Eco-conception des procédés agroalimentaires

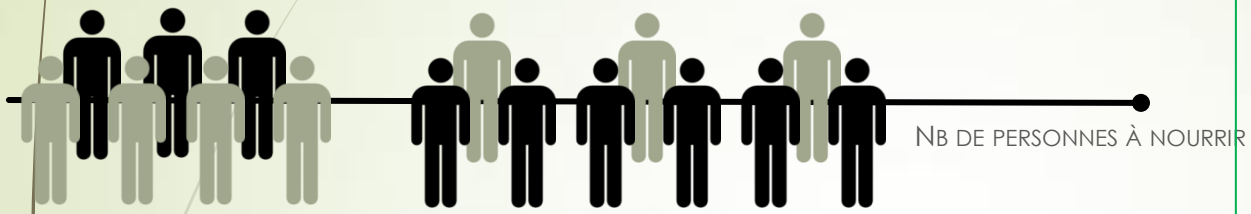
Vanessa JURY

25 novembre 2015

XVIIème Journée Cathala-Letort

Développement durable et industrie agroalimentaire: enjeux

Population croissante



7 Milliards
2012

9 Milliards
2050

+ 1 Milliard

+200 millions

Développement durable

Respectueux de l'environnement
Viabilité économique
Socialement acceptable

Industrie agroalimentaire

Moins d'énergie
Moins de déchets
Aliments avec une durée de vie prolongée

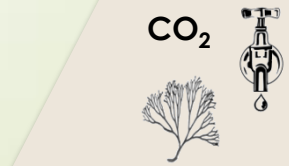
Affichage environnemental

Expérimentation nationale sur des produits alimentaires

2,6%* pour 100 g
indice environnemental

*Impact environnemental de la consommation journalière d'un français

Cycle de vie



- **Eco-conception des procédés**

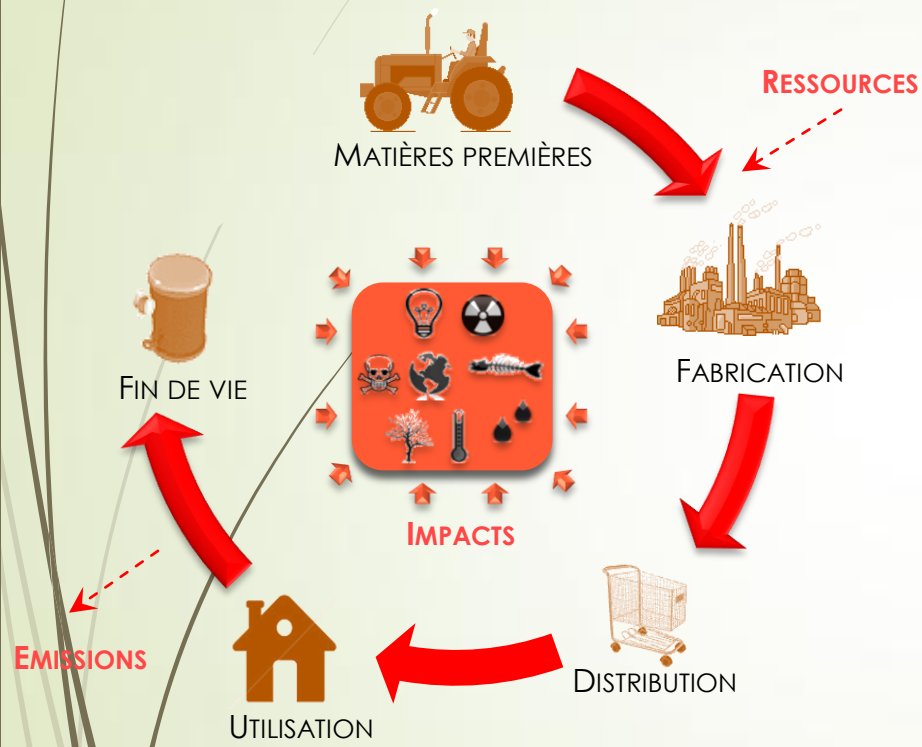
- Impact environnemental des procédés:
  Analyse du Cycle de Vie

- ACV et Optimisation énergétique:
  cas de la panification
  - ACV: diagnostic
  - Optimisation expérimentale (projets EU-FRESHBAKE, LEO)
  - Optimisation numérique (projet ANR BRAISE)

