

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

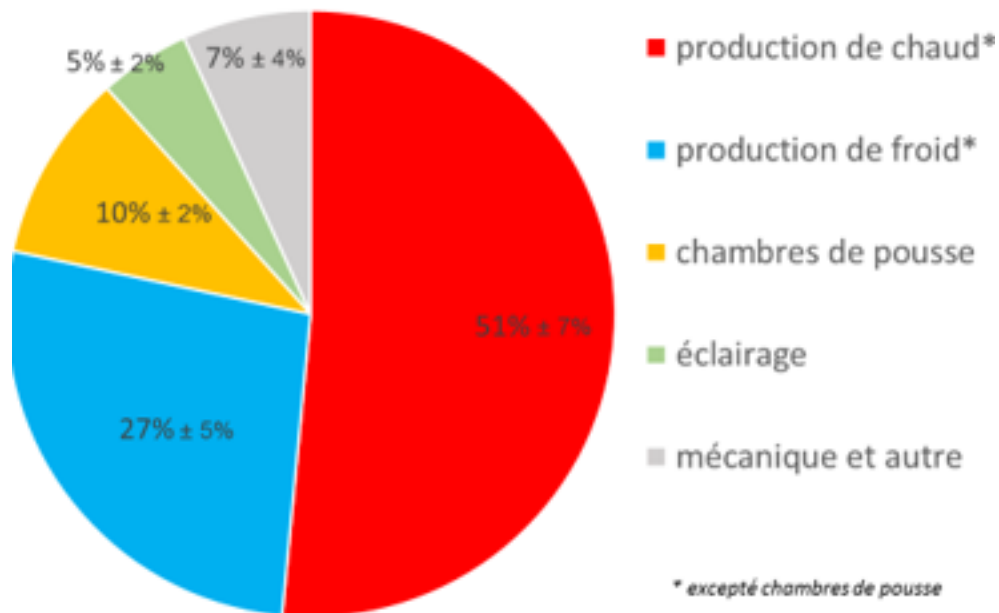
0,065 kW.h Energie minimale requise / baguette 250 g
 dont 0,010 kW.h pour le coup de buée

0,28 kW.h Consommation réelle constatée / baguette

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



Répartition moyenne des consommations énergétiques en Boulangerie



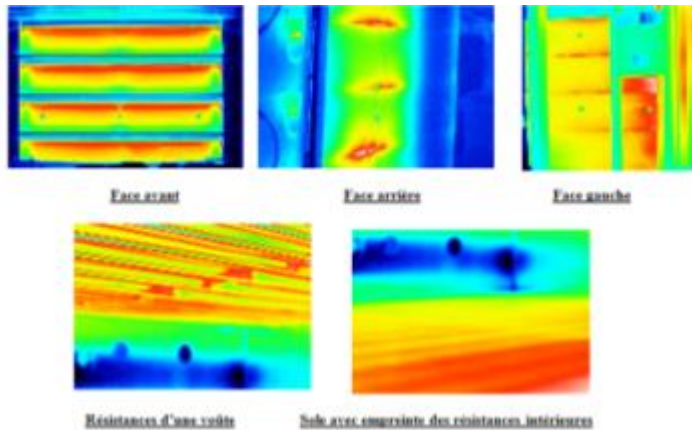
🔍 La boulangerie et l'énergie à Oniris, ce sont :

- 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



Le Four électrique :

