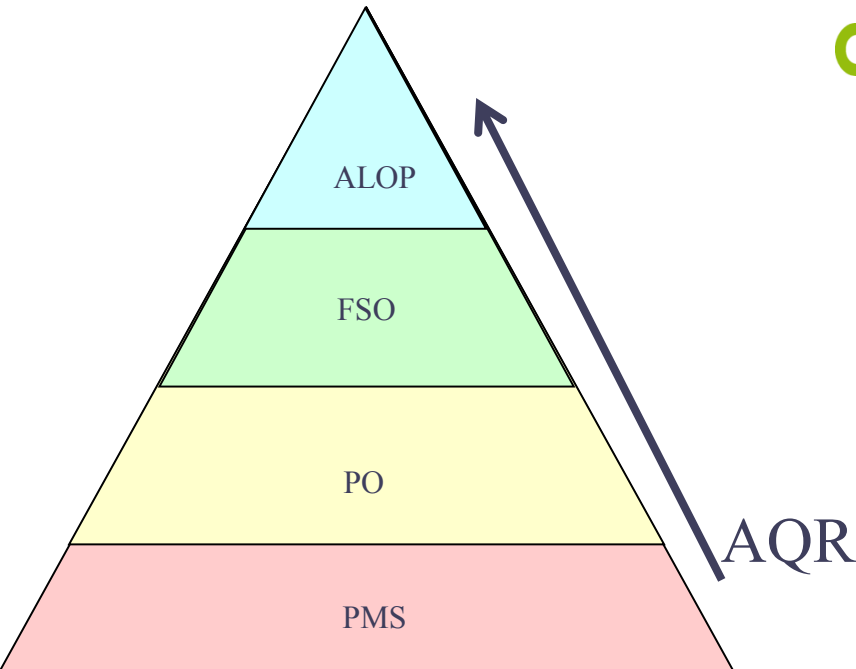




# Cas de *Clostridium perfringens* dans un plat en sauce en restauration collective : bilan d'exposition et appréciation du risque.

S. Jaloustre, E. Morelli, V. Noël, G. Poumeyrol, ANSES  
M.L. Delignette-Muller, VetAgrosup

# Contexte réglementaire



## Obligation de résultat lié au processus de fabrication

- | Identification des dangers
- | Identification du **niveau acceptable** de chaque danger dans le produit fini
- | Sélection et **évaluation** des mesures de maîtrise permettant d'atteindre ces niveaux acceptables
- | Validation des mesures de maîtrise : **preuves** de leur **efficacité**

# Métriques de l'AQR

- ↪ **ALOP (Appropriate level of protection)** : niveau de protection considéré approprié (...) pour protéger la santé et la vie des personnes (...) ('niveau acceptable de risque')
- ↪ **FSO (Food safety objective)** : fréquence maximale et/ou concentration maximale d'un danger présenté par un aliment au moment de sa consommation et qui assure ou contribue à assurer l'ALOP
- ↪ **PO (Performance objective)** : fréquence maximale et/ou concentration maximale d'un danger présenté par un aliment à une étape donnée de la chaîne alimentaire précédant la consommation et qui assure ou contribue à assurer la réalisation d'un FSO ou de l'ALOP
- ↪ **CP (Critère de performance)** : effet recherché sur la fréquence et/ou concentration d'un ou des dangers présentés par un aliment à la suite de l'application d'une ou de plusieurs mesures de maîtrise dans le but de réaliser un PO ou un FSO, ou de contribuer à leur réalisation



# Calcul de ces métriques

## Utilisation de modèles pour :

- ! décrire l'évolution du danger pendant le procédé de fabrication d'un produit
- ! estimer un risque lié à la consommation du produit

## Modélisation nécessairement stochastique

## Nécessité de prendre en compte variabilité et incertitude (*Codex alimentarius*, Commission Européenne)

# Variabilité et incertitude

## ↳ Variabilité

- | Hétérogénéité naturelle des composantes d'un modèle
- | Inhérente au modèle

## ↳ Incertitude

- | Manque de connaissance du modélisateur sur les paramètres du modèle ou sur le modèle
- | Peut être réduite par l'acquisition de données.

## ↳ Nécessité d'intégrer la variabilité inhérente au modèle pour répondre aux besoins :

- | du gestionnaire du risque : estimation d'un risque pour la population, si possible assorti de son incertitude
- | des professionnels de l'agroalimentaire : moyens de maîtriser ce risque

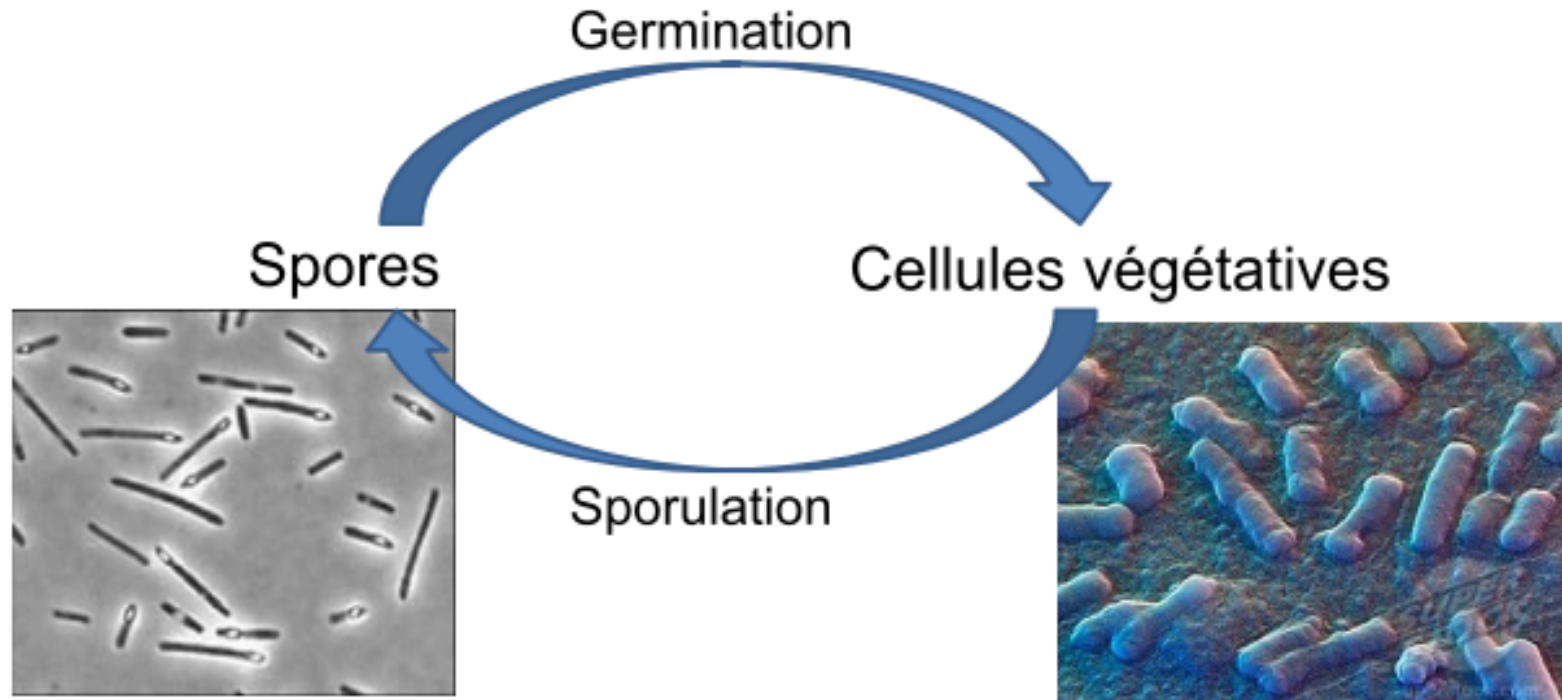
# Etude de cas

## ↳ Clostridium perfringens en restauration hospitalière :

- ! responsable de nombreuses Toxi Infections Alimentaires Collectives (TIAC) en restauration collective : en 2011, 20.2% des cas
- ! Mortalité dans 0.05% des cas (personnes particulièrement fragiles)

