AIDE À L'OPTIMISATION DE LA CUISSON EN FOUR TUNNEL INDUSTRIEL GRÂCE À UN FOUR PILOTE.

SOMMIER Alain, ROJAS Juan, VIGNOLLE Marc

PLAN

- Contexte : un marché alimentaire varié en perpétuel renouvellement
- Problématique
- Le four pilote
  - Contrôle/commande
  - Solution technique choisie
- Le changement d’échelle four industriel four pilote
- Programme de supervision
- Résultats obtenus
- Conclusions et perspectives.

DE LA VARIÉTÉ DANS LES PRODUITS ALIMENTAIRES

- Chaque industriel à une large gamme de produits parfois quelques centaines de références
- Picard 300 produits en 1945, 450 références en 1973 sans doute plus de 1000 aujourd'hui.
- Marie groupe Uniq nombre de références produit frais et surgelé +100 références (hors MD).

NÉCESSITÉ DE RÉPONDRE AU MARCHÉ…

- Un climat de contrainte : l'aliment doit être *bon*, *sanitairement irréprochable* et *fonctionnel…*

Allégé… light

Camembert 11% vs 40%

Beurre 40% vs 82%

Des fibres en plus

Du sel en moins

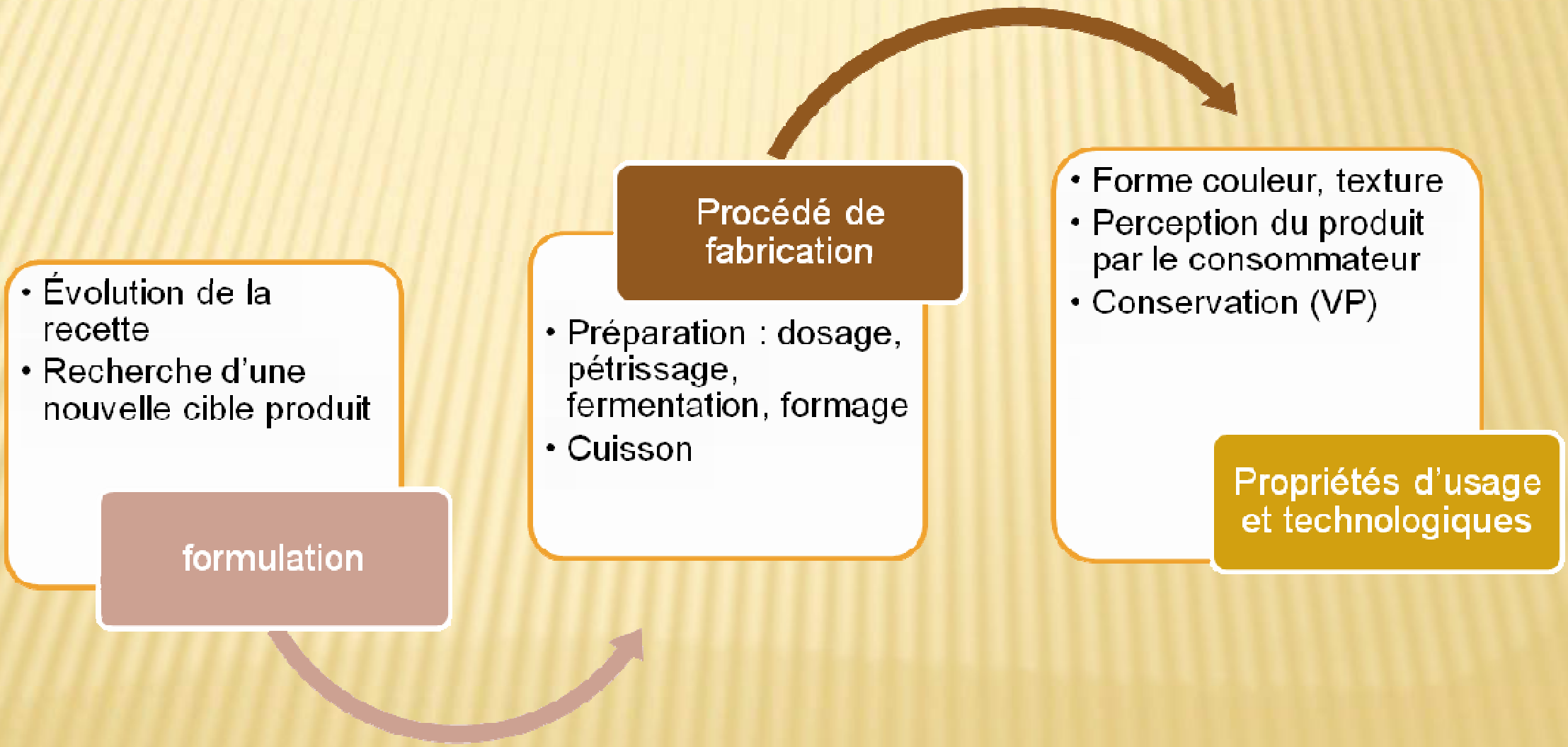
Parfois des directive Eu

(ex : le pain)

Vers « l'alicament »??

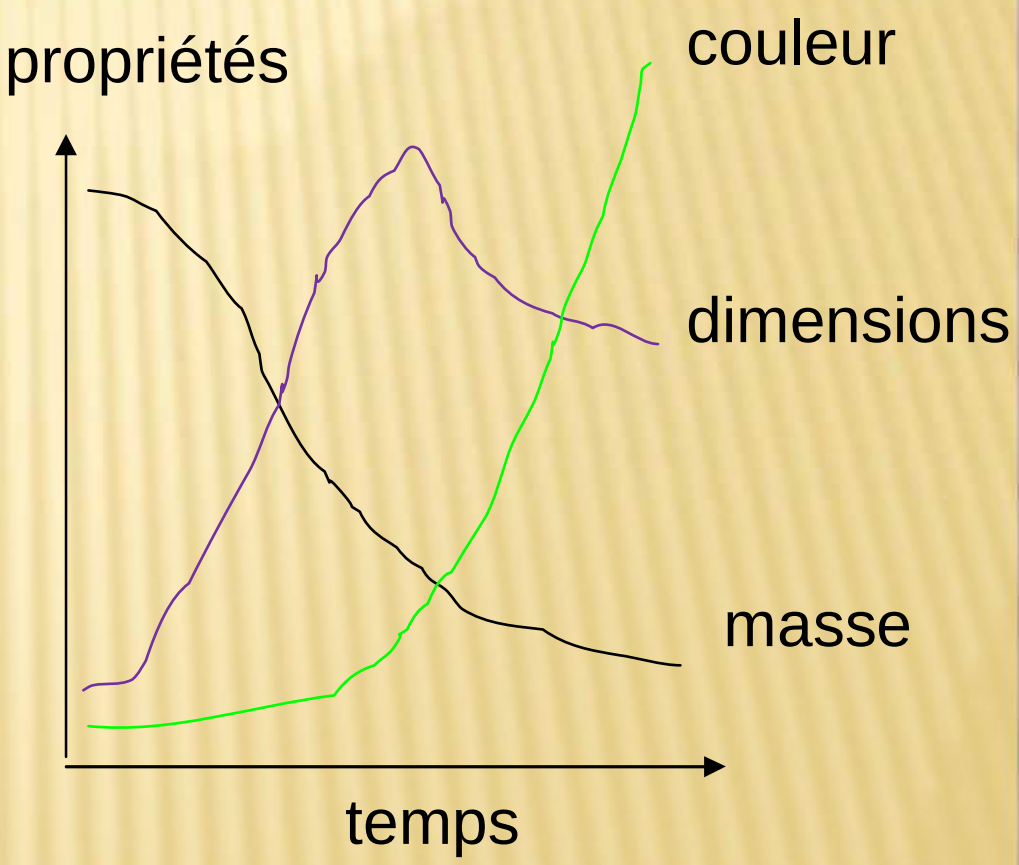
UNE OFFRE EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION…

- Les gammes sont renouvelée de plus en plus fréquemment et/ou le produit évolue pour répondre au marché



UNE ÉTAPE CLEF : LA CUISSON

- La cuisson a pour but d'absorber la variabilité des opérations amonts
  - Variabilité d'ingrédient
  - Conduite empirique des opérations en amont
- Stabiliser la structure issue du formage et conférer au produit une large gamme de propriétés (chauffer ne revient pas à élever la température du produit)
- La variation des propriétés « macroscopiques » suit une LOI CINETIQUE dont l'allure dépend de la recette de fabrication soit à la fois :
  - Des ingrédients composant la formule
  - Des conditions opératoires associées à la cuisson.