Modulable SOLEO

M4 4 étages

Surface de cuisson : 5,3 m²

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 m²

Puissance électrique :
0,7 kW

Puissance gaz : 35 kW

Four à tubes vapeur



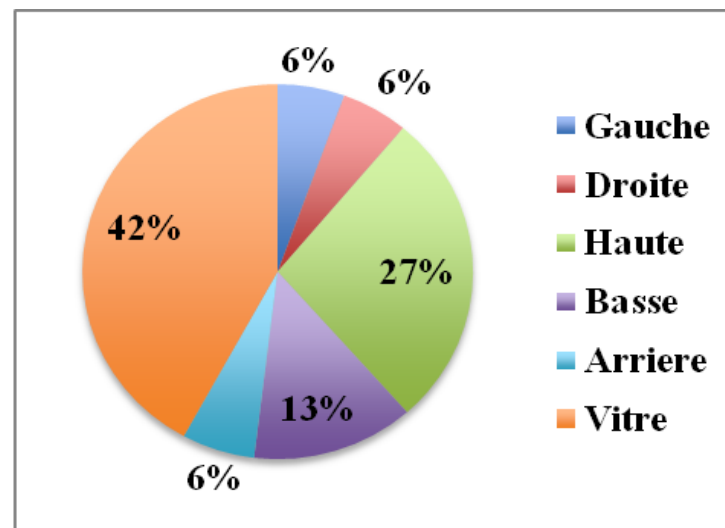
3 jours de production – 4 fournées / jour – baguettes 250g
72 baguettes / fournée

Résultats phares

🔍 Une quantification des pertes

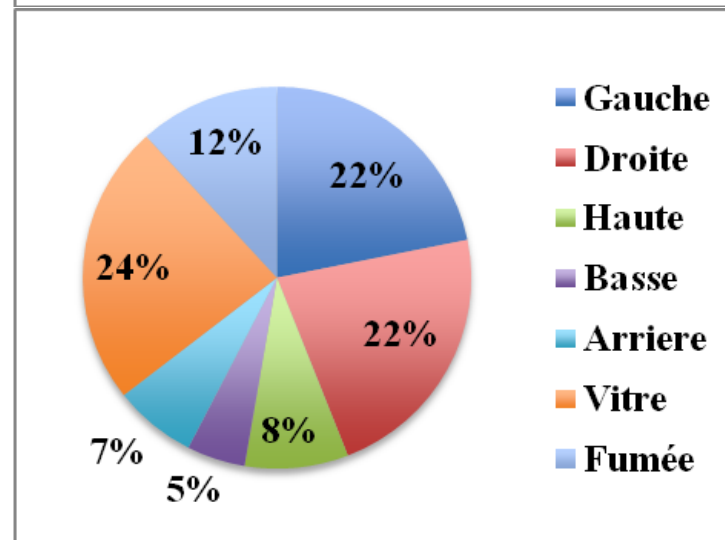
- ❑ Mise en régime : 58 min / 36 kW.h
- ❑ Energie TOTALE pour 4 cuissons : 76 kW.h
- ❑ 0,26 kW.h / baguette
- ❑ Puissance déperdition : 6,6 kW (0,66 kW.m⁻²)

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⁻²)