## ↳ Dans le cadre du projet Quant'HACCP :

- ! caractérisation fine du procédé dans un hôpital
- ! modélisation du devenir de *Clostridium perfringens* le long de ce procédé
- ! identification et évaluation de mesures de maîtrise

*Clostridium perfringens*

Forte thermorésistance  
Activation par choc chaud

Faible thermorésistance  
Croissance potentiellement  
rapide  
Responsables des symptômes

# Etude de cas

Matières premières

Cuisson

*Attente avant portionnement*

Mise en bacs multiportions

*Attente avant entrée en cellule*

Refroidissement rapide

Stockage

Allotissement et  
mise en chariot

Réfrigération

Remise en température

Attente

Distribution aux malades

**Clostridium perfringens** en  
restauration hospitalière  
(bœuf bourguignon et  
goulash)

- Enregistrement des pratiques des opérateurs
- Prélèvements pour analyses
- Enregistrement de profils thermiques

# Devenir des spores pendant le procédé

Matières premières

Cuisson

*Attente avant portionnement*

Mise en bacs multiportions

*Attente avant entrée en cellule*

Refroidissement rapide

Stockage

Allotissement et  
mise en chariot

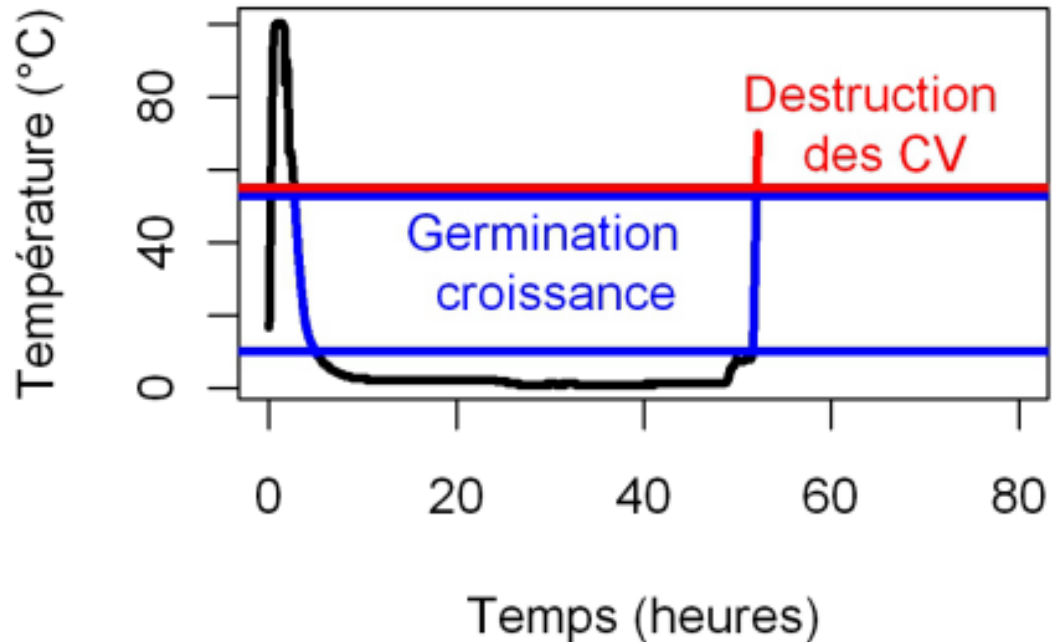
Réfrigération

Remise en température

Attente

Distribution aux malades

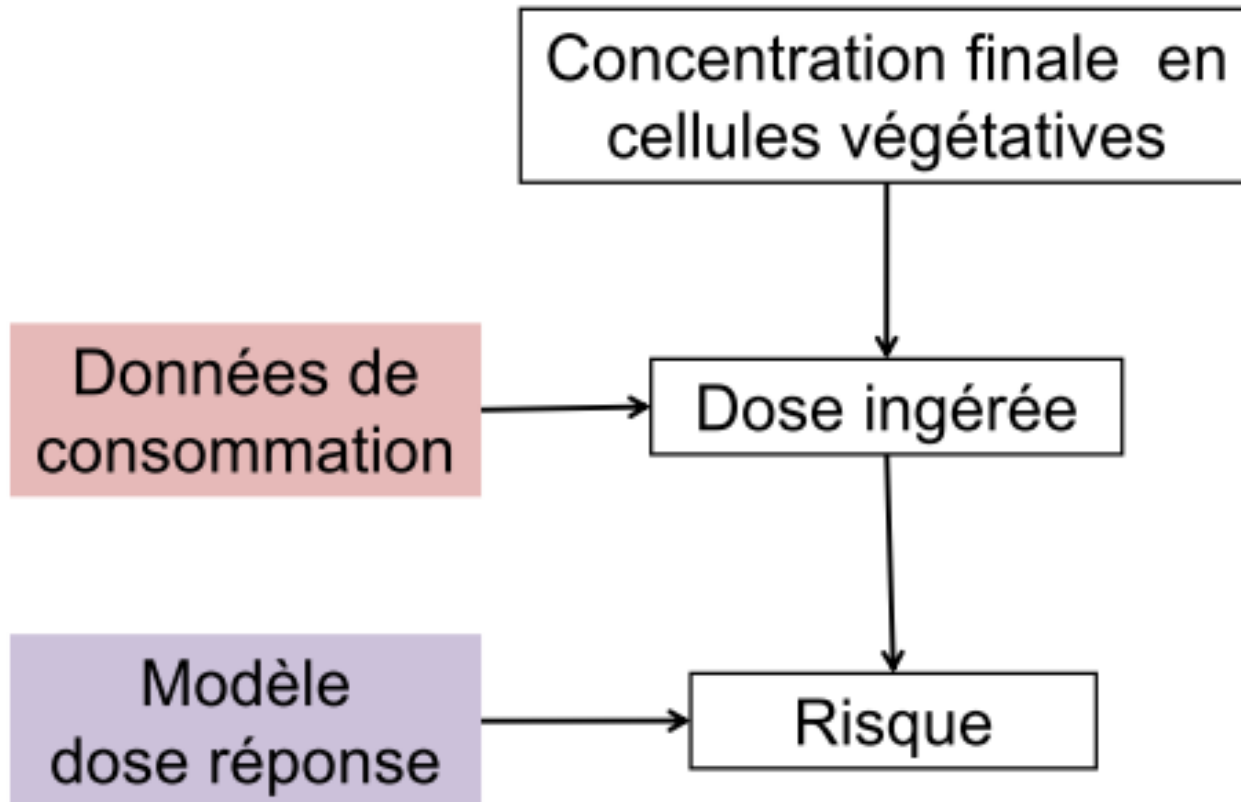
## Spores --> Cellules végétatives (CV)



## Hypothèse sécuritaire

- ! Toutes les spores présentes dans les matières premières germent

# De la concentration finale au risque





# Validation des mesures de maîtrise

## 3 modèles construits :

- | modèle de germination croissance
- | modèle de destruction des cellules végétatives
- | modèle dose réponse

## Utilisation des modèles pour évaluer des mesures de maîtrise :

- | identification des étapes clés pour la maîtrise du risque
- | proposition et évaluation de nouvelles mesures de maîtrise

# Démarche de modélisation

- ↳ Méta analyse de données publiées sur *Clostridium perfringens* :
  - ! Bases de données internationales ou articles
  - ! Exploration des conditions expérimentales
  - ! Sélection des données
- ↳ Construction de modèles stochastiques
- ↳ Validation de chaque modèle à partir de données publiées
- ↳ Utilisation de chaque modèle pour proposer des mesures de maîtrise



# Modèles microbiens

- ↳ Modèle de germination croissance de *Clostridium perfringens*
- ↳ Modèle de destruction des cellules végétatives



# Modèle de germination croissance de *Clostridium perfringens*

**Objectif** : prédire la croissance de cellules végétatives de *Clostridium perfringens* à partir de spores

- ! décrire deux phases : latence (germination) et croissance exponentielle
- ! en conditions thermiques dynamiques