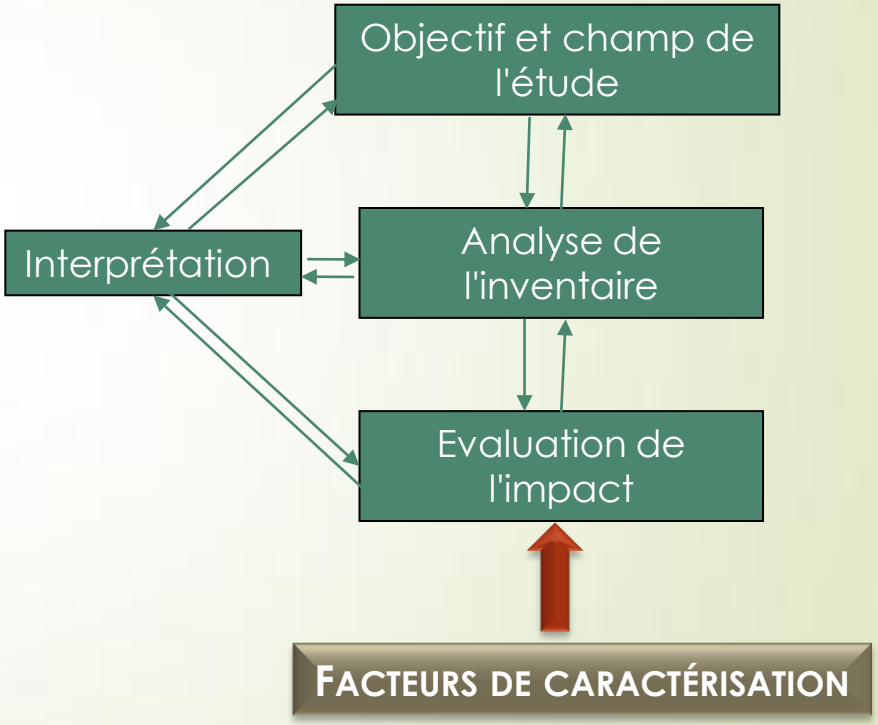
- Conclusions et perspectives
  - Spécificité des procédés agro-alimentaires

Impact environnemental des procédés: Analyse du Cycle de Vie

- **Approche globale et multicritère**



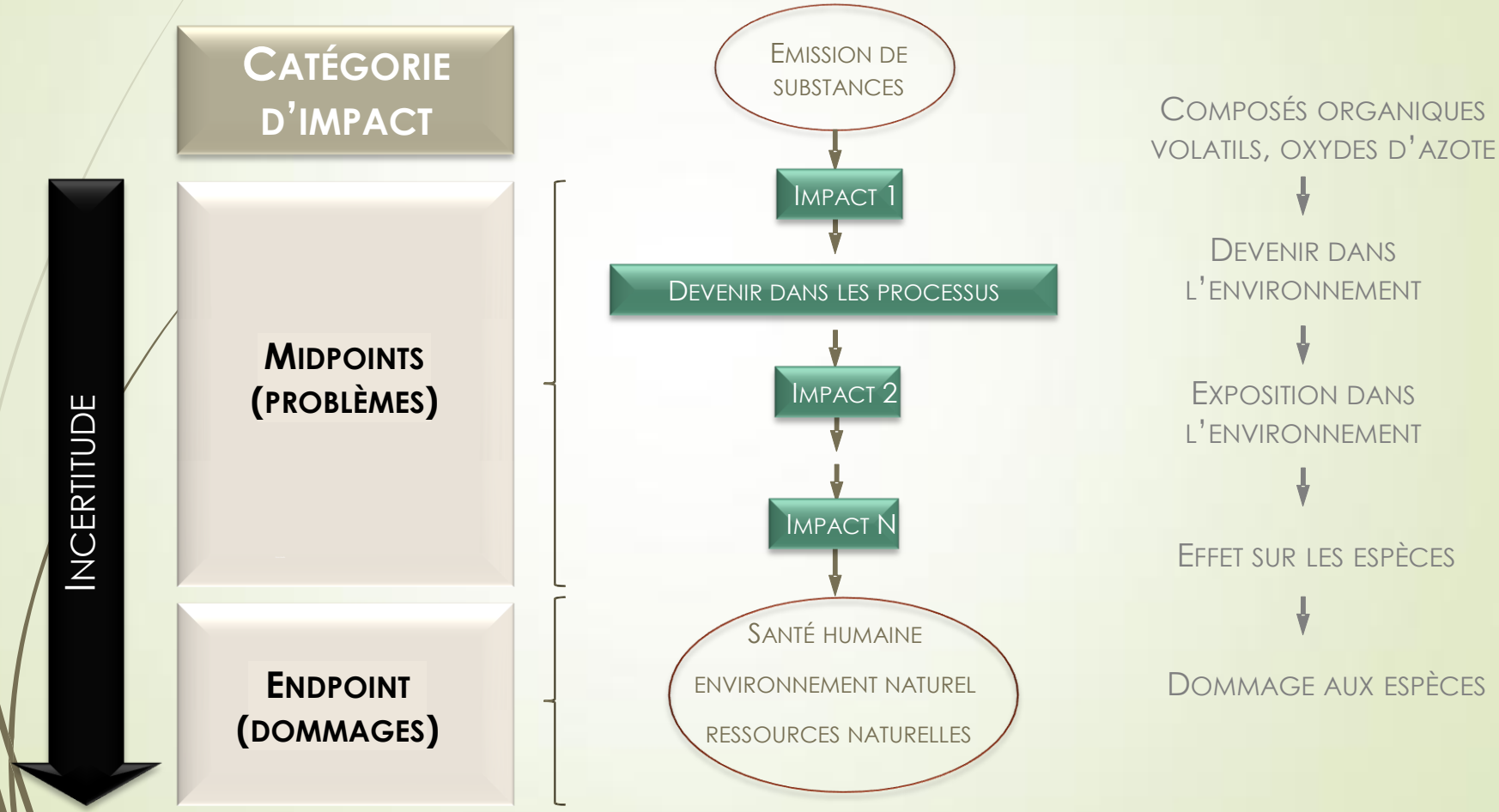
Méthodologie (ISO 14040 – 14044: 2006)



Faciliter la comparaison entre produits et systèmes
Eviter les **transferts de pollution** entre les étapes du cycle de vie et les impacts environnementaux