Wade, 1988

PROBLÉMATIQUE

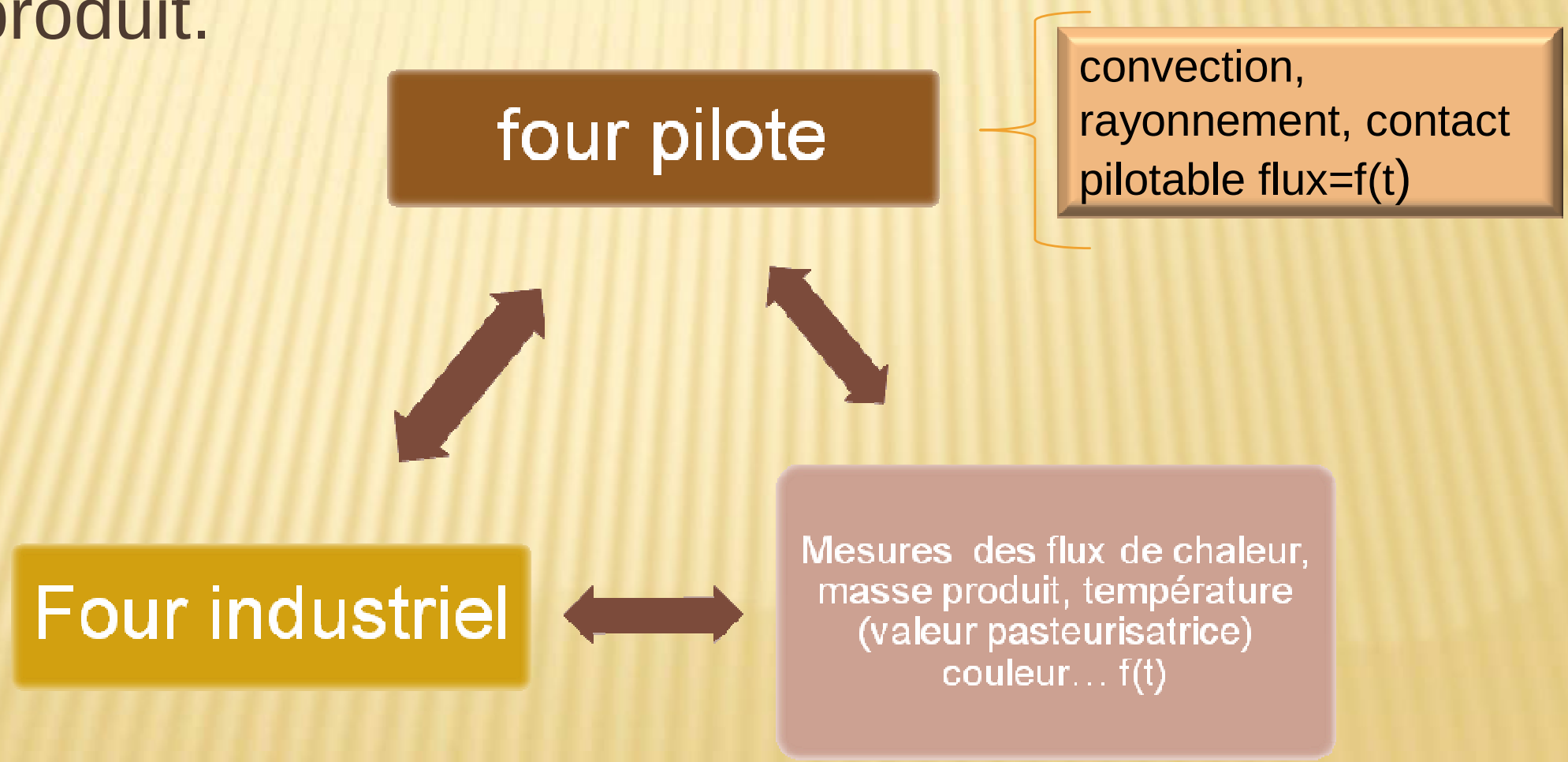
- Dimension d'un four tunnel de 20 à 50 mètres
- Capacité de 300 à 1400 produits
- Temps de cuisson de 2 à 60 minutes

- Recherche des conditions de cuisson par mode essai/erreur
- Chaque mauvais réglage = perte produit, énergie, main d'œuvre….

Nécessité d'un outil et d'une méthode permettant de passer d'un four industriel à un four pilote et réciproquement

LE FOUR PILOTE

- Idées directrices :
  - four versatile disposant des trois types de transfert de chaleur pilotable en fonction du temps.
  - Instrumentation donnant accès à des données process et produit.

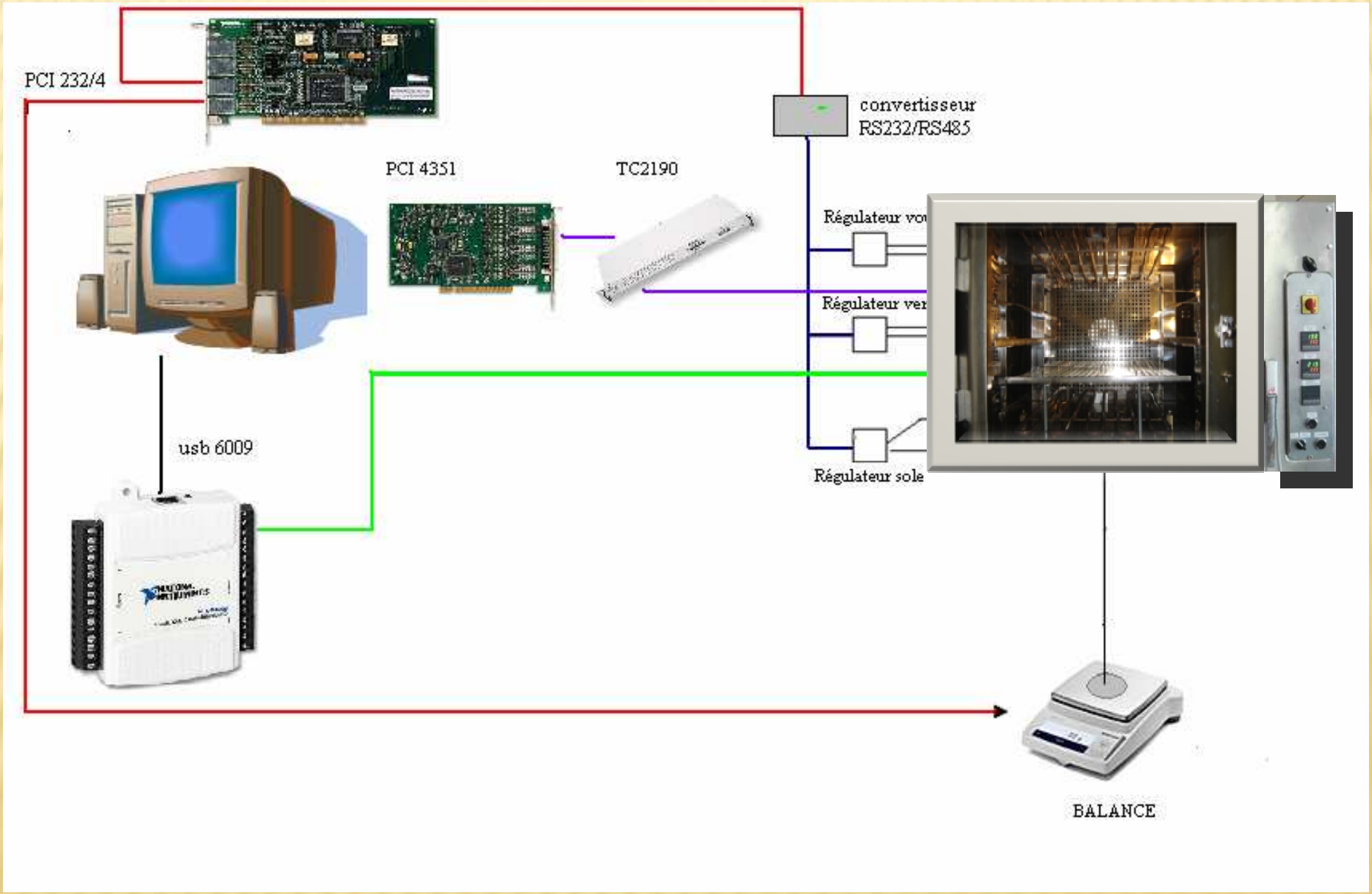


MATÉRIEL DE CONTRÔLE COMMANDE

- 3 régulateurs PID (sole, voûte, chaleur tournante)
- Une balance : masse du produit(t)
- Peigne de thermocouple T(t) -> Valeur Pasteurisatrice
- Capteur de flux :
  - Quantifier la balance rayonnement / convection / flux total
  - Quantifier les coefficients d'échanges
- Capteur de pression, HR%...

