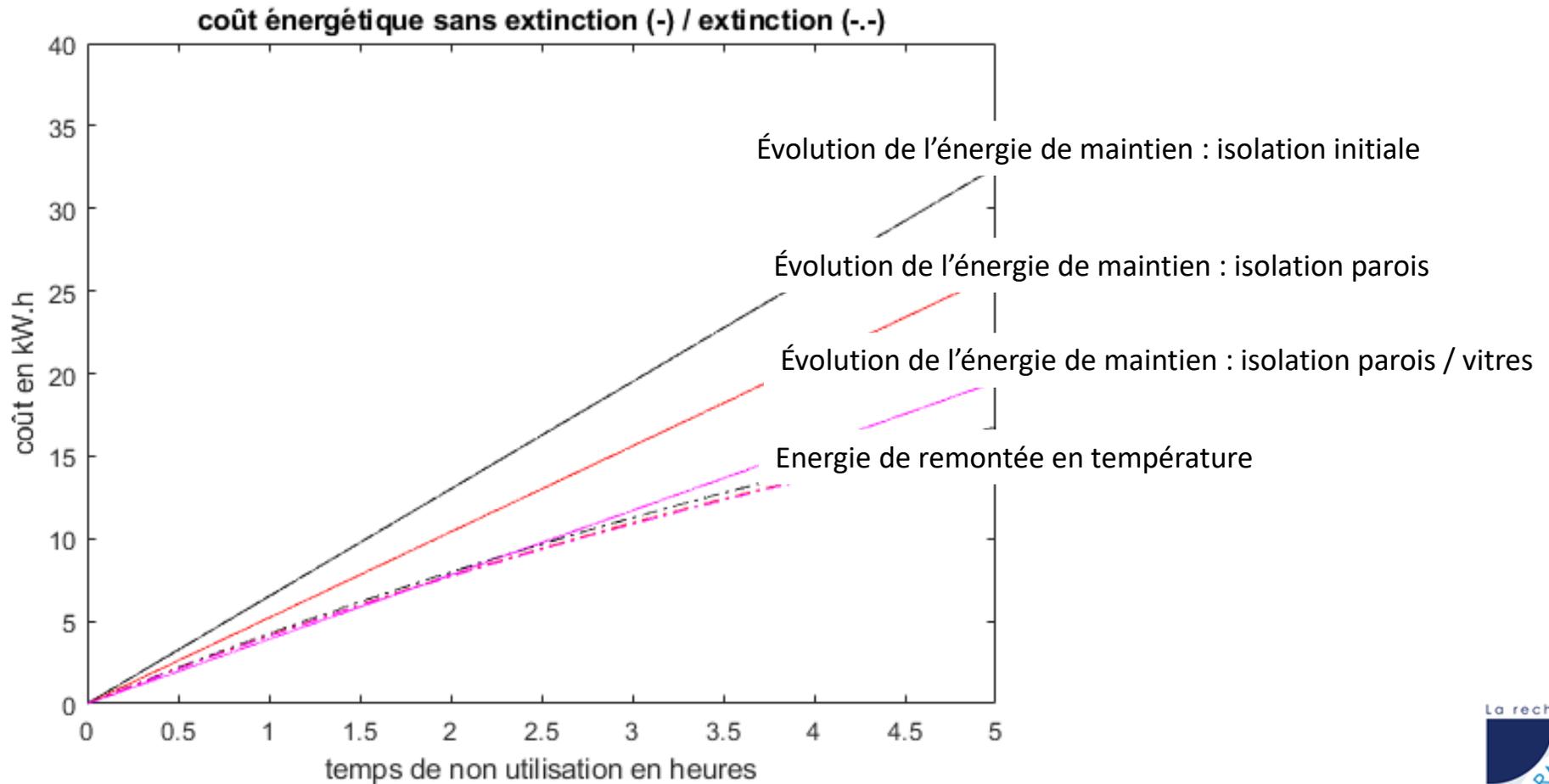


Baisse de température d'un four (à l'arrêt) en fonction ou non de l'isolation de la face avant

Effet de l'isolation de la vitre sur descente en température entre les fournées

# Perspectives d'innovations

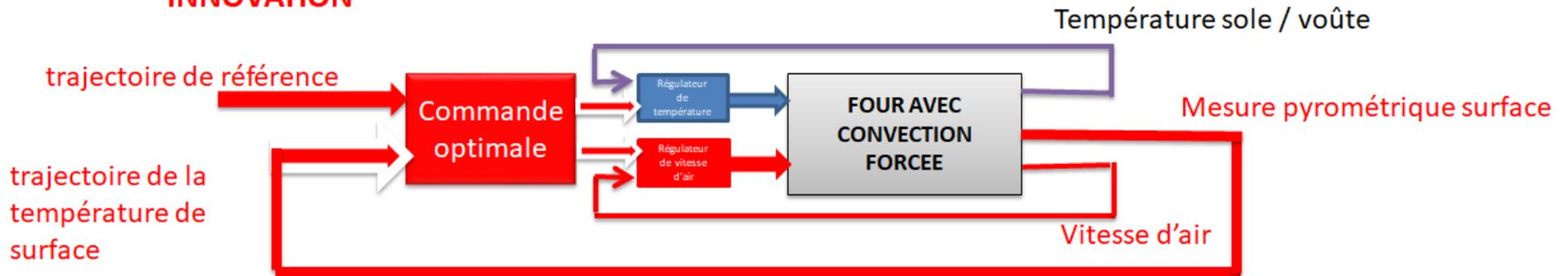
Et entre les fournées ?