Impact environnemental des procédés: Analyse du Cycle de Vie

- **Evaluation de l'impact: Facteurs de caractérisation**



Impact environnemental des procédés: Analyse du Cycle de Vie

Evaluation de l'impact: Catégories d'impact

Échelle globale

- Réchauffement climatique — CO_2, CH_4, NO_X, COV
- Réduction de la couche d'ozone — CFC 11, HFC, CH_4, composés chlorés
- Épuisement des ressources naturelles non renouvelables

Échelle régionale

- Eutrophisation — Nitrates et phosphates
- Acidification — NO_X, NH_3, SO_2
- Création d'oxydant photochimique — COV, NO_X

Échelle locale

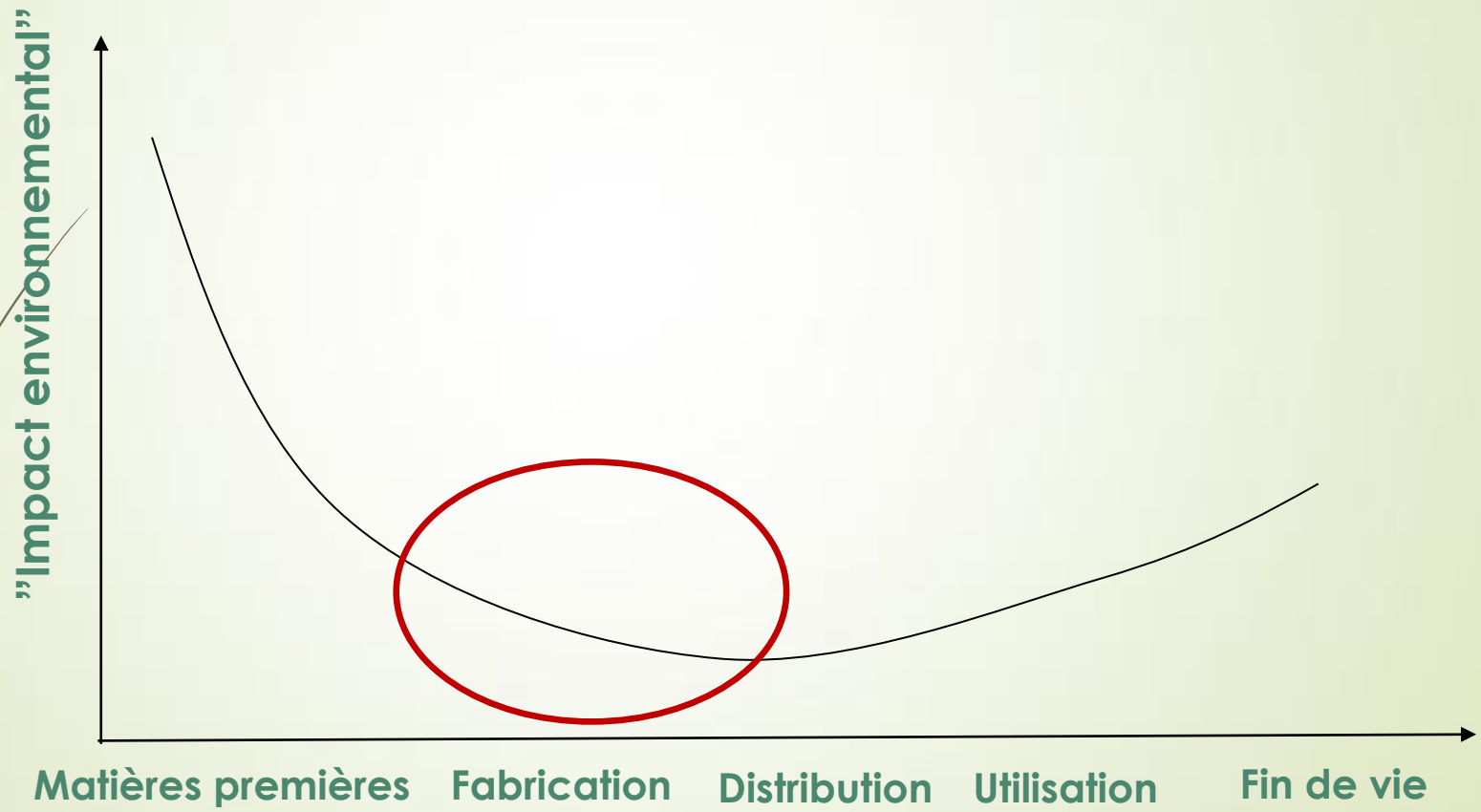
- Toxicité humaine
- Écotoxicité (terrestre, aquatique, marine) — Polluants organiques et inorganiques

Catégories d'impact

(Source : L. Aissani, 2008; P. Roux, 2008 _ Cémagref)