Contrainte : chaque fournisseur propose son logiciel de pilotage (souvent non ouvert)
Difficulté d'obtenir une unité dans les résultats et une unité de temps.

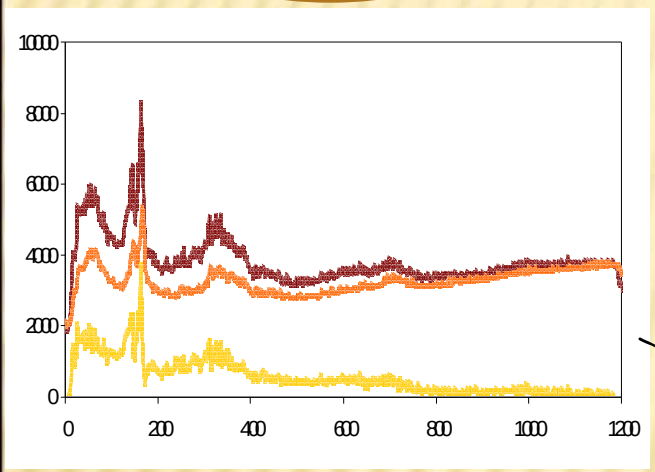
SOLUTION TECHNIQUE RETENUE



CHANGEMENT D'ÉCHELLE

Contrôler et piloter grâce aux connaissances acquises

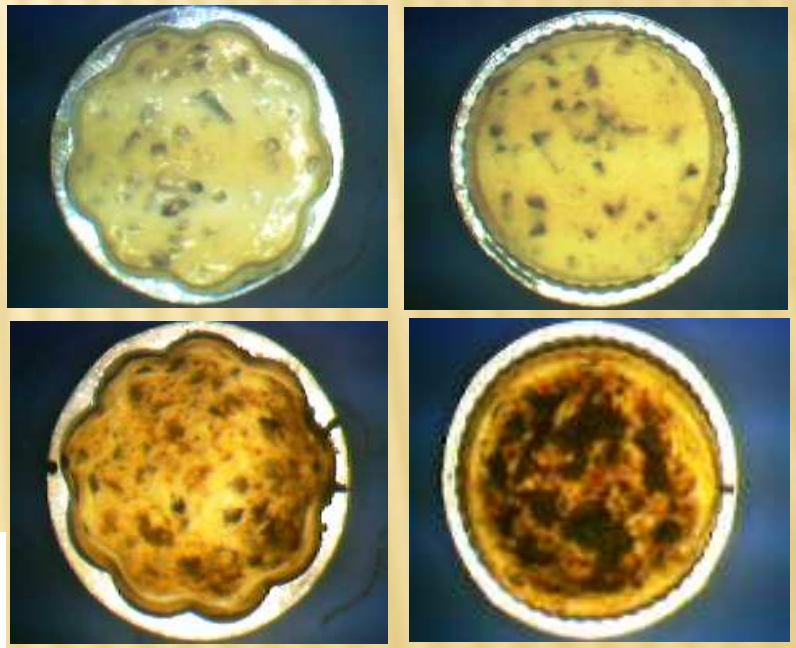
Procédé



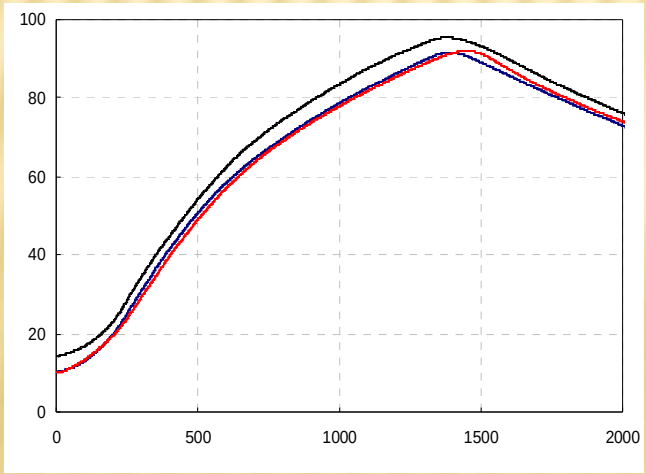
Flux de chaleur f(t)

Four industriel

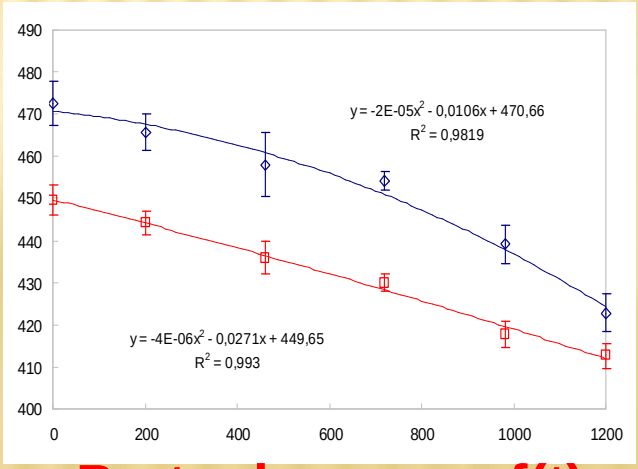
Four pilote



Coloration de surface f(t)



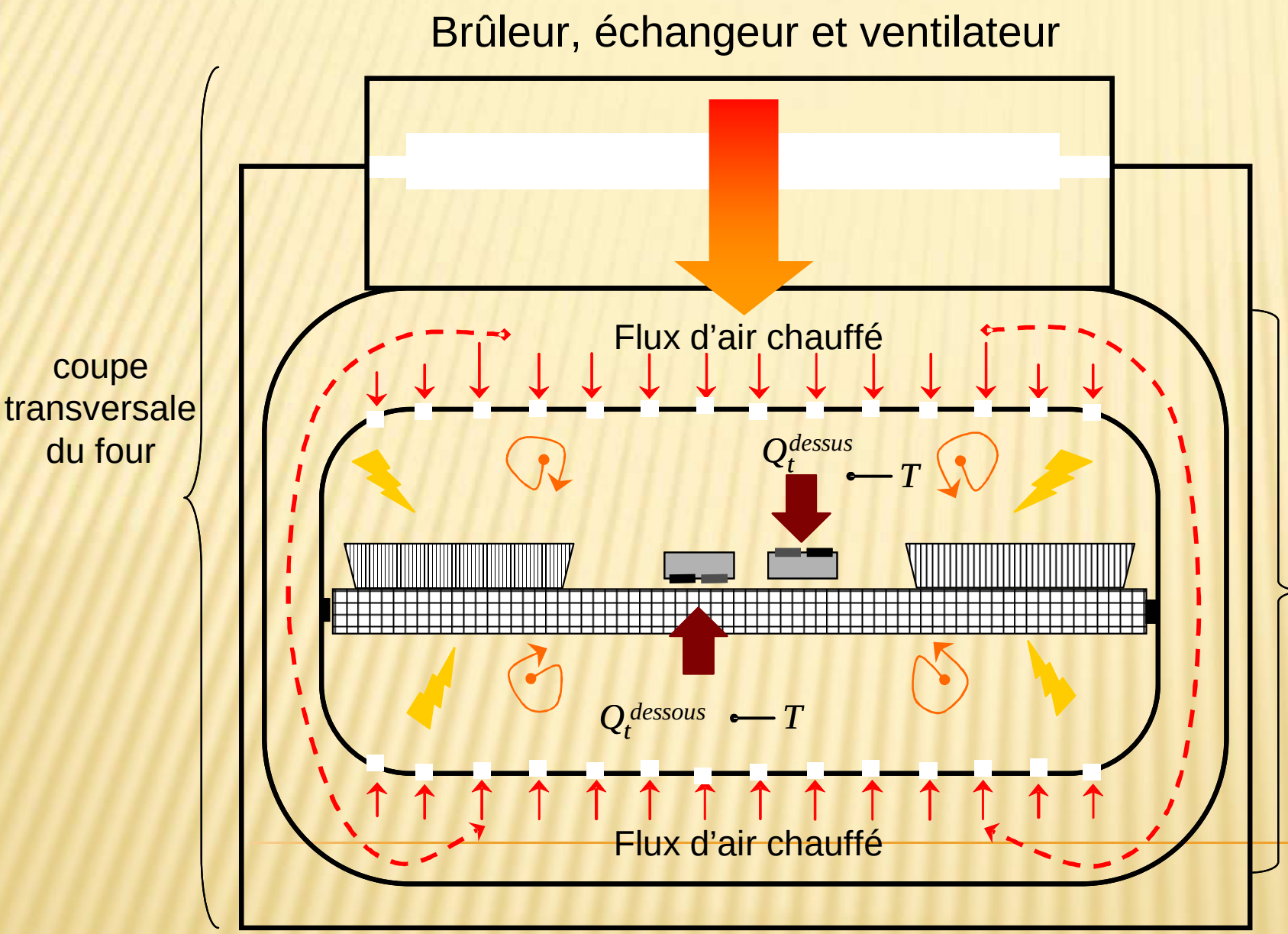
Valeur pasteurisatrice f(t)