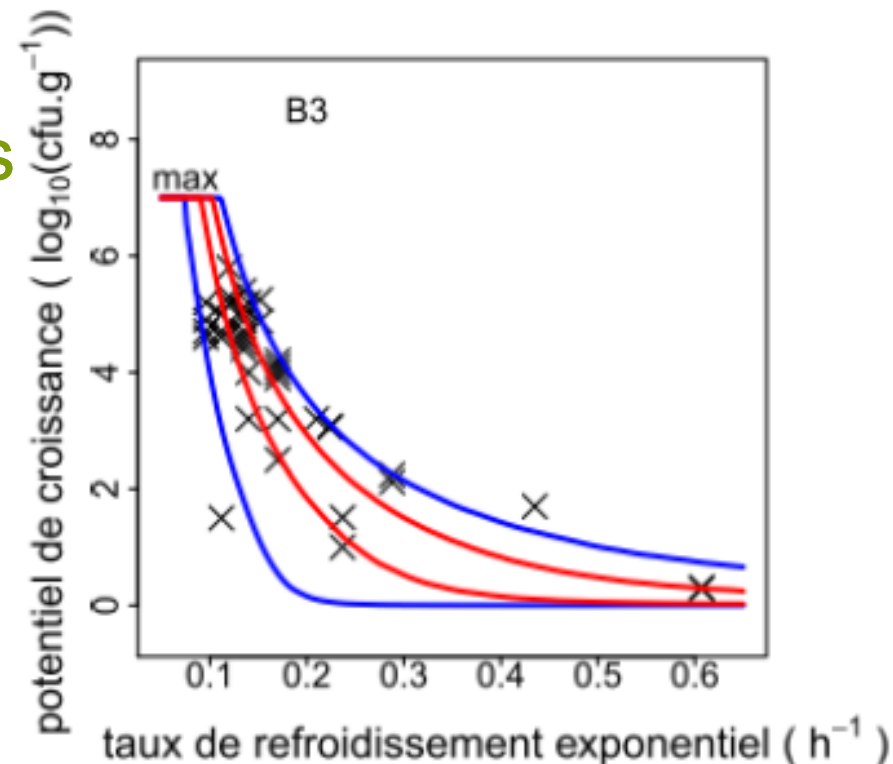
## Modèle choisi

## Modèle de Baranyi modifié par Le Marc *et al.* (2008)

- Variabilité de la quantité 'work to be done' qui permet de décrire la latence

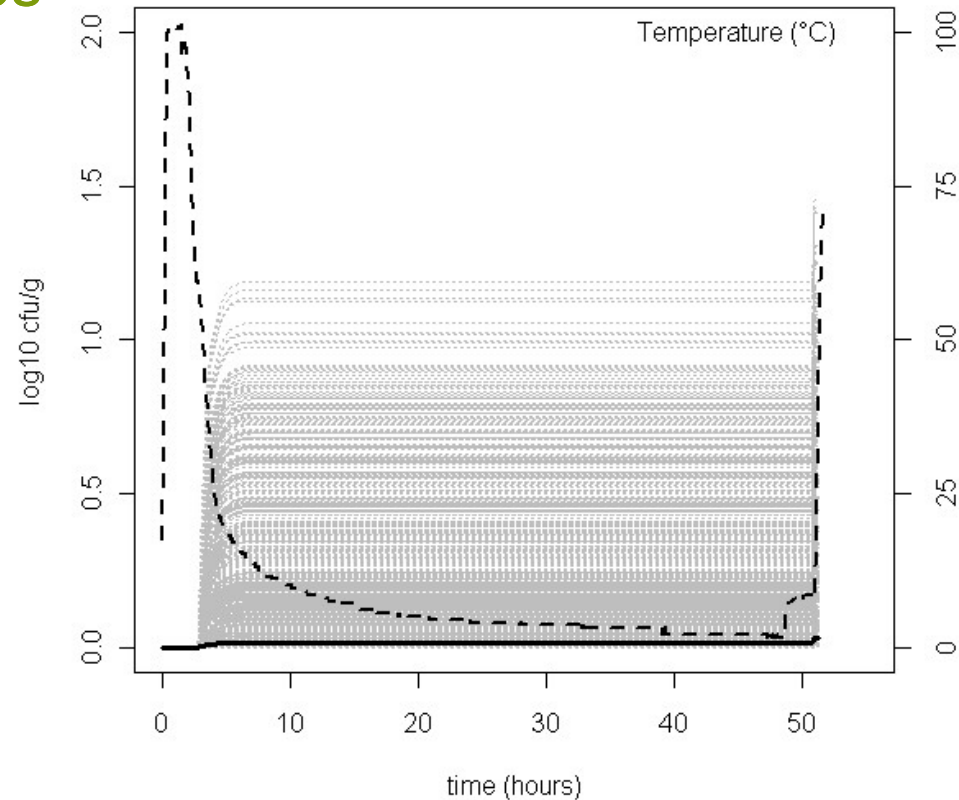
## Prédictions de la croissance en conditions thermiques dynamiques

- Importante variabilité de la croissance prédite et observée dans la littérature



## Etude de cas

- ↳ Enregistrement de 217 profils thermiques
- ↳ Simulation de la croissance de *Clostridium perfringens* sur un profil : deux étapes
  - Refroidissement rapide
  - Remontée en température
- ↳ Simulation sur tous les profils
  - Croissance médiane pratiquement nulle
  - Croissance maximale de l'ordre de  $3 \log_{10} \text{cfu.g}^{-1}$
- ↳ Prise en compte du pire scénario?



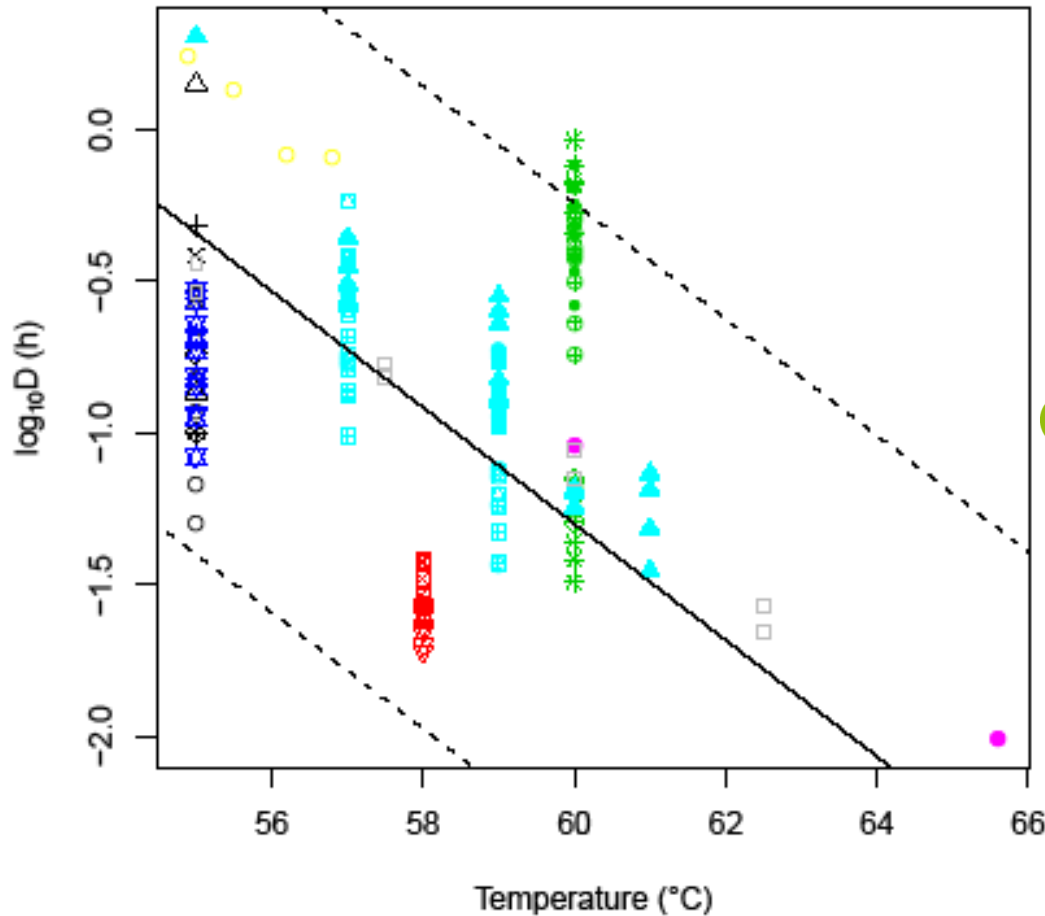


# Modèle de destruction thermique des cellules végétatives de *Clostridium perfringens*

**Objectif** : prédire la destruction thermique de cellules végétatives de *Clostridium perfringens* en conditions thermiques dynamiques