Impact environnemental des procédés: Analyse du Cycle de Vie

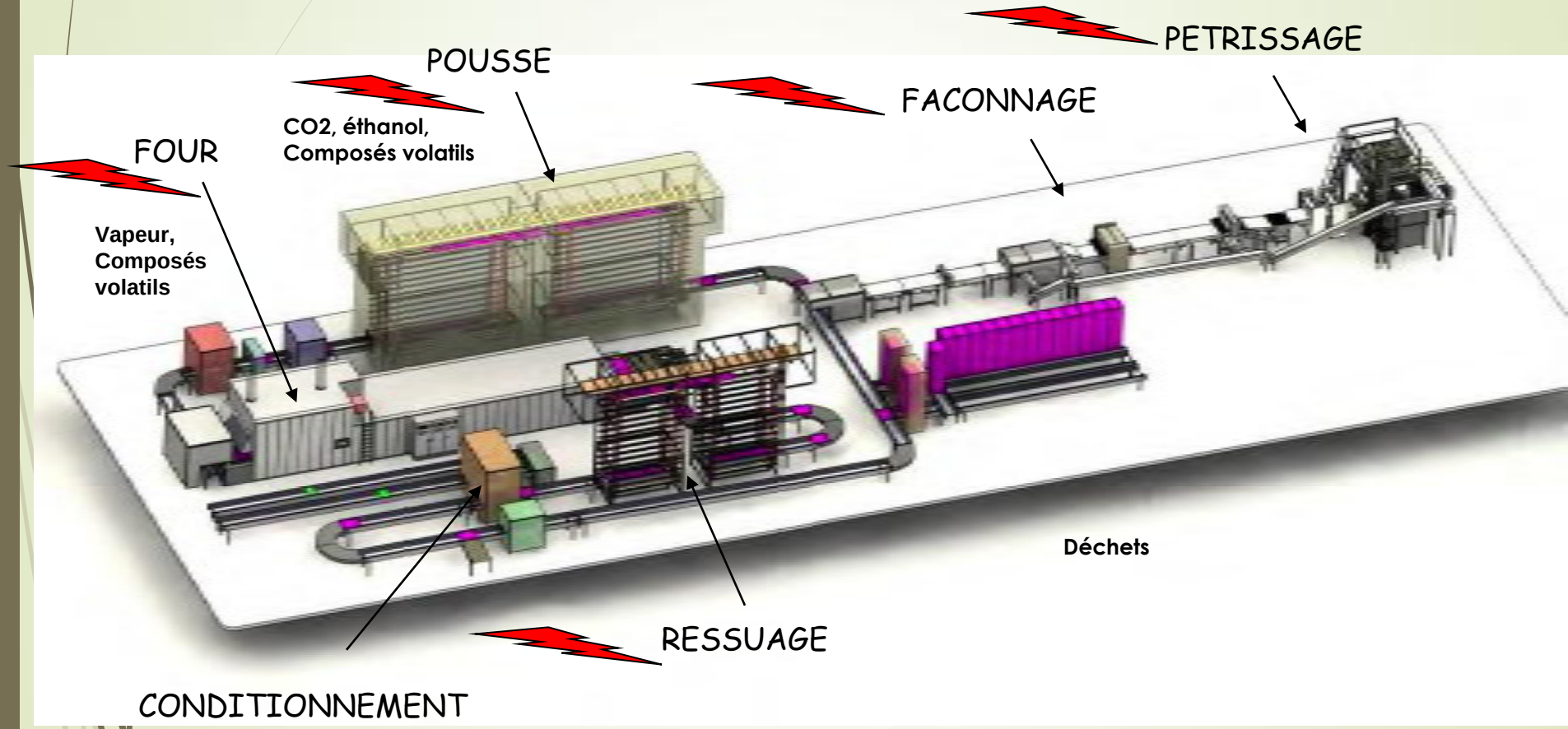
- **Allure généralisée de l'impact environnemental du cycle de vie des produits alimentaires**



Source: J. Berlin, SIK, CIGR 2011

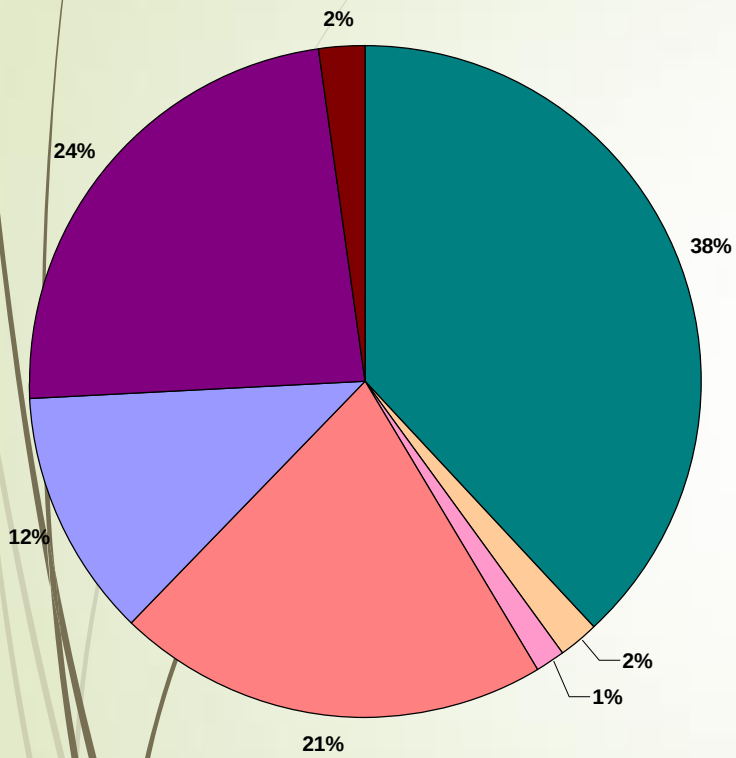
ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV: Diagnostic**