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%

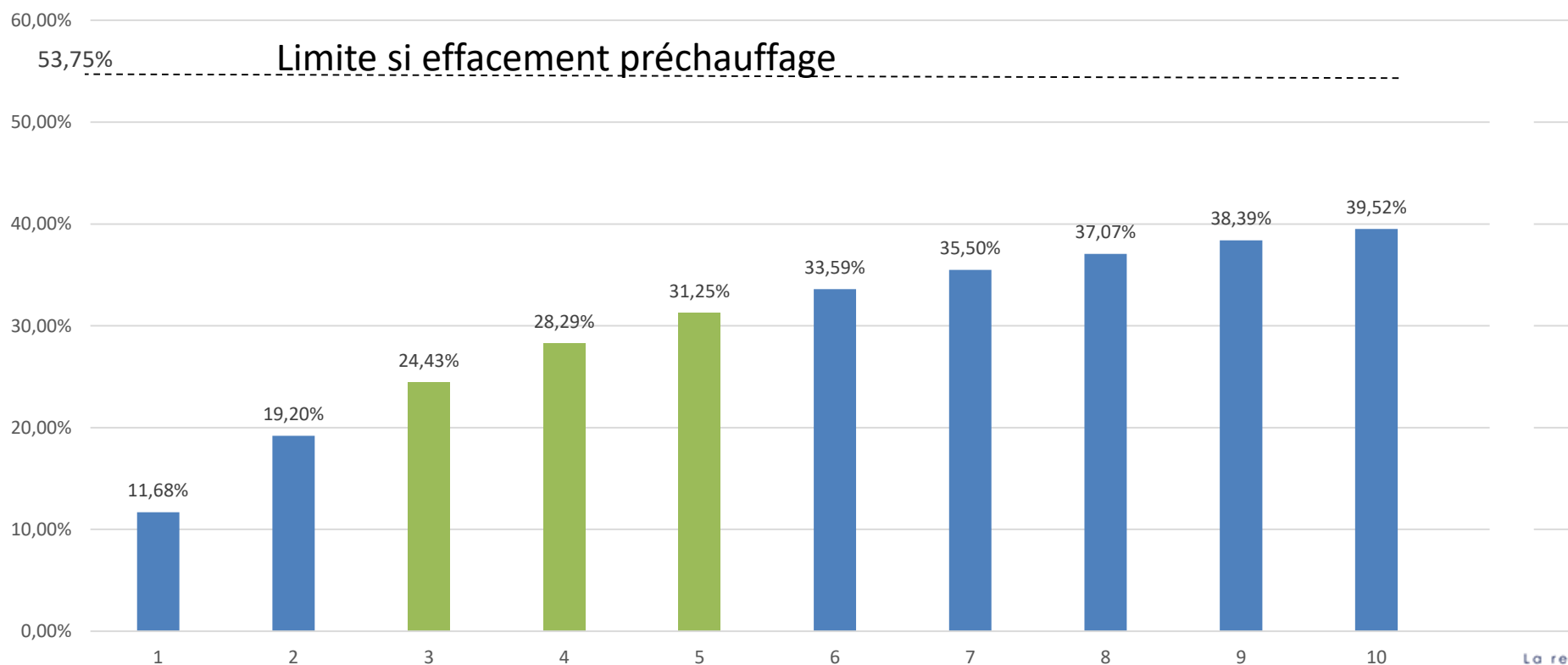
Mie /
évapo
55 %

Croûte
29 %

Buée
16
%

Perspectives d'innovations

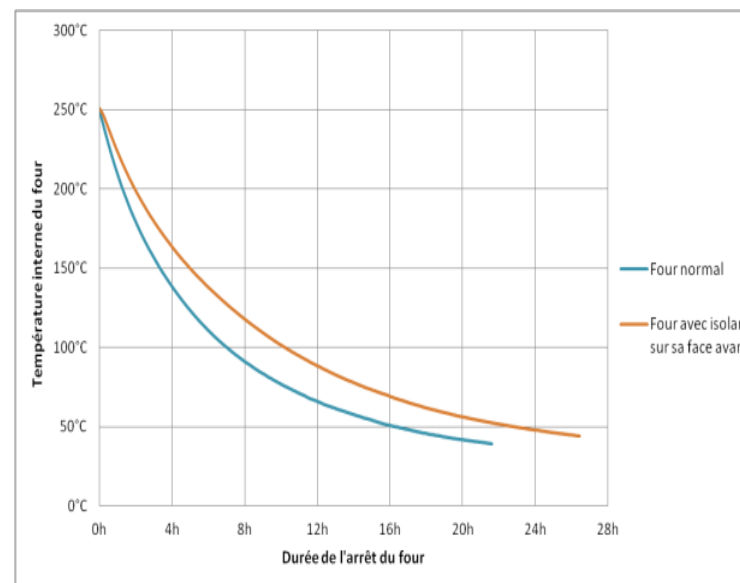
Le préchauffage, facteur prépondérant



Données classiquement reportées dans la littérature

Perspectives d'innovations