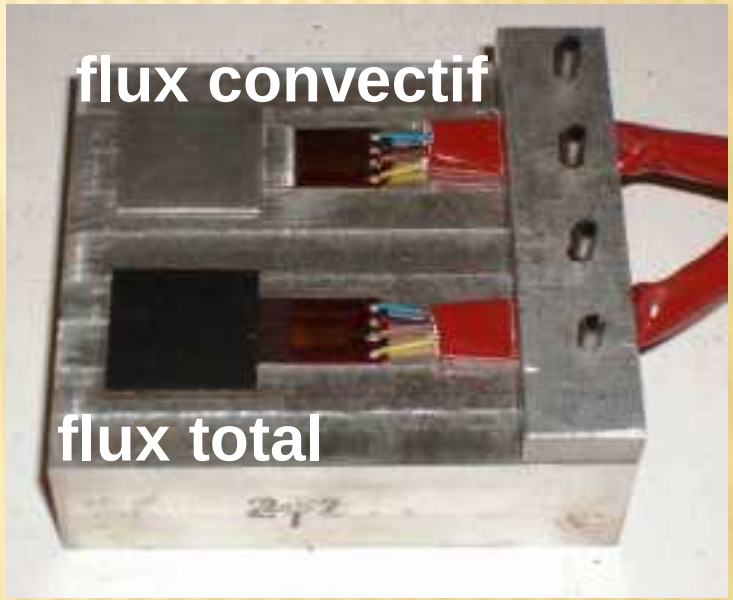


Perte de masse f(t)

Produit

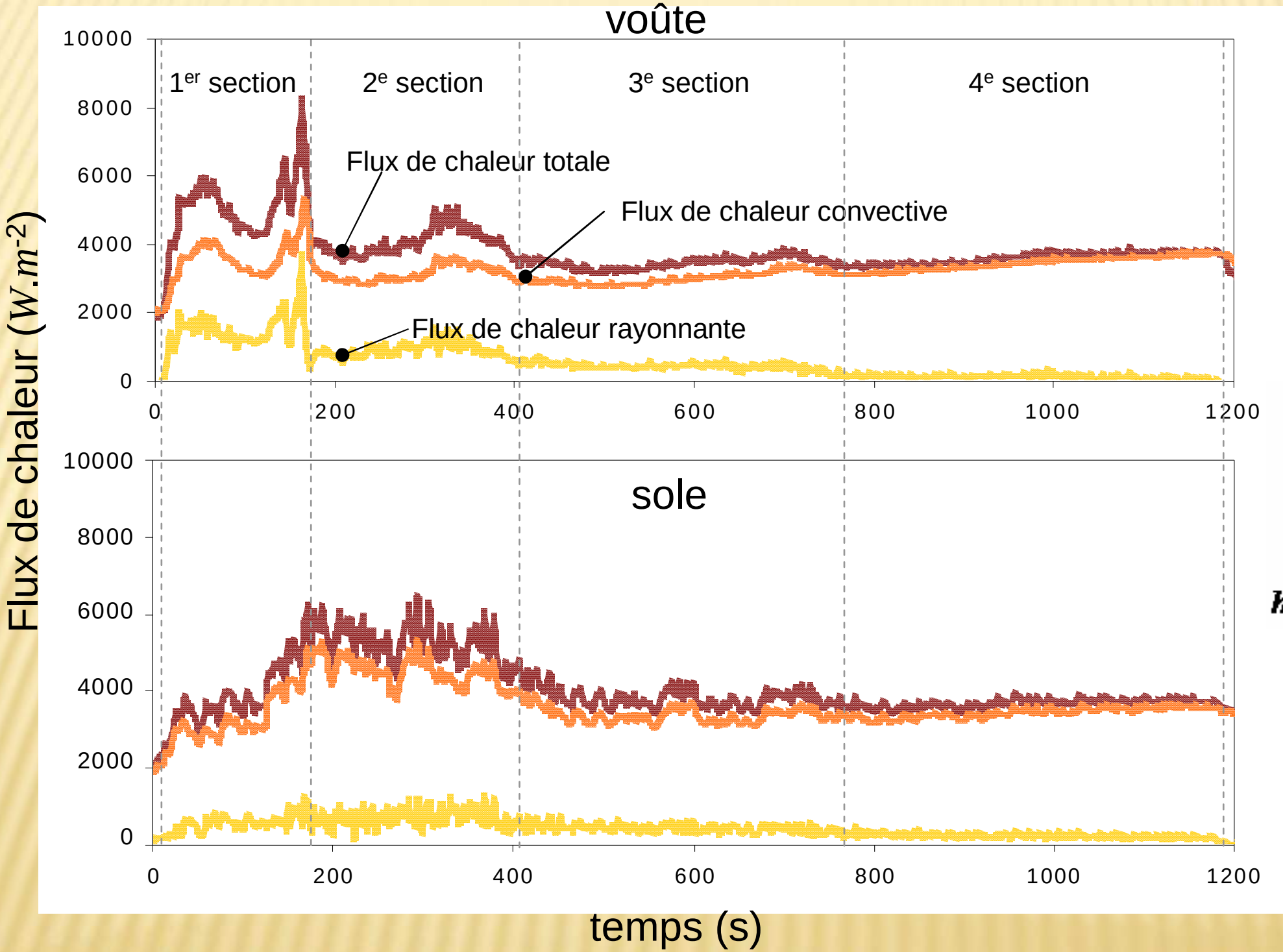
Caractérisation de la ligne industrielle