# Perspectives d'innovations

## Intérêt de la « commande optimale »

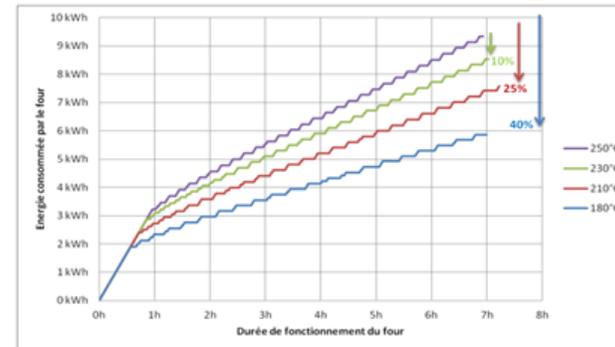
### INNOVATION



Coefficient maximal d'amélioration d'échange convectif En %	Gain énergétique / cuisson traditionnelle Si coût des jets nul En %	Gain énergétique / cuisson traditionnelle Coût des jets pris en compte En %
0	0	0
100	9,5	8,6
200	12,6	10,8
300	14,2	11,7
400	15	11,9
500	15,7	12,2
1000	17,1	12,2

**Projet BRAISE**

On tend vers un optimum



Consommation énergétique du four et gains réalisés lors de fonctionnements à différentes températures de consignes

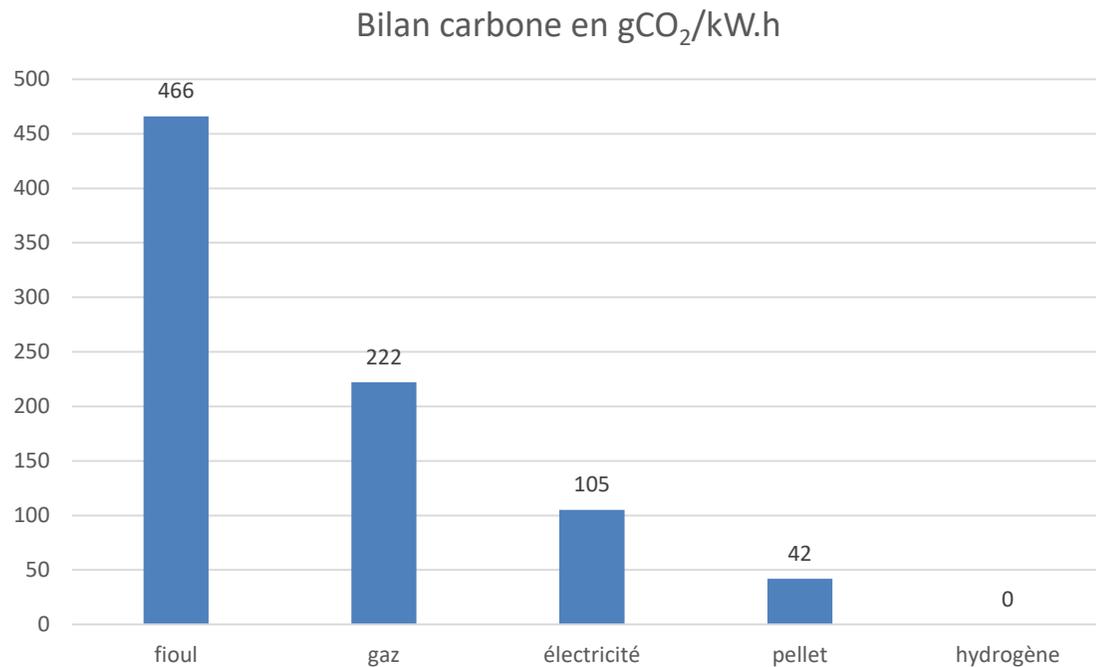
Effet de l'abaissement de la température de consigne

**Projet TMBP**



# What next ?

- 🔍 Nos travaux Oniris-GEPEA portent sur le pilotage du procédé par le produit et sur les électrotechnologies



Hydrogène gris / par vaporeformage synthétisé avec des combustibles fossiles  
→ fortes émissions

Hydrogène bleu / = gris + dispositif de captage de CO<sub>2</sub>

Hydrogène vert = sans émission, obtenu par électrolyse de l'eau avec électricité produite par énergies renouvelables

# What next ?

- Nos travaux Oniris-GEPEA portent sur le pilotage du procédé par le produit et sur les électrotechnologies

## Intensification des transferts à l'échelle locale

- Aux interfaces : jets impactants, électrohydrodynamique (vents ioniques)
- Dans le volume → microondes et radiofréquences, chauffage ohmique

## A l'échelle du procédé

- Solutions de métrologie
- contrôle-commande par le produit



## RESEAUX DE CHALEUR

- Récupération de la chaleur fatale