Les pertes aux parois

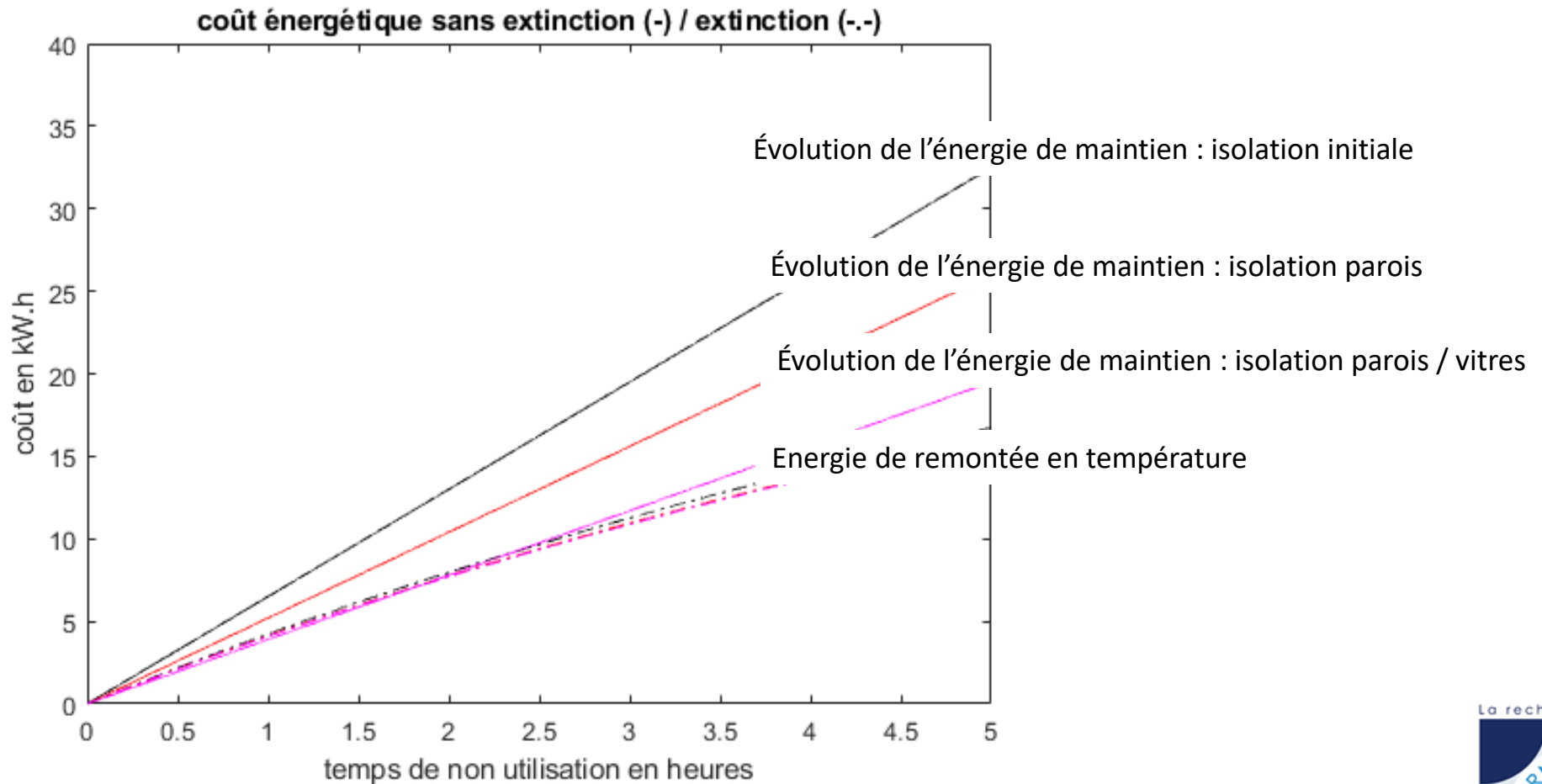


Baisse de température d'un four (à l'arrêt) en fonction ou non de l'isolation de la face avant

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

Perspectives d'innovations

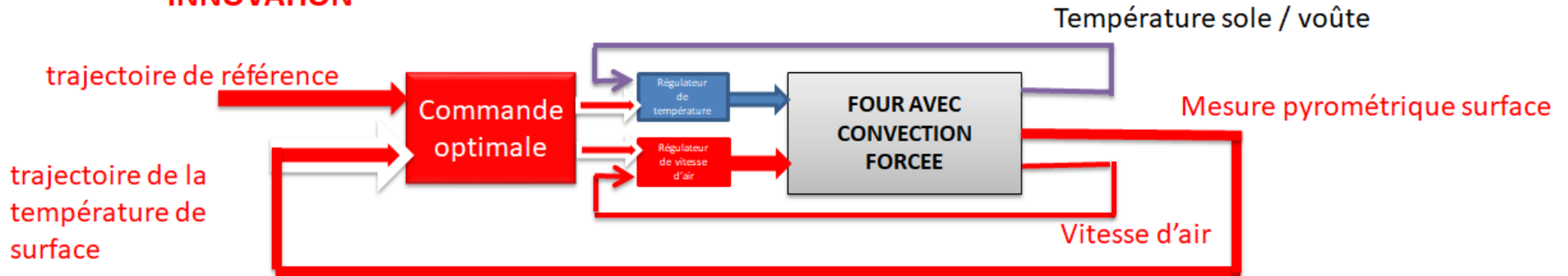
Et entre les fournées ?