$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{ray}$$

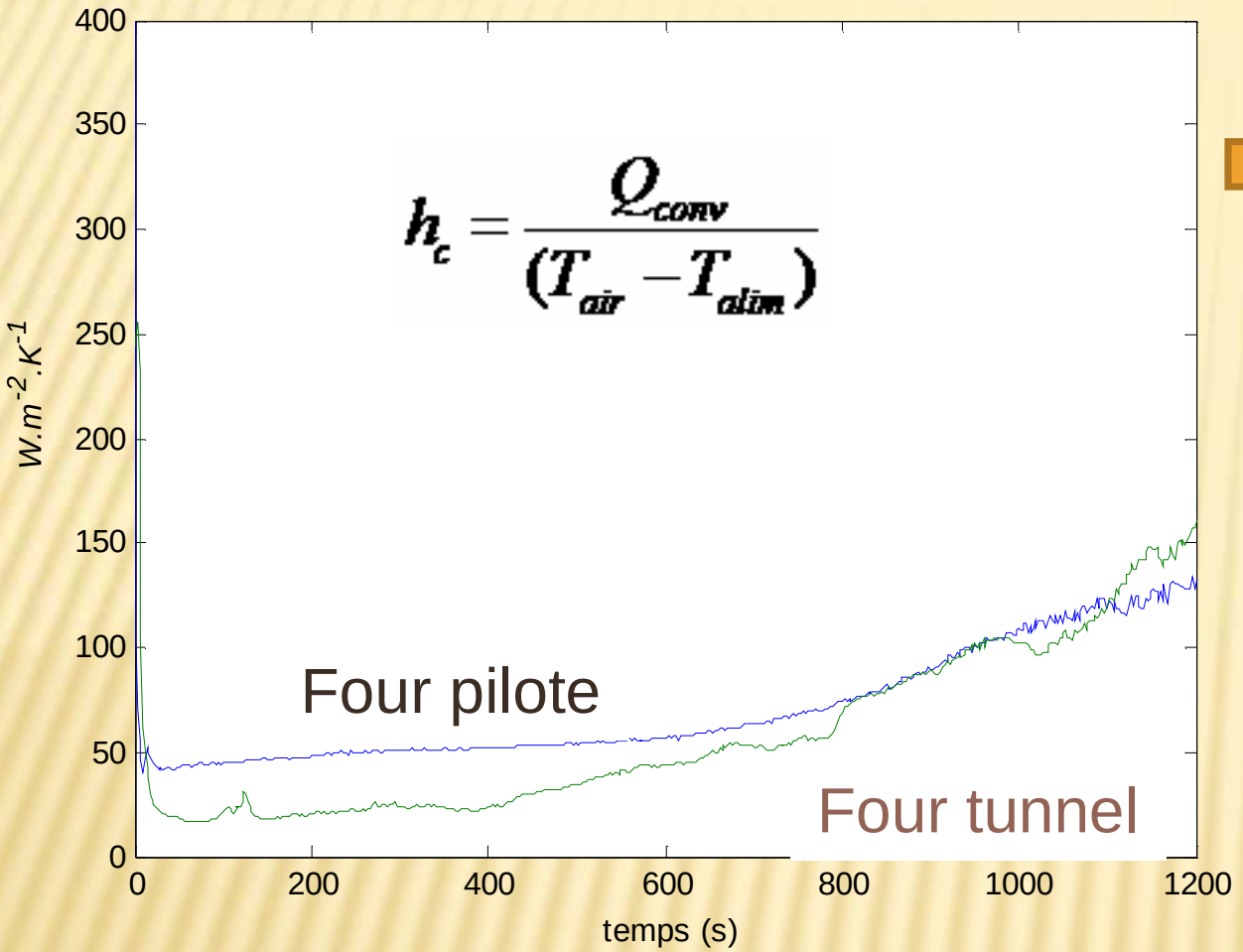
$$Q = m \cdot cp \cdot (T_{alim} - T_{ref})$$