## Modèle choisi



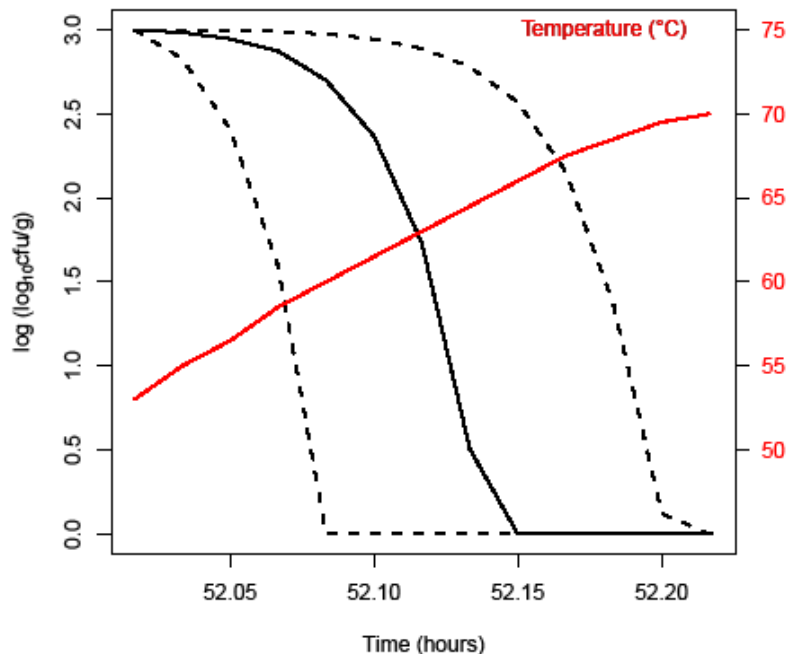
### Variabilité liée

- à des facteurs expérimentaux non contrôlés
- aux conditions de culture des cellules
- à la souche

### Description correcte des données observées

- 96.3% des données dans l'intervalle de variabilité à 95% du modèle (IV95)
- 52.4% des données dans l'intervalle de variabilité à 50% du modèle

## Utilisation du modèle sur un profil thermique parmi les 217 enregistrés



→ Destruction assez rapide dès que la température à cœur dépasse  $53^{\circ}\text{C}$

## Sur l'ensemble des profils à partir d'une concentration initiale fixée à $3 \log_{10}\text{ufc.g}^{-1}$ :

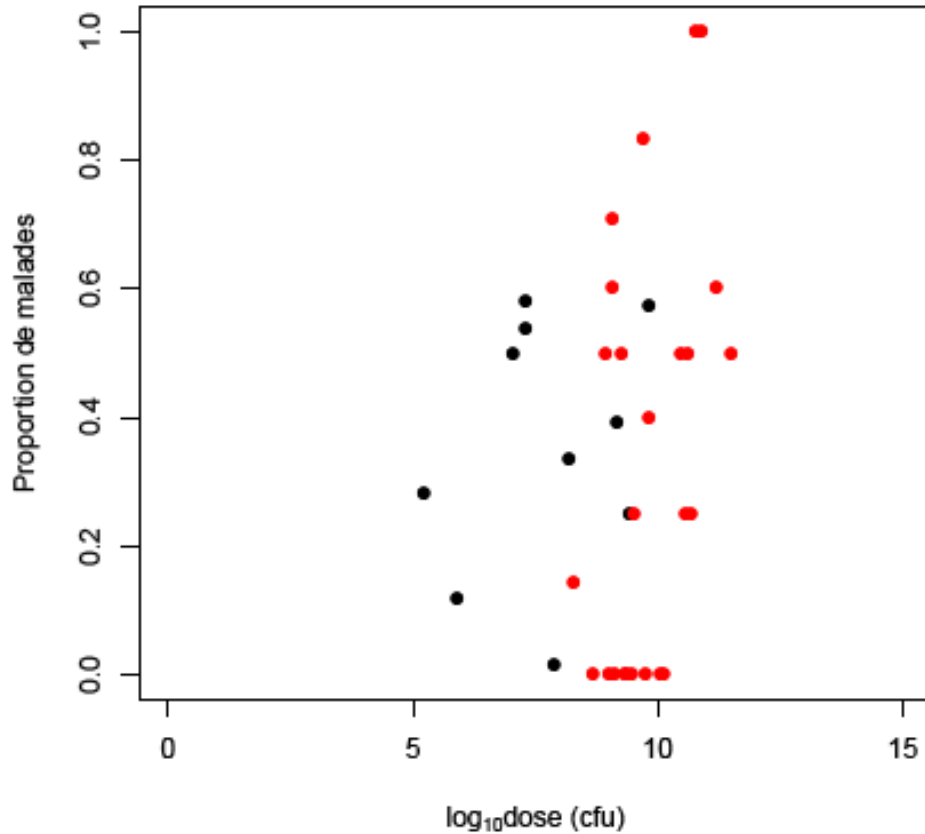
$0 \log_{10}\text{ufc.g}^{-1}$  (IV95 : [0,2.98])



## Modèle dose réponse

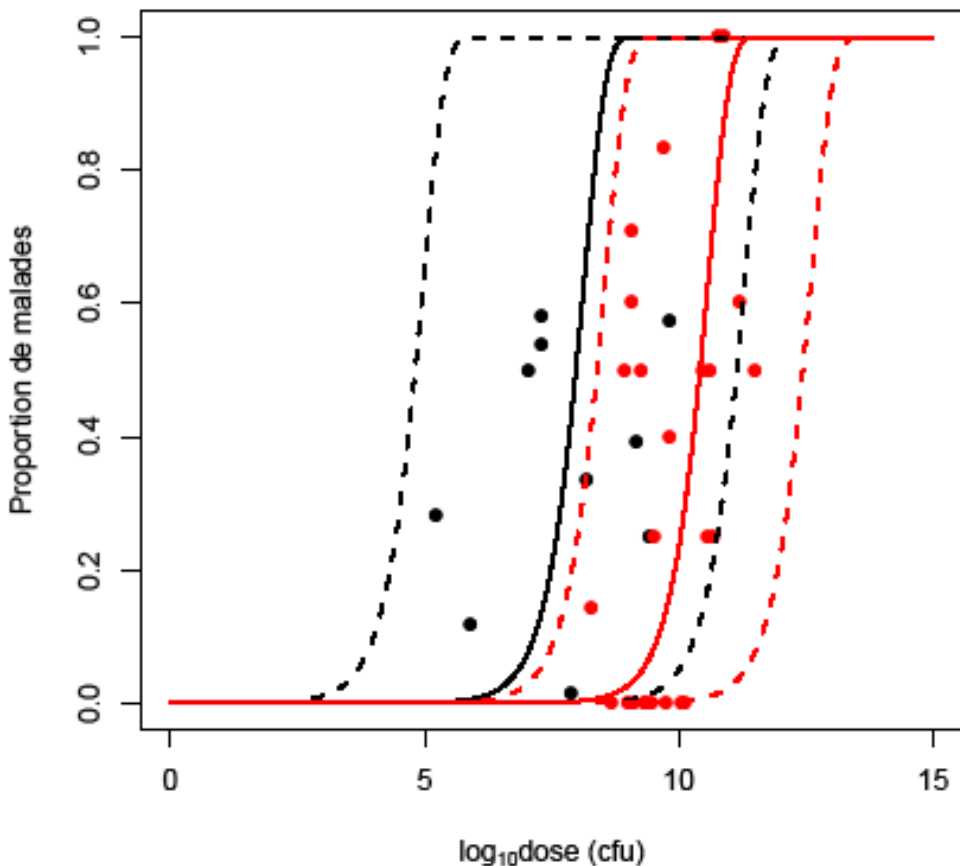
**Objectif** : prédire la probabilité de maladie liée à l'exposition à *Clostridium perfringens* dans une population potentiellement particulièrement sensible (hospitalisée)

## Données collectées



- ↳ Deux sources de données :
  - ↳ Expériences sur volontaires sains
  - ↳ Toxi Infections Alimentaires collectives (TIAC)
- ↳ Variabilité importante
- ↳ Effet 'source des données'?