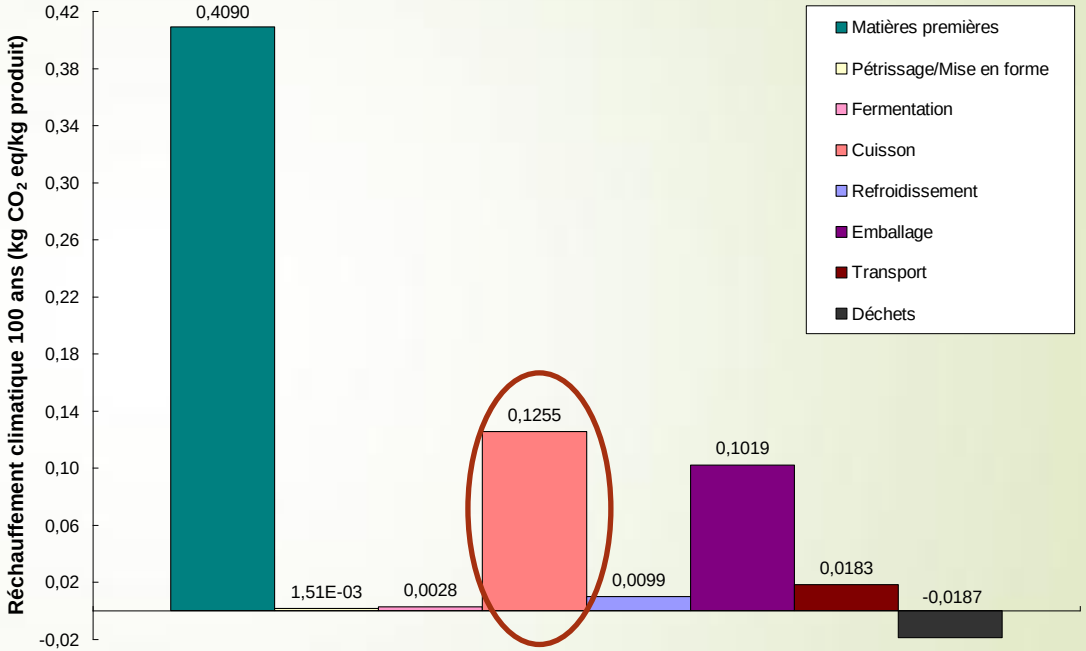


ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV / Diagnostic**



Demande énergétique



Réchauffement climatique

Consommation d'énergie primaire totale pour 1 kg pain: 12,35MJ
85% non renouvelable et 15% renouvelable

- **Optimisation de la cuisson**

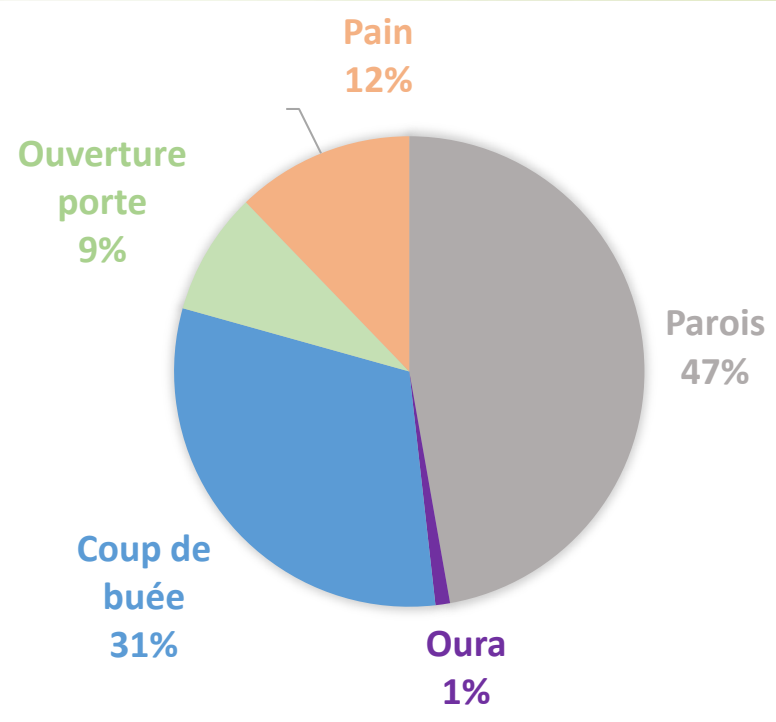
V. Jury, H. Janestad, J. Davis, L. Ahrné (2011).
" Processes impact in life cycle assessment of bread. "

ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV et Optimisation expérimentale**

Four à sole: cuisson 210°C, 25 min

		Avec préchauffage	Sans préchauffage
Energie spécifique (MJ/kg pâte)	1 cuisson	14.2	3.7
	4 cuissons	5.3	2.7
Efficacité énergétique (%)	1 cuisson	1.7	6.5
	4 cuissons	4.6	9.1