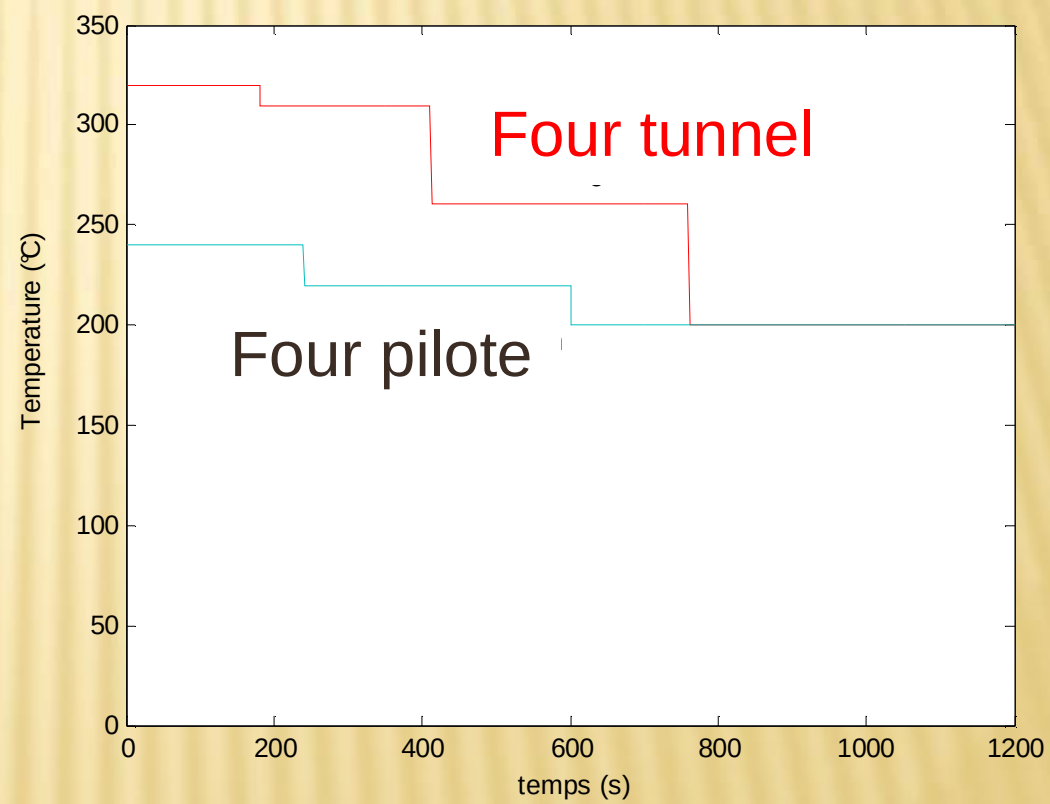


$$h_c = \frac{Q_{conv}}{(T_{air} - T_{alim})}$$

$$h_c = 20 - 70 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

ABAQUE DE CORRESPONDANCE ENTRE LES DEUX FOURS



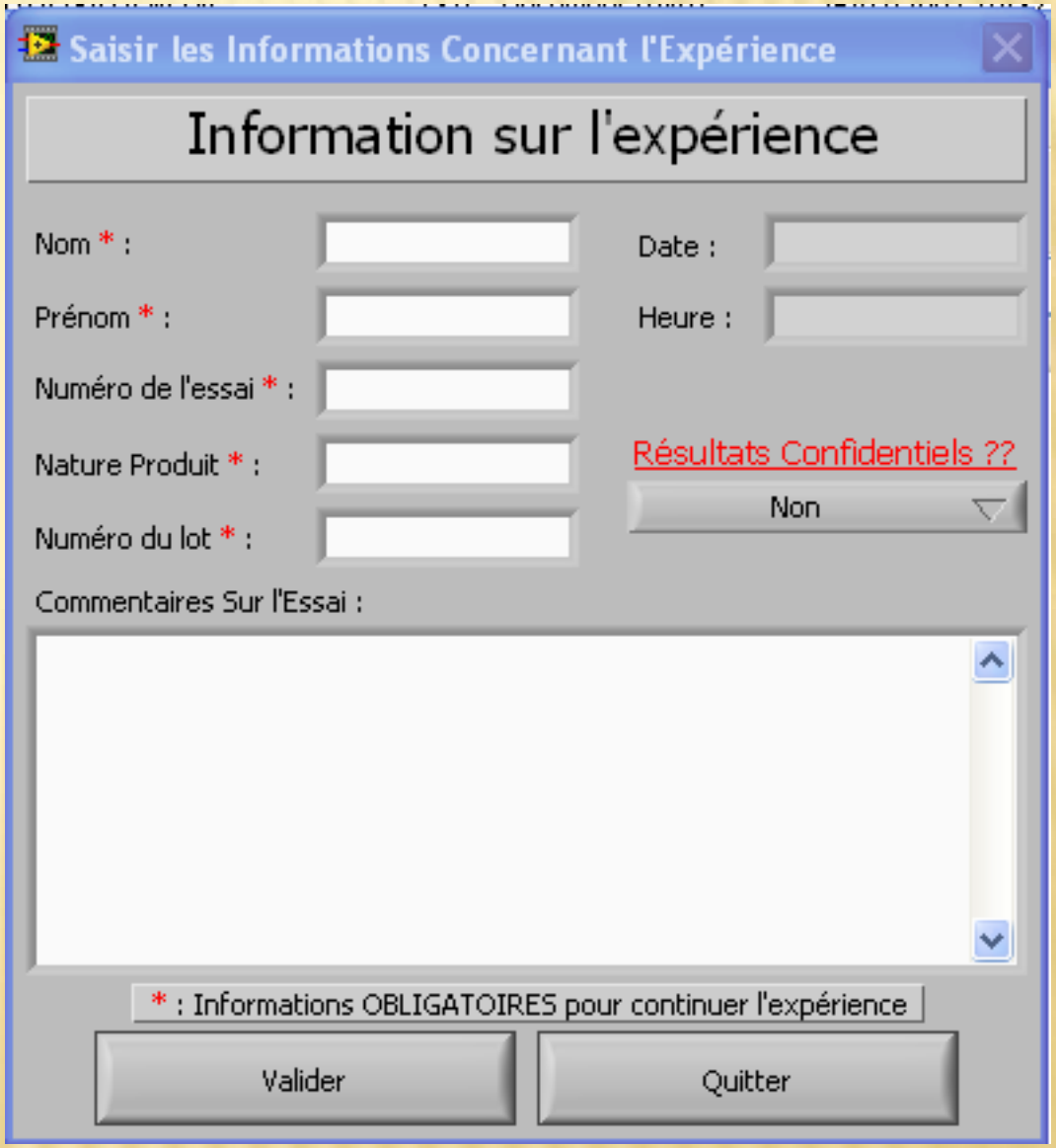


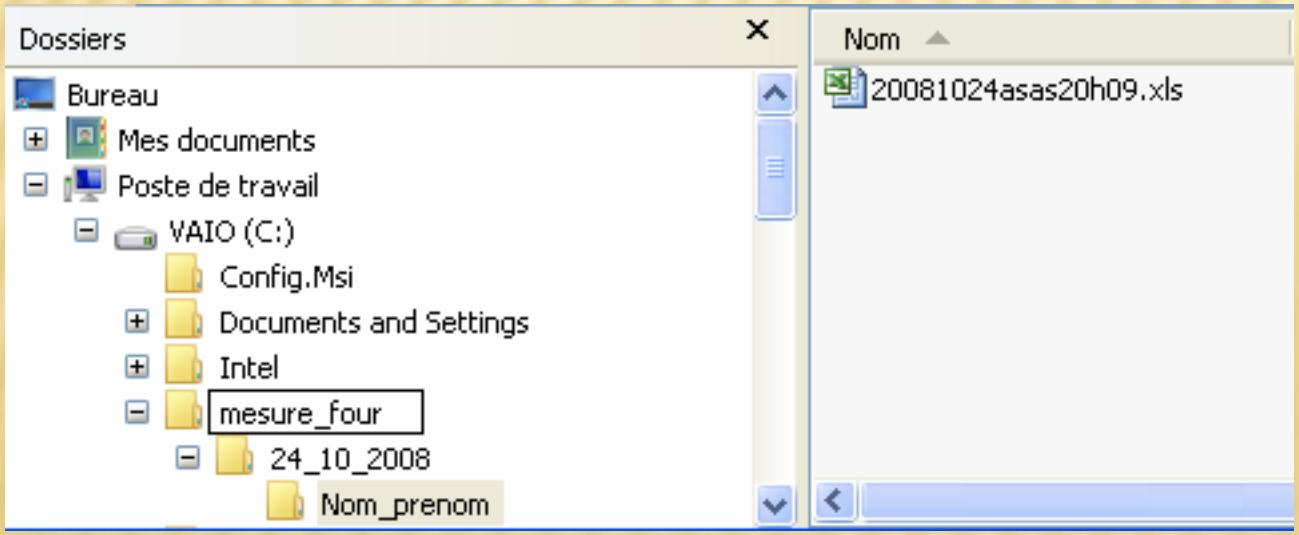
$$h_c = 20 - 70 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Importance de maintenir l'équilibre de la balance des flux de chaleur

STRUCTURE DU PROGRAMME

- Pour aider à la traçabilité des utilisateurs et des produits le programme est d'abord constitué d'un sous-vi information expérience
- Le nom, prénom, date et heure vont former le nom du fichier de sauvegarde des données et générent des sous répertoires
- On incrémente un fichier « espion » : *Date_user_utilisation.txt*





DATE_USER_UTILISATION

Sur quoi ?

SOMMIER	alain	23/10/2008	16:55	carbonne	18:10
SOMMIER	alain	28/10/2008	11:57	cliquant noir	11:59
SOMMIER	alain	28/10/2008	12:00	clinquant noir	12:33
FIGO	fago	28/10/2008	13:09	inconue	16:10
FIGO	fago	28/10/2008	16:47	inconue	17:18
FIGO	fago	28/10/2008	17:22	inconue	17:59
SOMMIER	alain	29/10/2008	14:25	test stabilité détecteur	15:41
SOMMIER	alain	29/10/2008	15:41	clinquant	15:53
SOMMIER	alain	29/10/2008	17:42	bloc acier	17:51
NOEL	frederic	30/10/2008	17:33	test alim	17:54
NOEL	fred	30/10/2008	17:56	test alim	17:59
NOEL	fred	30/10/2008	18:11	test alim	18:23
NOEL	frédéric	31/10/2008	09:07	test alim	11:15
FIGO	fago	31/10/2008	11:19	carbone	16:25
FIGO	fago	03/11/2008	16:54	4444	16:55
FIGO	fago	04/11/2008	14:16	6667	15:12
NOEL	fred	04/11/2008	16:57	test laser	16:57
NOEL	fred	04/11/2008	16:57	test laser	17:06
FIGO	fago	04/11/2008	17:06	étalonnage	17:06
SOMMIER	alain	05/11/2008	09:43	four/détecteur	10:25
SOMMIER	alain	05/11/2008	10:25	étalonnage four	10:37
SOMMIER	alain	05/11/2008	10:37	détecteur	13:45
SOMMIER	alain	05/11/2008	13:59	étalonnage four	14:45
SOMMIER	alain	05/11/2008	16:05	détecteur	17:21

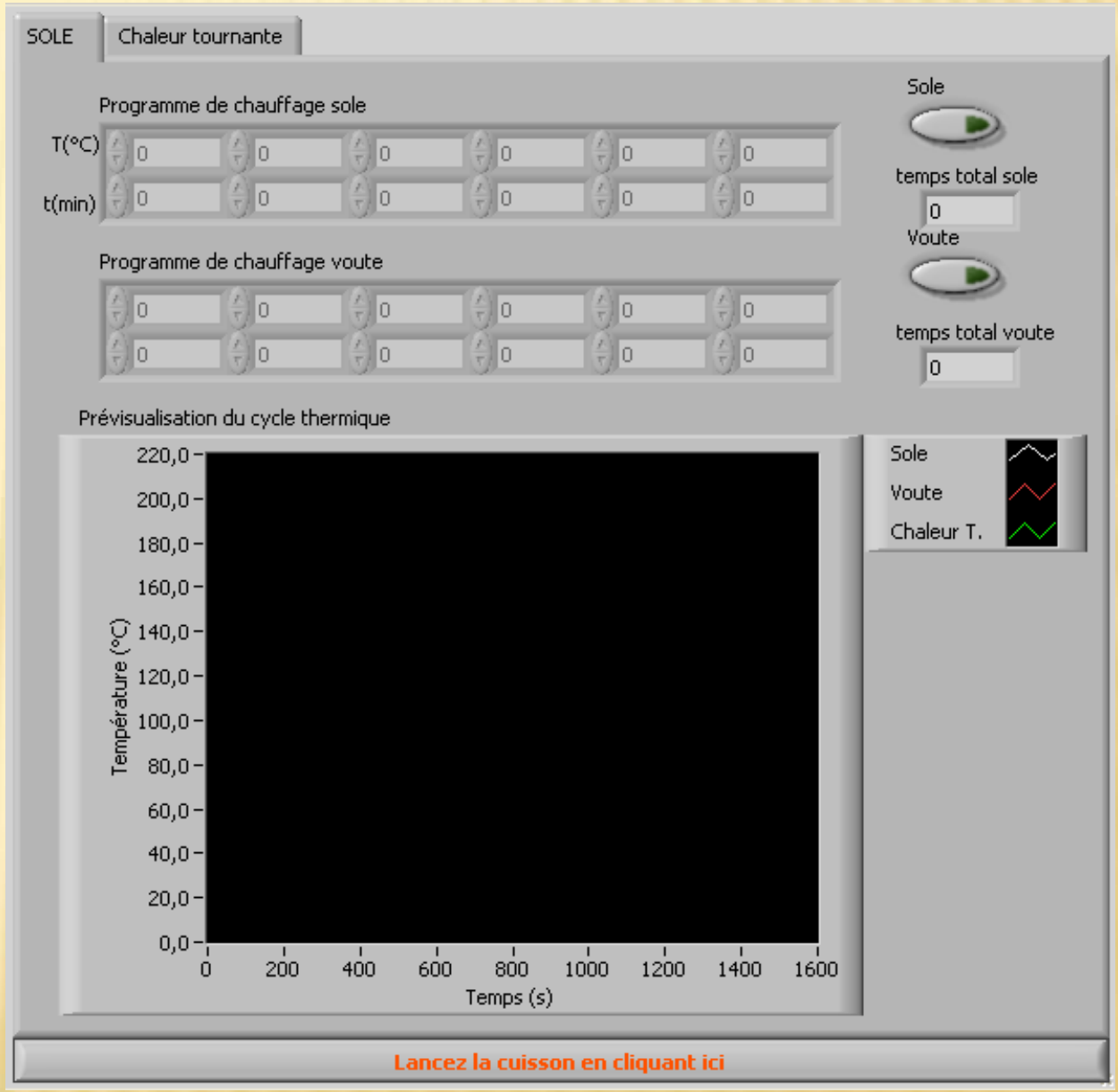
Qui ?