## Modèle choisi



## Deux modèles :

- ▮ Modèle 'expériences sur volontaire sains'
- ▮ Modèle 'TIAC'

## Effet de la source des données sur l'estimation du risque

# Démarche

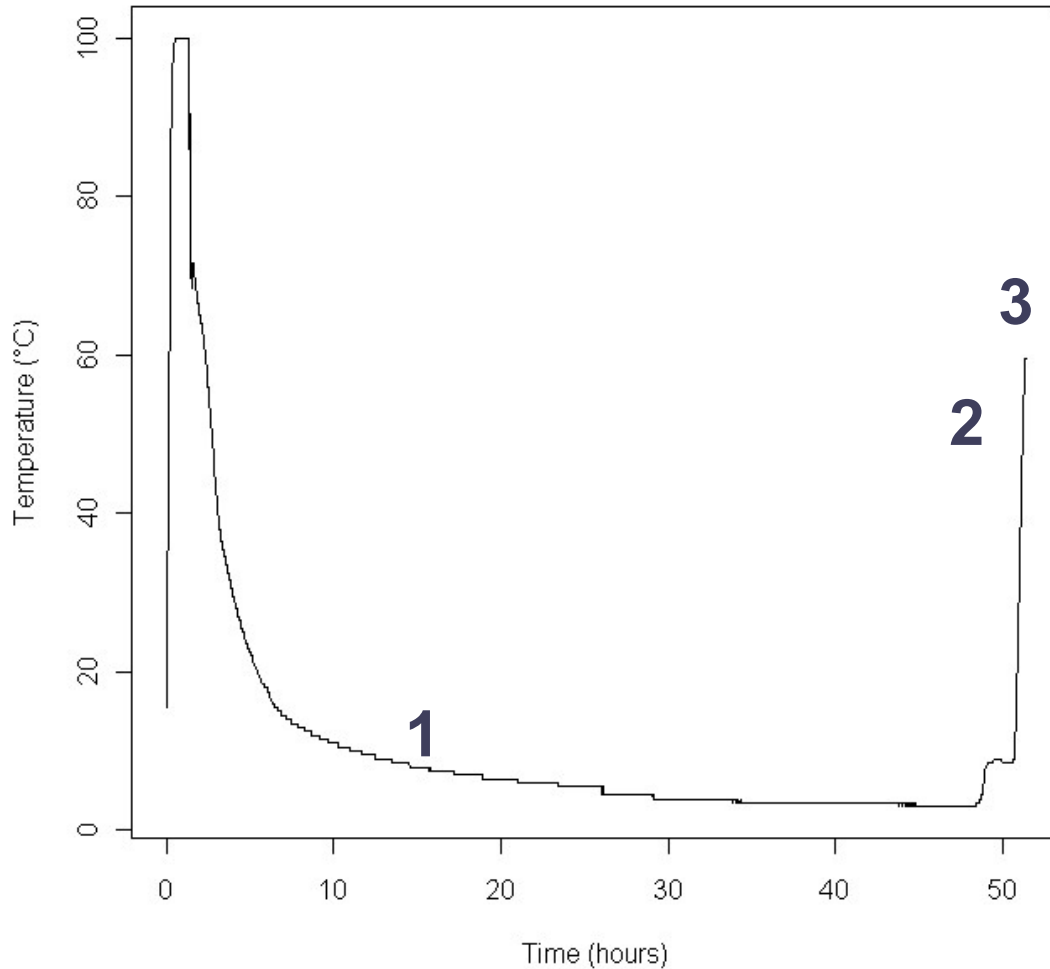
## ↳ Identification des étapes clés pour la maîtrise du risque :

- ! Utilisation des trois modèles développés
- ! Utilisation des profils thermiques enregistrés

## ↳ Pour chaque étape clé :

- ! Proposition de mesures de maîtrise
- ! Évaluation de ces mesures de maîtrise

# Critères de sécurité

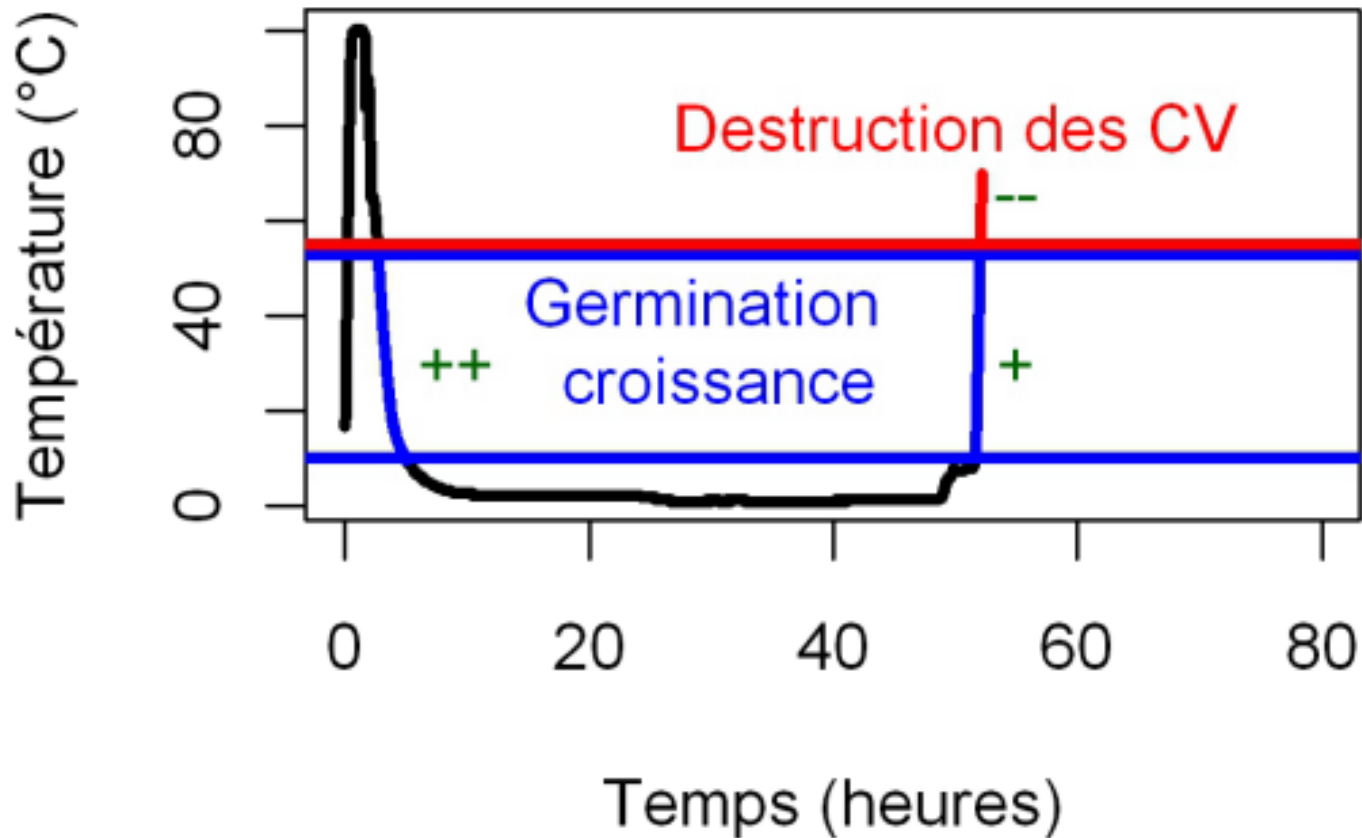


## Simulations en MC2D

1. Concentration à la fin du refroidissement
2. Concentration à la fin de la phase de croissance pendant la remise en température
3. Concentration à la fin de la phase de destruction pendant la remise en température
4. Dose ingérée
5. Risque de diarrhée