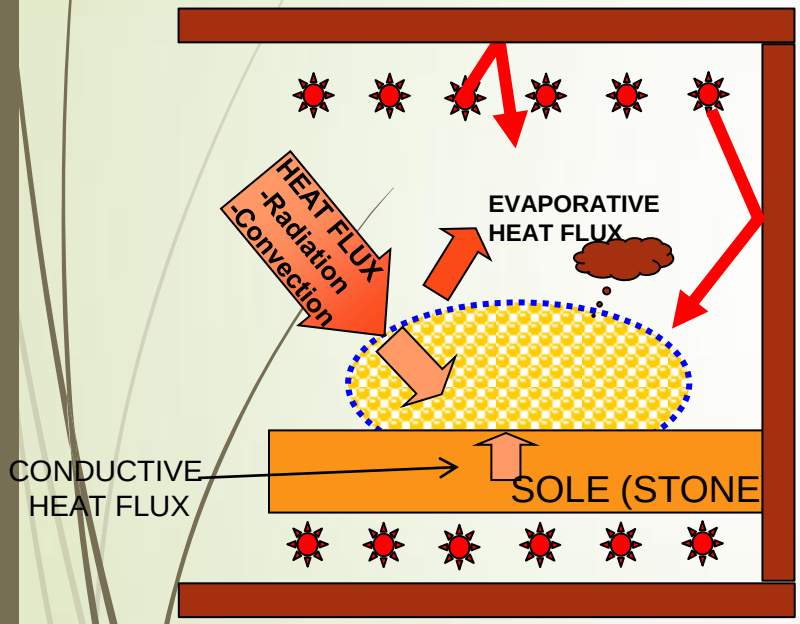
- Préchauffage diminue l'efficacité énergétique: inertie de la sole importante
- **Besoin d'intensifier les transferts**

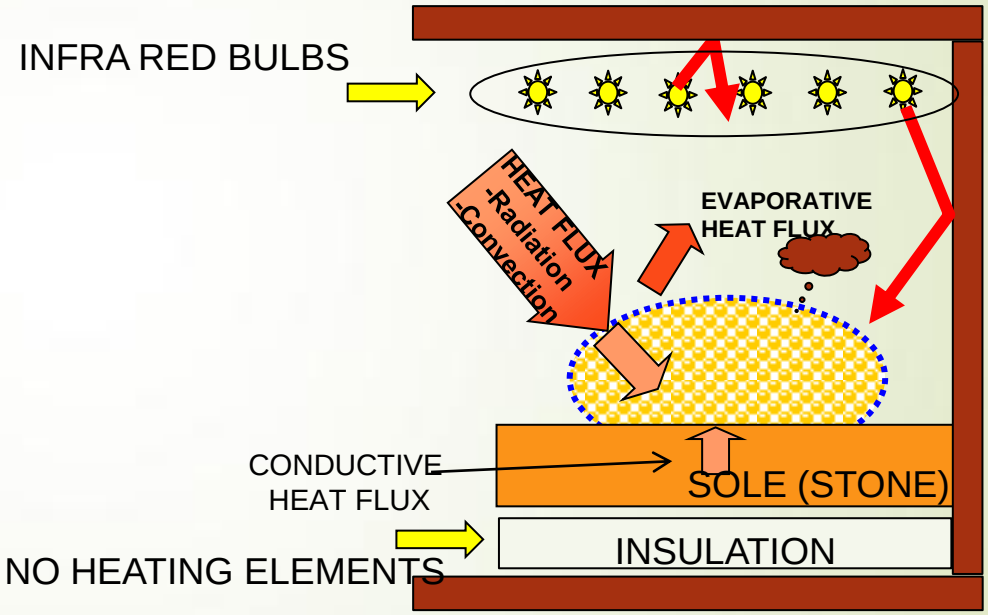
Jury V., Conan B., Carre A., Gally T., Le-Bail A. (2015)
'Improvement of the energy efficiency of bread baking'

ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV et Optimisation expérimentale**

« EU-FRESHBAKE », « LEO » : FOUR INFRA ROUGE





FOURS A SOLE

- Dominé par le rayonnement (50-95% transfert de chaleur)
- Conduction de la sole: 25% max
- Epaisseur de la sole adaptée au produit

ENERGIE INFRA ROUGE

- Préchauffage et rechauffage rapide par IR (IR court)
- IR irradiation pendant la cuisson (finition de la croûte)

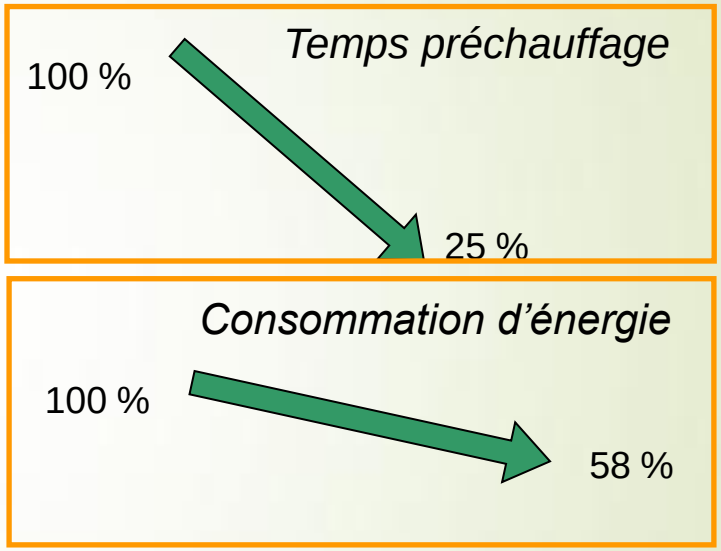
➔ énergie réduite

A. Le-Bail, V. Jury, T. Dessev (Brevet 2009)

ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV et Optimisation expérimentale**