Quel jour ?

Combien de temps?

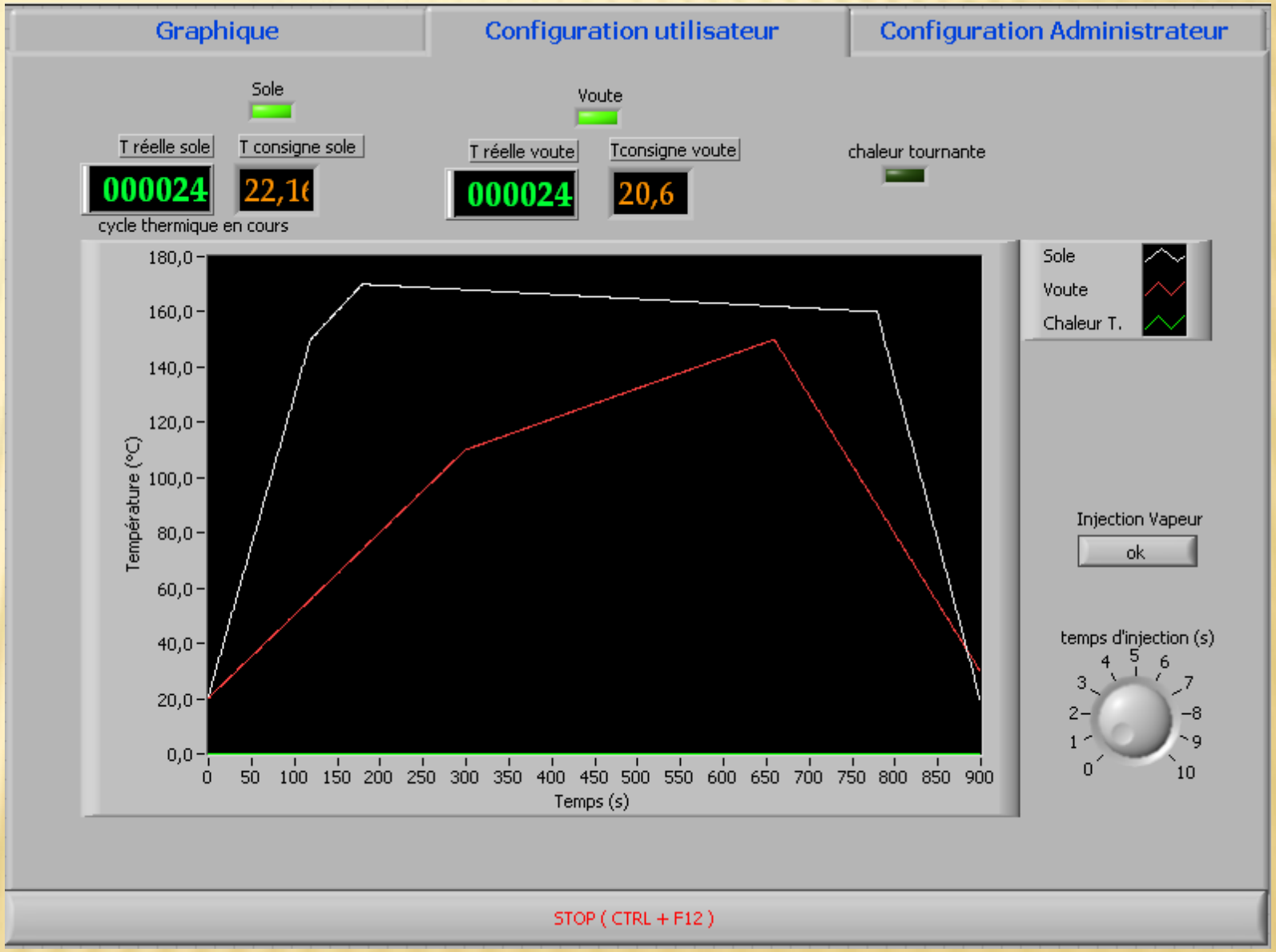
PROGRAMMATION DU FOUR

- L'opérateur indique la température et le temps soit de stabilisation soit entre deux paliers.
- Il choisit le mode de transfert de chaleur souhaité sole/voûte ou chaleur tournante.
- Puis il choisit les capteurs dont il veut faire l'acquisition (balance, thermocouple, HR%....)