## Etapes clés

## Impact des étapes



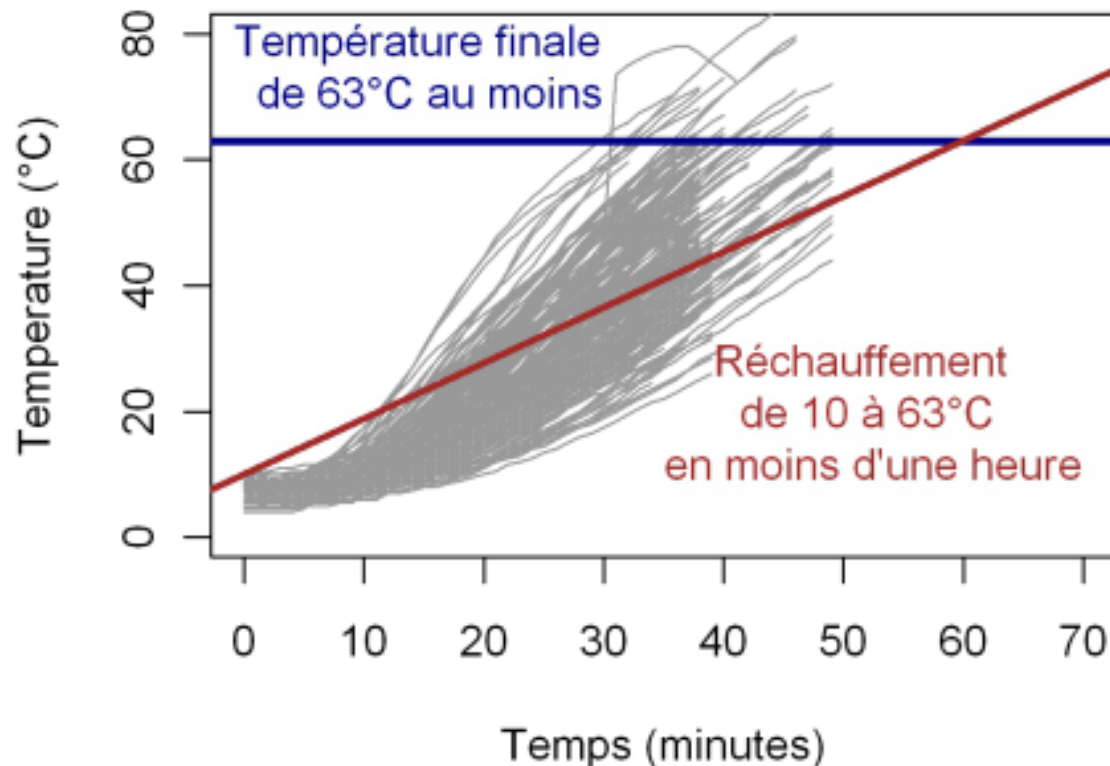
# La remise en température



# Pratiques actuelles

Etape pilotée manuellement sans mesure de la température finale au cœur du produit

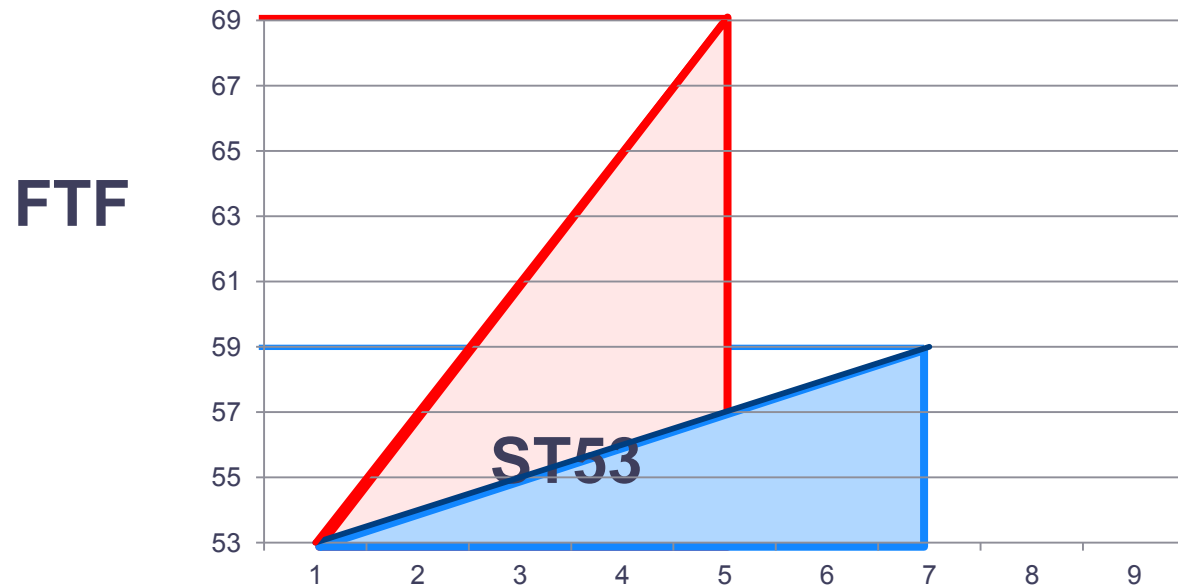
## Exigences réglementaires pour la remise en température



# Mesures de maîtrise proposées

## Proposition de mesures de maîtrise sans maîtrise de la vitesse de réchauffement

- ┆ Durée au dessus de 53°C : DA53
- ┆ Température finale dans le produit : FTF
- ┆ Somme des températures au dessus de 53°C : ST53

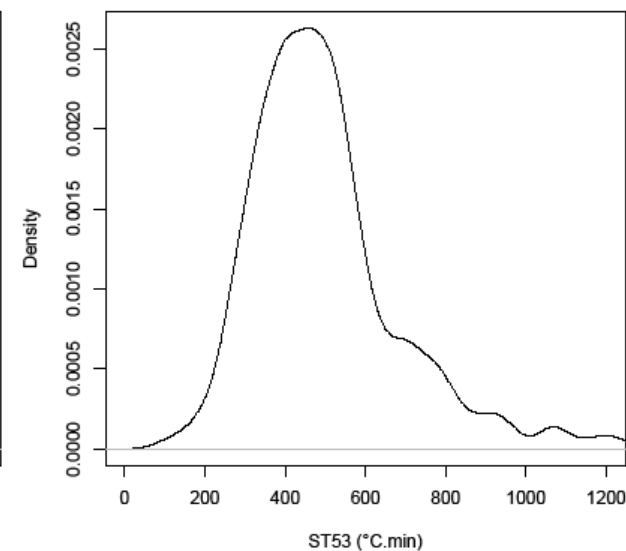
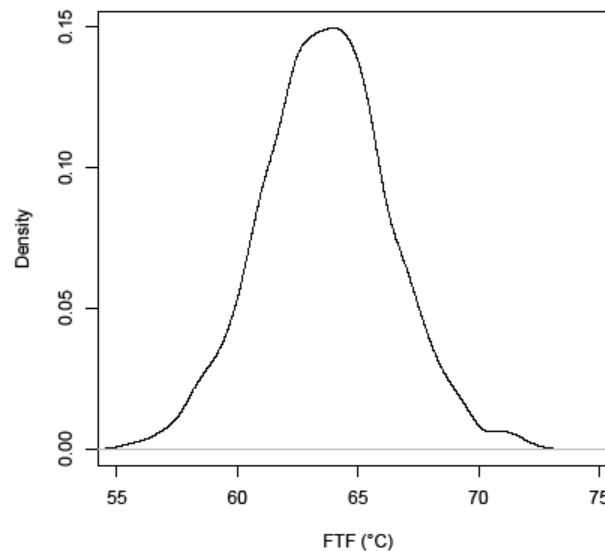
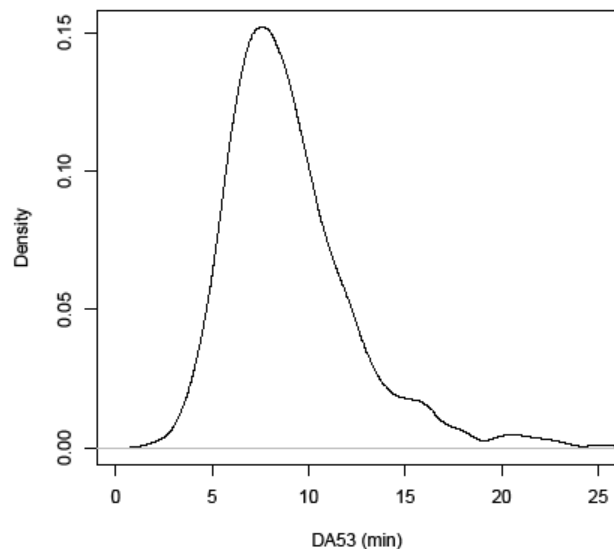