« EU-FRESHBAKE », « LEO » : FOUR INFRA ROUGE



	Four IR	Four référence
Temps préchauffage (min) Energie spécifique (Wh.kg^{-1})	12 1 000	50 1 670
Temps de cuisson (min) Energie spécifique (Wh.kg^{-1})	8 70	8 170
Temps de chauffage entre 2 cuissons (min) Energie spécifique (Wh.kg^{-1})	3 180	6 140

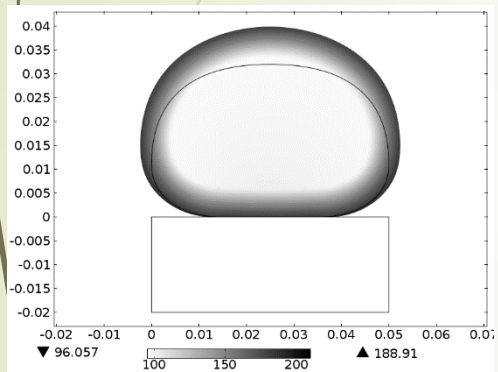
A. Le-Bail, V. Jury, T. Dessev (Brevet 2009)

ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

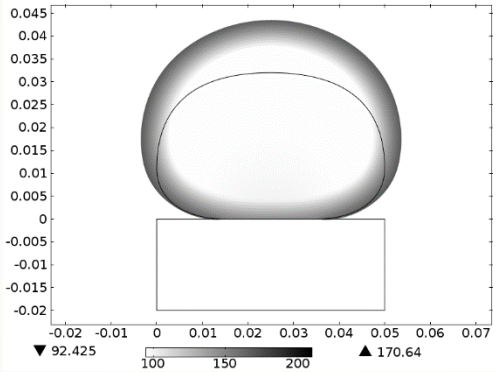
- **ACV et Optimisation numérique**

« ANR BRAISE »: Modélisation de la cuisson/stratégies

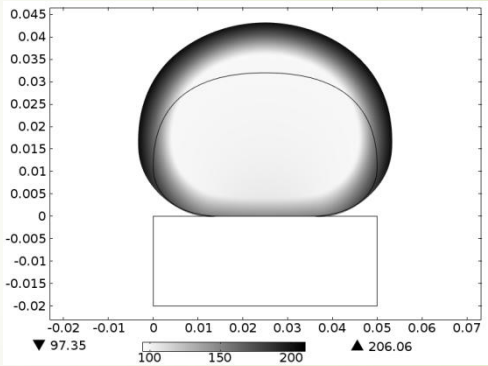
Référence

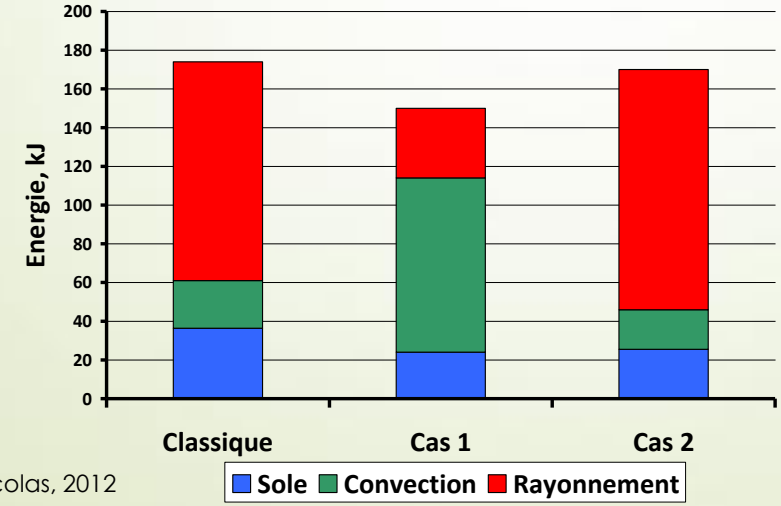


Convection forcée + rayonnement



Convection plus faible + rayonnement





Combinaison optimale
~-20% Energie vs référence

- **Développement d'un four à jets en impact**

Thèse V. Nicolas, 2012

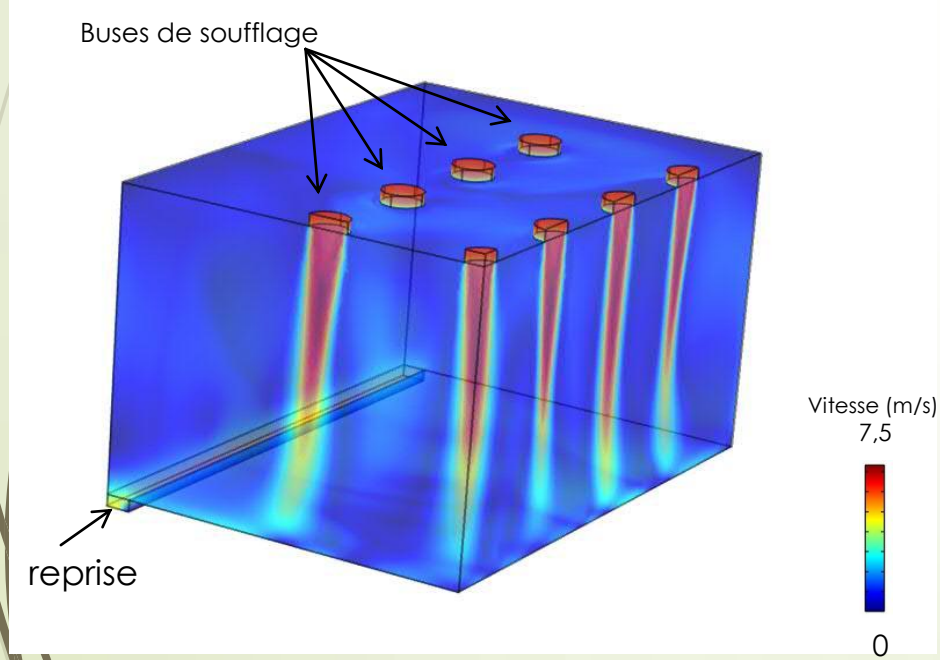
ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV et Optimisation numérique**