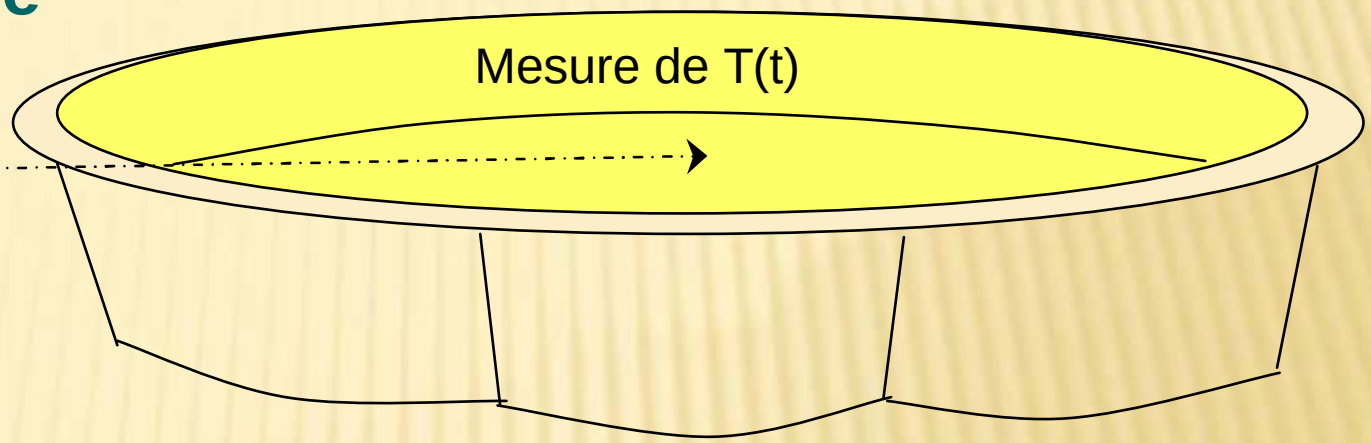
DÉROULEMENT DU PROGRAMME

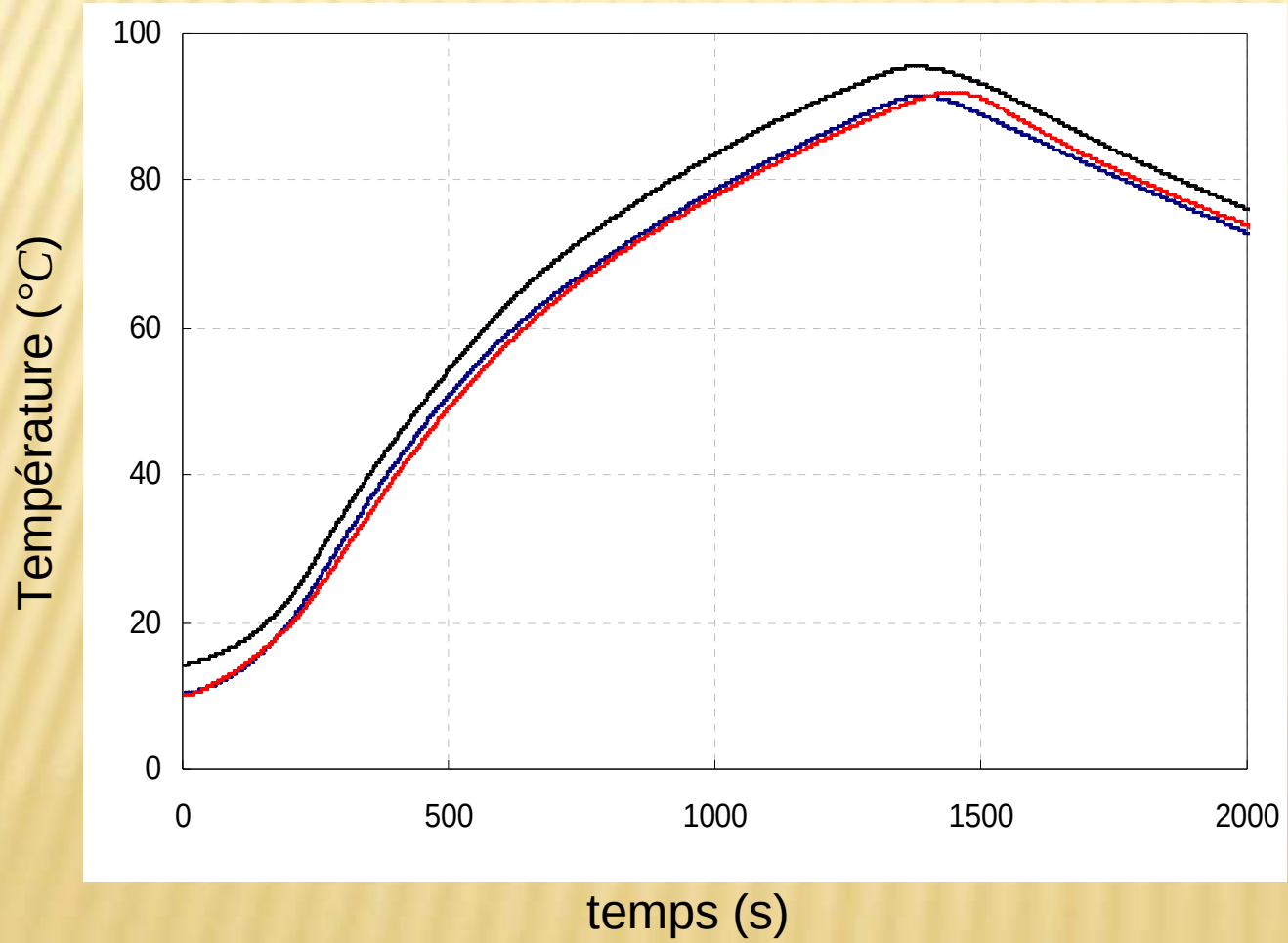
- Visualisation graphique des données ou de la configuration choisie par l'utilisateur
- La configuration administrateur est protégée par mdp car elle contient les variables sensibles



RÉSULTATS : CARACTÉRISATION DU PRODUIT

- **suivi de la température interne = suivi de la valeur pasteurisatrice (VP)**

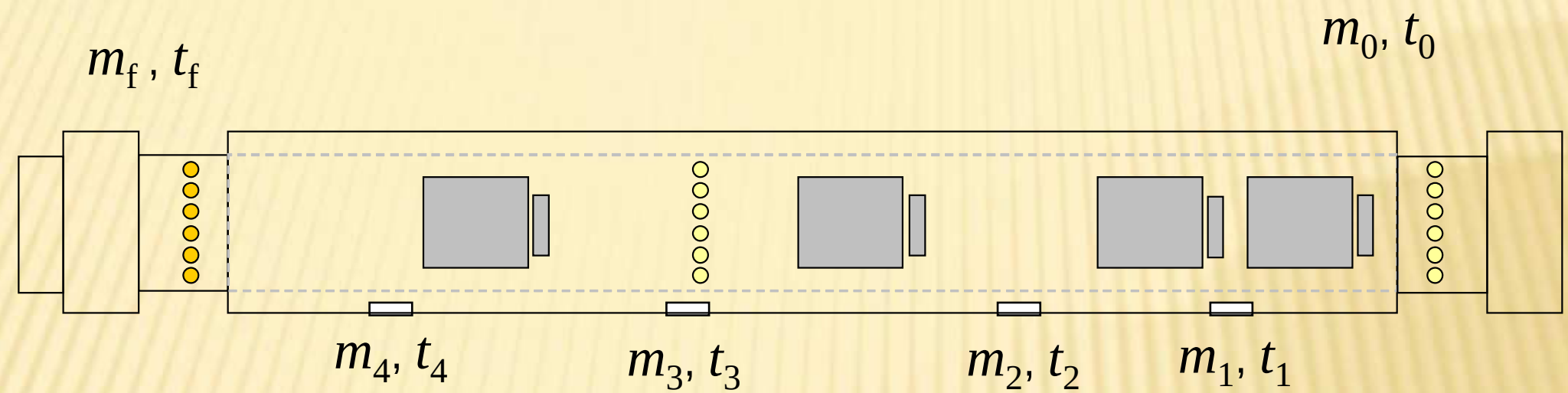


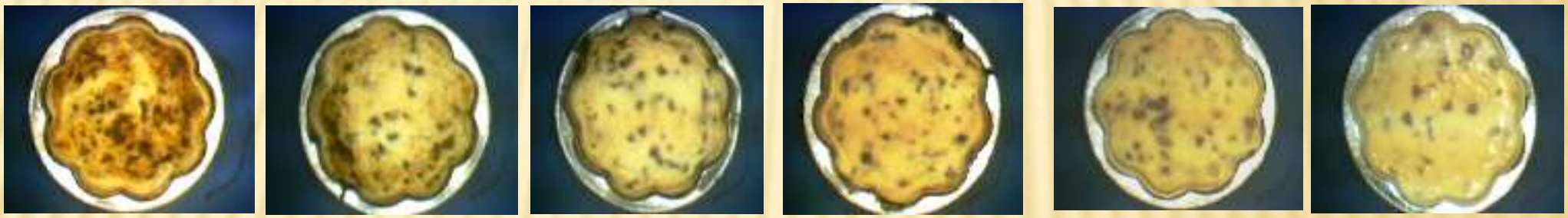


$$VP = \int_0^i 10^{\left(\frac{T_{alim} - T_{ref}}{z}\right)}$$

$$T_{ref} = 70°C \quad ; \quad z = 7°C$$

Coloration de surface = % de surface dorée





60 % de surface dorée

Four pilote Four industriel

A PARTIR DE CE POINT…

- Mise au point d’une nouvelle recette en connaissant déjà les caractéristiques produits : couleur, texture, valeur pasteurisatrice…
- Recherche d’un optimum sur la recette existante ex : croustillant pâte (plan d’expérience et retour sur four tunnel avec déjà les tendances de réglages)
- …

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Programme évolutif la première version date de 2000 (labview 6i) quant aux régulateurs…
- Possibilité de caractériser un produit de manière très rapide
- Possibilité de gérer la balance des flux thermiques
- Reproduction des conditions industrielles à l’échelle pilote et possibilité de reboucler vers l’outil industriel après mise au point d’une recette
- Implantation de nouveaux capteurs IR, couleur…