# Détermination des seuils de chaque MM

## Simulations :

- | Critère de performance : destruction cible de  $3 \log_{10}$  cfu
- | Prise en compte de la variabilité
  - du modèle de destruction thermique
  - de la vitesse de réchauffement

## Obtention de distributions de valeurs de chaque MM



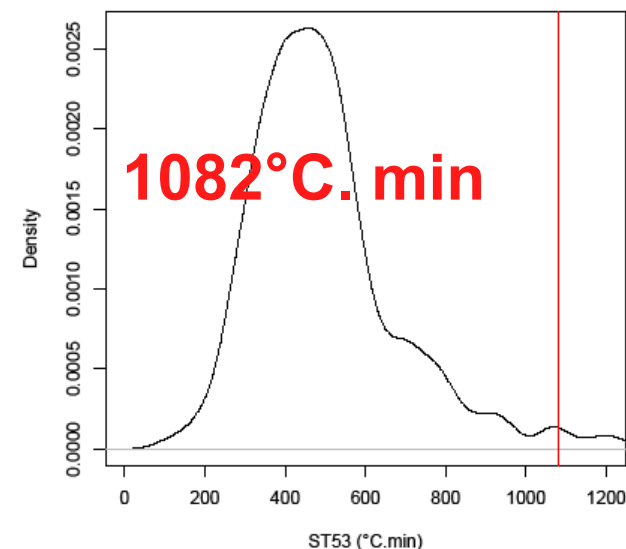
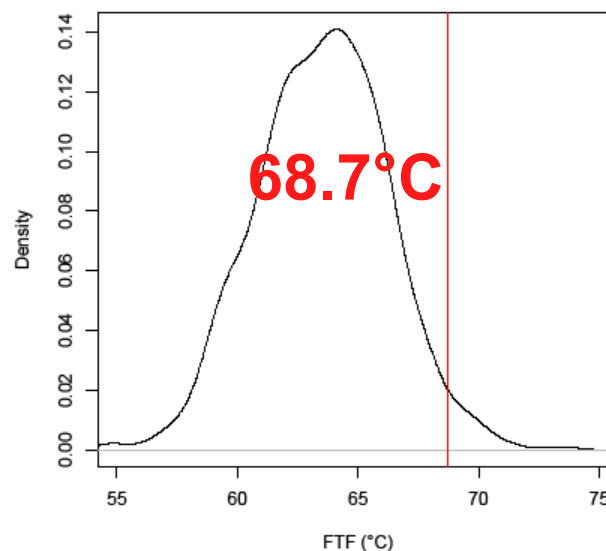
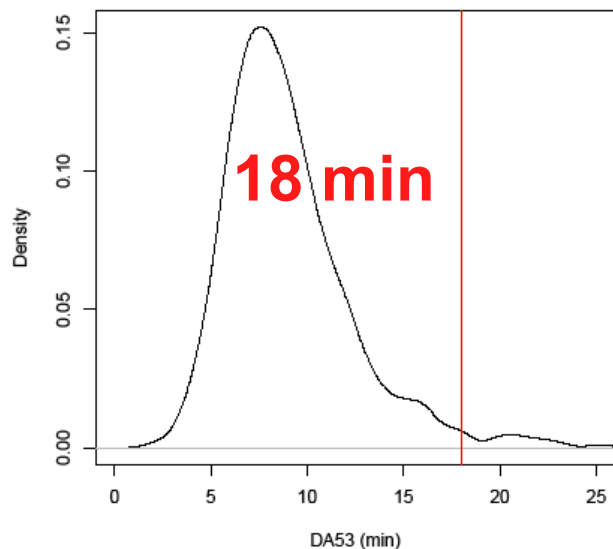
# Détermination des seuils de chaque MM

## Simulations :

- | Critère de performance : destruction cible de  $3 \log_{10}$  cfu
- | Prise en compte de la variabilité
  - du modèle de destruction thermique
  - de la vitesse de réchauffement

## Obtention de distributions de valeurs de chaque MM

## Seuil : 97.5<sup>ème</sup> percentile de chaque distribution



# Comparaison des MM

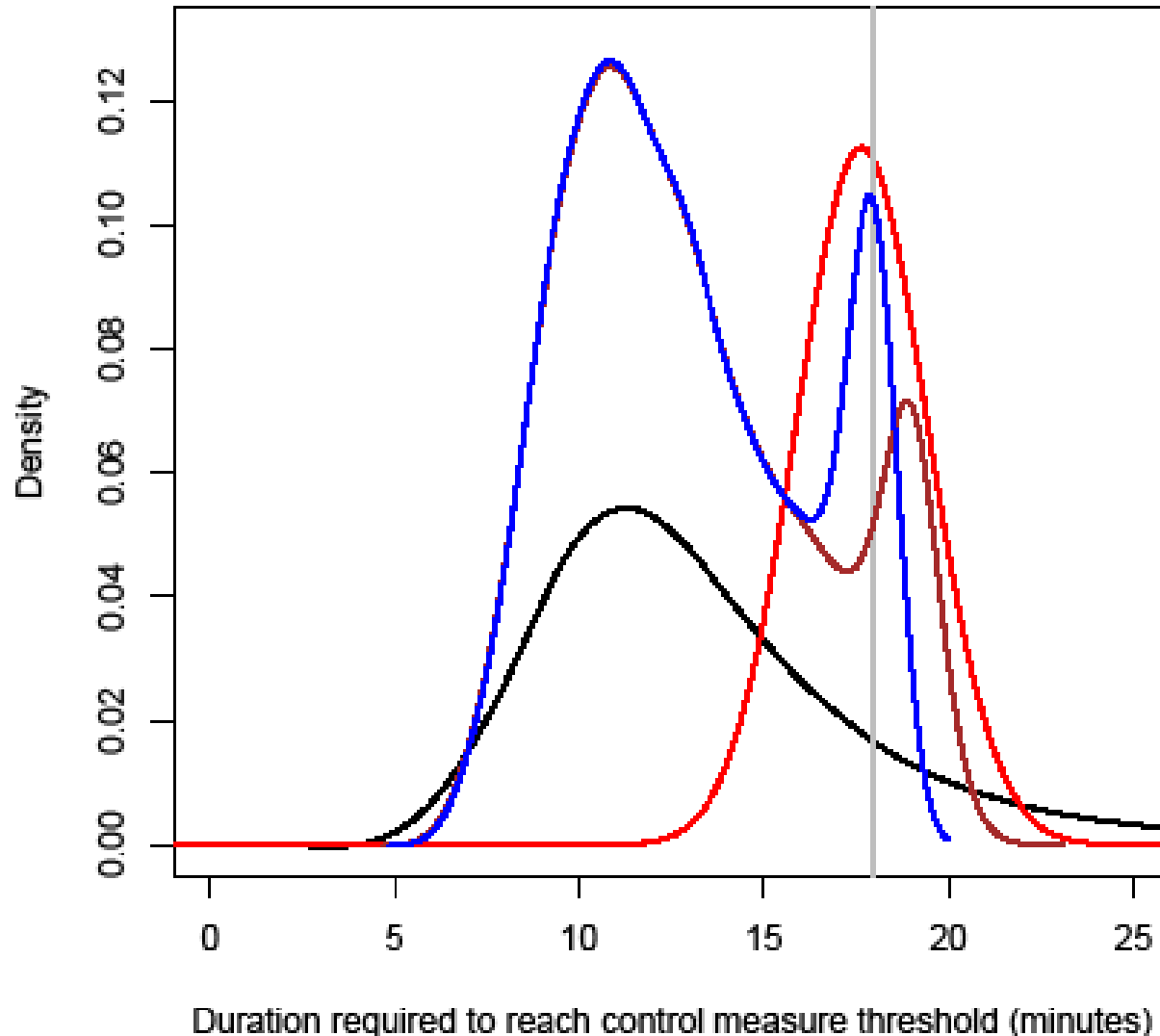
↳ Simulations de destruction jusqu'à l'atteinte du seuil de chaque mesure de maîtrise pour comparer