« ANR BRAISE »: FOUR A JETS EN IMPACT

Simulations numériques 2D : comparaison satisfaisante avec résultats de la littérature

Simulations numériques 3D : écoulement turbulent et transfert de chaleur



Visualisation de l'écoulement de l'air chaud dans un four (¼ de four)

- **Compromis entre résultats numériques et contraintes techniques**

- 3X7 buses de 32,5 mm de diamètre

- Vitesse d'injection réglable inférieure à 7 m/s

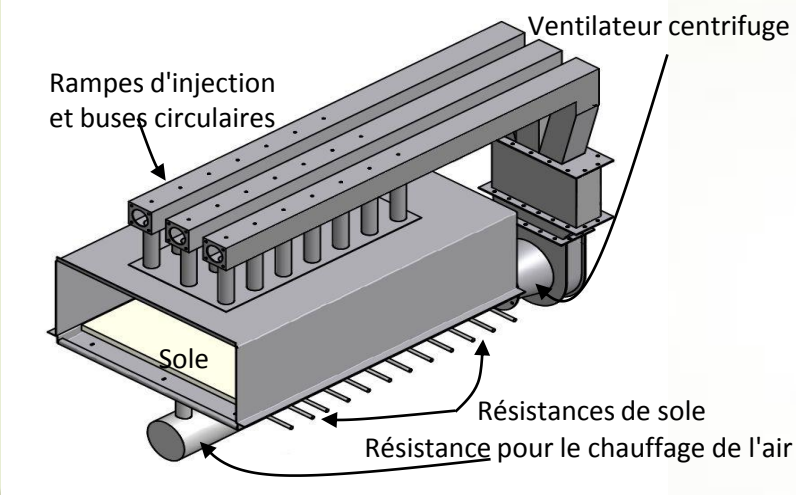
- Fentes de sortie latérales (sole réduite)

O. Rouaud, S. Curet-Ploquin, D. Gabric, A. Rzigue (2013) 'Jet impingement oven for bread baking: development and energy consumption'

ACV et Optimisation énergétique: cas de la panification

- **ACV et Optimisation numérique**

« ANR BRAISE »: FOUR A JETS EN IMPACT



Photographie du four finalisé

Four référence:
Préchauffage : 13,5 MJ (245°C)
Bilan énergétique cuisson : **2 MJ/kg$_{pâte}$**

Four à jets en impact :
Optimum pour des températures de sole de l'ordre de 180°C
Préchauffage : 14 MJ
(car Surfaces et Masse four FJI **>** *Surfaces et Masse four FB)*
Bilan énergétique cuisson : **1.65 MJ/kg$_{pâte}$**

- **↑coefficients de convection ⇒**
  ↓ températures de cuisson
- **Gain énergétique : 17,5%**

O. Rouaud, S. Curet-Ploquin, D. Gabric, A. Rzigue (2013) 'Jet impingement oven for bread baking: development and energy consumption'

Conclusions et perspectives

- **Eco-conception**

Différentes stratégies possibles pour répondre aux nouveaux enjeux

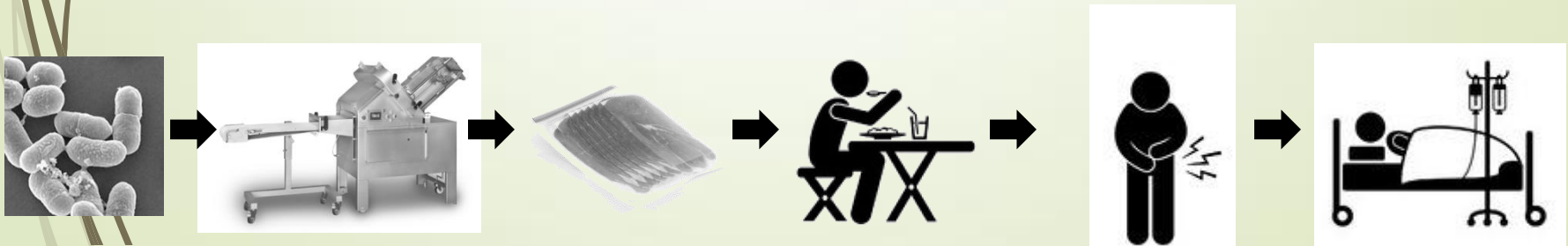
Nécessité de coupler les outils pour une optimisation multi-objectifs

- **Spécificités des procédés agro-alimentaires**

Prise en compte de la qualité de l'aliment

⇒ Besoin de développer cet aspect dans les outils, notamment dans l'ACV

Développement de facteurs de caractérisation pour un indicateur de l'impact potentiel de l'aliment sur la santé humaine (thèse G. Villamonte, 2014)



Merci de votre attention