Perspectives d'innovations

Intérêt de la « commande optimale »

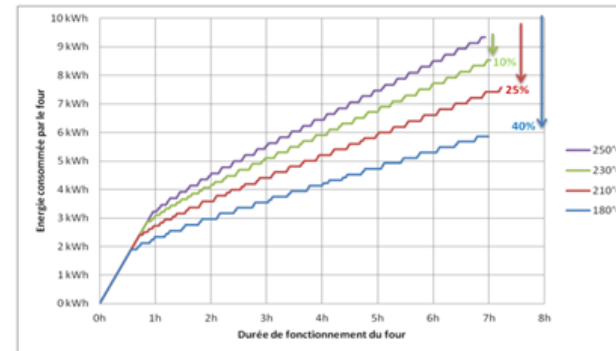
INNOVATION



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

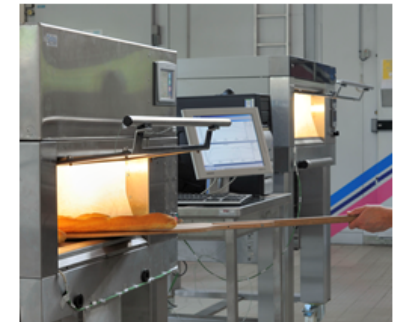
On tend vers un optimum



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

Effet de l'abaissement de la température de consigne

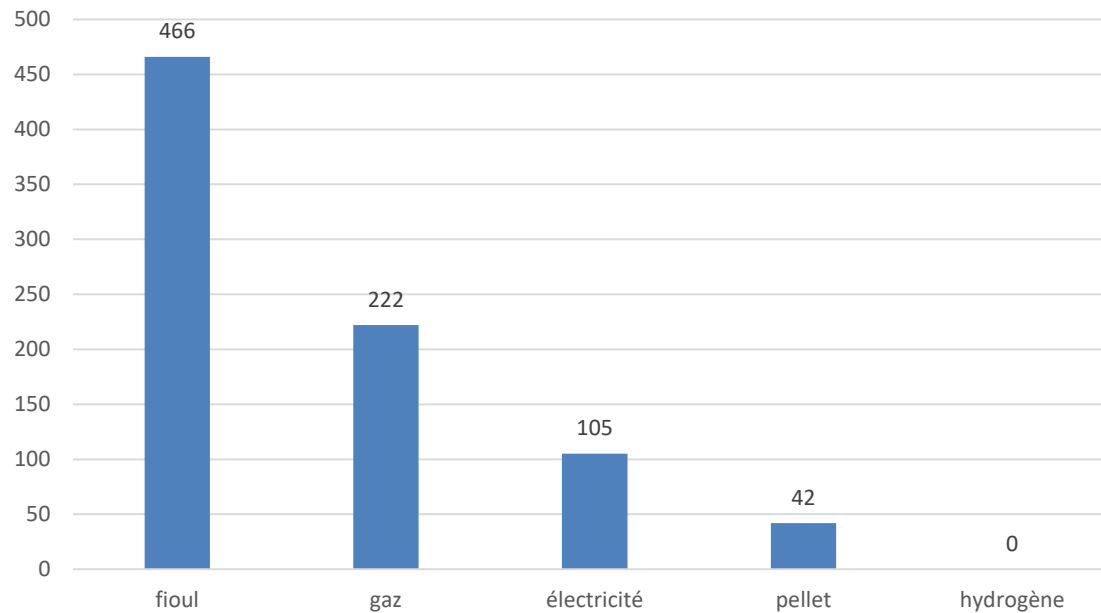
Projet TMBP



What next ?

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

Bilan carbone en gCO₂/kW.h



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

Hydrogène bleu / = gris + dispositif de captage de CO₂

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, electrohydrodynamique (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