- | Les mesures de maîtrise seules ou combinées
- | La réglementation française

↳ Critères de comparaison :

- | Applicabilité: Temps nécessaire pour atteindre chaque seuil
- | Efficacité : proportion de simulations pour lesquelles le critère de performance n'est pas atteint à l'atteinte du seuil de la MM

## Applicabilité des MM

**FTF****ST53**

DA53

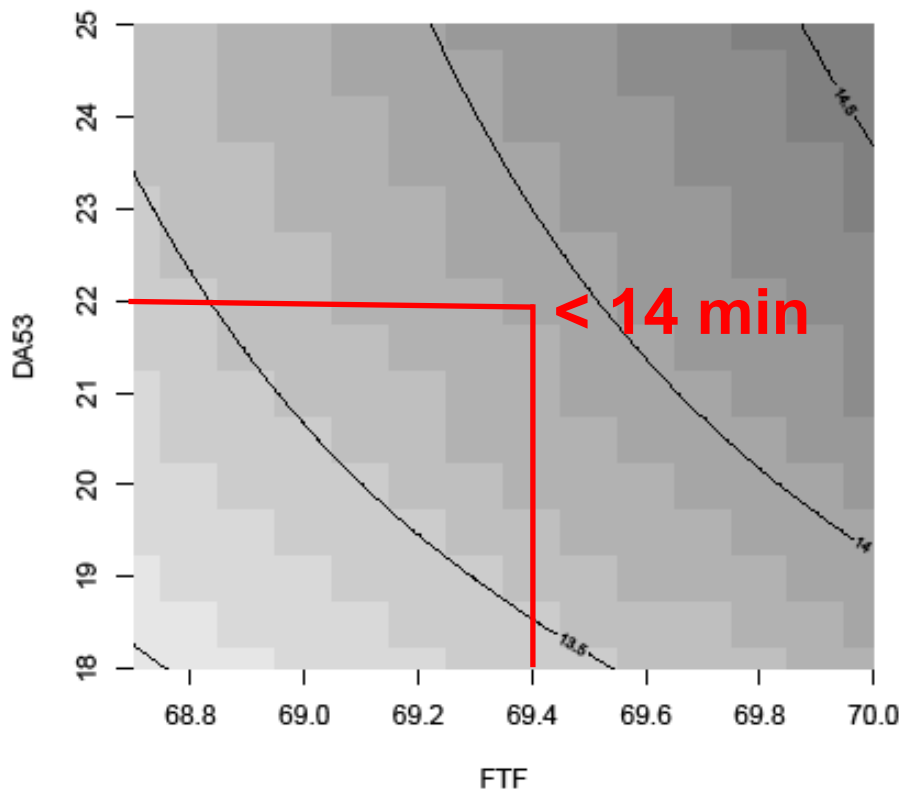
**FTF&DA53****ST53&DA53**

## Efficacité des MM

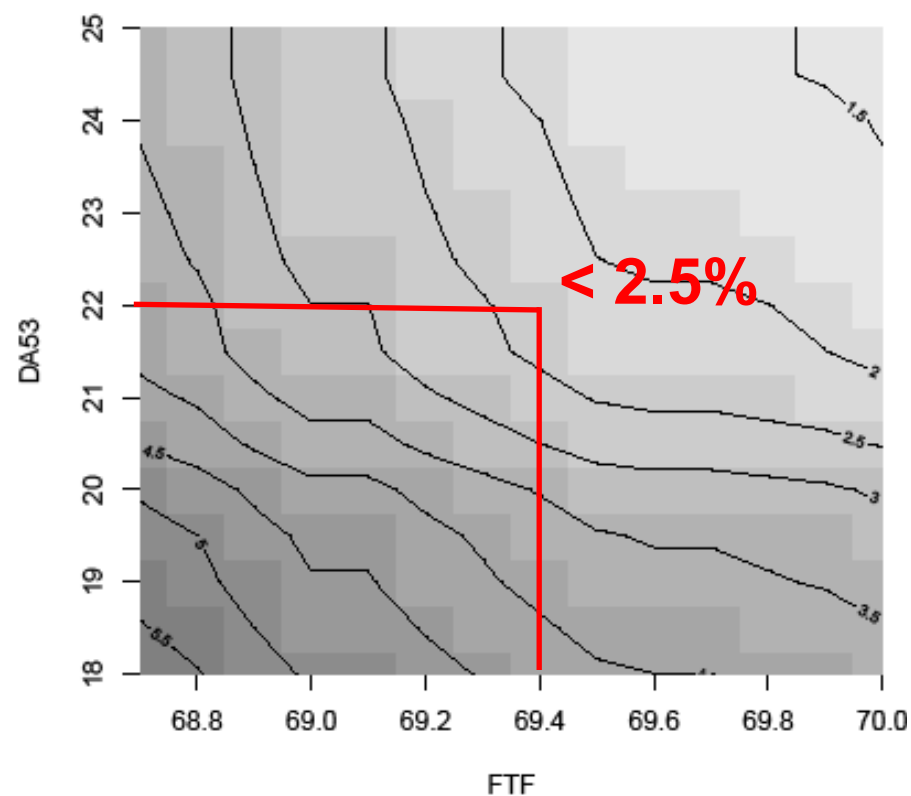
MMS	Seuil	Proportion de simulations sous la cible	Temps nécessaire pour atteindre le seuil (min)
Réglementation française	63°C and $> 53^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$	60.89%	7.6[5,11]
DA53	18 min	2.37%	18
FTF	68.7 °C	2.35%	12.5 [7.9,28.8]
ST53	1082 °C.min	2.39%	18 [16,19]
DA53 & FTF	18 min ou 68.7 °C	4.76%	12.5 [7.9,18]
DA53 & ST53	18 min ou 1082 °C.min	2.80%	18 [16,18]
FTF & ST53	68.7 °C ou 1082 °C.min	4.48%	12.5 [7.9,19]

# Quelles valeurs pour FTF&DA53?

## Applicabilité



## Efficacité



**FTF = 69.4°C et DA53=22 min**

# Et en fonction d'un risque?

- ↪ Pas d'information sur l'ALOP
- ↪ Scénario décrit de TIAC :
  - | Refroidissement particulièrement lent
  - | Remise en température insuffisante
  - | Concentration de l'aliment en *Clostridium perfringens* entre 5 et 6  $\log_{10}\text{cfu.g}^{-1}$
- ↪ Efficacité des mesures de maîtrise par rapport au risque de maladie

## Efficacité des MM

Scénario	Risque moyen de maladie	Nombre de cas attendus (service de 50 p.)	Nombre de cas attendus (hôpital de 600 p.)
Tel quel (sans MM)	$9.6 \cdot 10^{-2}$ [ $9.5 \cdot 10^{-5}, 1.0$ ]	5 [0,50]	58 [0,600]
Réglementation française	$3.2 \cdot 10^{-4}$ [0.0, $9.8 \cdot 10^{-1}$ ]	0 [0,49]	0 [0,590]
DA 53 = 18 min	$1.3 \cdot 10^{-4}$ [ $5.1 \cdot 10^{-12}, 2.1 \cdot 10^{-2}$ ]	0 [0,1]	0 [0,13]
FTF = 68.7 °C	0.0 [0.0, $2.0 \cdot 10^{-3}$ ]	0 [0,0]	0 [0,1]
ST53 = 1082 °C.min	$7.0 \cdot 10^{-5}$ [ $3.0 \cdot 10^{-12}, 1.6 \cdot 10^{-2}$ ]	0 [0,1]	0 [0,10]



# Conclusion

- Un modèle décrivant le devenir de *Clostridium perfringens* dans la viande de bœuf puis le risque de maladie prenant en compte la variabilité
- Un lien entre le risque et les pratiques des opérateurs
- Evaluation de mesures de maîtrise sanitaire :
  - | Pilotage nécessaire de la remise en température
  - | Sans oublier l'étape de refroidissement rapide