

Maisons-Alfort, le 18 février 2009

## AVIS

### de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif au transport des carcasses de porc n'ayant pas atteint la température réglementaire à la sortie de l'abattoir

LA DIRECTRICE GÉNÉRALE

#### 1- Rappel de la saisine

L'Afssa a été saisie le 15 septembre 2008 par la Direction générale de l'alimentation (DGAI) d'une demande d'avis sur la modification demandée par le Syndicat National du Commerce du Porc concernant les conditions de transport des carcasses de porc n'ayant pas atteint la température réglementaire à la sortie de l'abattoir.

#### 2- Contexte de la demande

##### 2-1. Contexte réglementaire

Le règlement (CE) n° 853/2004 définit dans son annexe I les modalités d'abattage des animaux de boucherie et de préparation de carcasses. Dans ce règlement il est donné la possibilité de déroger à la température de 7°C à cœur pendant l'entreposage, le transport et la découpe des carcasses de porc.

Un projet d'arrêté ministériel relatif aux règles sanitaires applicables aux produits d'origine animale et aux denrées en contenant précise les dispositions du règlement communautaire. Cet arrêté a fait l'objet d'un avis de l'Afssa (1). Les dispositions concernant cette dérogation sont les suivantes :

« ... le transport et la découpe de carcasses d'ongulés domestiques peuvent être effectués en cours de refroidissement sous réserve du respect des conditions suivantes :

- a) *En ce qui concerne l'abattoir :*
  - i) **la durée du transport est inférieure à 2 heures ;**
  - ii) **la température au moment du chargement est égale ou inférieure à 12°C à cœur ;**
  - iii) *une procédure écrite validée par le Préfet (Directeur Départemental des Services Vétérinaires) décrivant précisément la mise en œuvre de ces dispositions est intégrée au plan de maîtrise sanitaire de l'abattoir.*
- b) *En ce qui concerne l'établissement destinataire :*
  - i) **La température au moment du déchargement est égale ou inférieure à 12°C à cœur ; ... »**

Cette dérogation ne sera appliquée que pour les établissements bénéficiant de l'agrément communautaire.

Le Syndicat National du Commerce du Porc s'appuyant sur un rapport d'étude de l'interprofession propose d'assouplir ces critères de dérogation qui seront en vigueur dès la signature de l'arrêté ministériel. Il souhaite d'une part augmenter la température maximale autorisée de 12°C à 15°C à cœur pour les carcasses de porc en sortie d'abattoir et d'autre part ne pas limiter la durée de transport entre l'abattoir et l'atelier de découpe.

##### 2-2. Le refroidissement des carcasses

- Rôles du refroidissement des carcasses

En fin de ligne d'abattage, la température des carcasses de porc est encore d'environ 30°C en surface et de 38-40°C en profondeur (56). Ces températures sont très favorables à la croissance de la plupart des bactéries contaminant les carcasses. Le refroidissement a pour objectif de réduire le plus rapidement possible la température des carcasses dans le but de préserver

ver la qualité microbiologique des viandes (35, 46, 58). Cette étape de l'abattage est à ce titre considérée par certains auteurs (5, 52) comme une étape critique pour la maîtrise des dangers microbiologiques dans le cadre de l'approche HACCP.

Le refroidissement influe sur les réactions biochimiques (glycolyse, chute de pH, activité enzymatique...) et physiques (perte en eau) qui ont lieu après l'abattage des porcs (35, 58). Ces réactions ont un impact direct sur la qualité organoleptique et technologique des viandes (61). Une réfrigération rapide peut améliorer le pouvoir de rétention d'eau et la couleur, mais peut également diminuer la tendreté (46).

- Facteurs influençant le refroidissement

La vitesse de l'air, la température et l'humidité relative (13) ou encore l'espacement entre les carcasses (12, 30, 37) sont autant de facteurs qui conditionnent la rapidité du refroidissement des carcasses.

Le refroidissement est également directement influencé par le poids et l'épaisseur de gras des carcasses de porc (5, 13, 52). Il est donc plus ou moins rapide selon la zone de la carcasse (36).

- Présentation des différents système de refroidissement

Il existe plusieurs systèmes de réfrigération des carcasses de porc (22, 46) :

- la réfrigération conventionnelle (ou statique) : les carcasses sont placées après l'abattage en chambre froide à des température voisines de 4°C. La vitesse de l'air à l'intérieur de ces chambres est de l'ordre de 1 m/s.
- la réfrigération rapide (ou en cellules) : elle comprend deux phases ; au cours de la première les carcasses de porc sont placées pendant plusieurs heures dans des cellules de ressuage rapide à des températures voisines de -2 à 0°C et des vitesses de l'air proches de 3 m/s ; dans la deuxième phase les carcasses sont placées dans une salle d'équilibrage à 4°C.
- la réfrigération ultra-rapide (ou réfrigération en tunnel) : elle comprend deux phases ; au cours de la première les carcasses de porc sont placées à -5 à -8°C pendant 4-10 heures ou à -20°C pendant 1 heure à une vitesse de l'air de 8 m/s ; dans la deuxième phase les carcasses sont placées dans une salle d'équilibrage à 4°C.

Pendant la réfrigération, la brumisation est parfois appliquée (22, 46). Elle présente l'avantage de réduire les pertes en eau des carcasses.

### 3- Questions posées

Question 1. L'étude du pétitionnaire est-elle pertinente, tant sur le protocole utilisé que sur les critères microbiologiques retenus ?

Question 2. Peut-on augmenter le seuil maximal de 12°C à cœur à 15°C dans la limite de 2 heures pour les carcasses de porc en sortie d'abattoir dans le cadre de la dérogation découpe à chaud sans risque additionnel pour le consommateur ?

Question 3. Peut-on augmenter la durée maximale du transport actuellement fixée à 2 heures dans le cadre de cette dérogation sans risque additionnel pour le consommateur ? pour un seuil de 12°C ? pour un seuil de 15°C ?

### 4- Méthode d'expertise

Le comité d'experts spécialisés « Microbiologie », réuni les 13 novembre 2008 et 15 janvier 2009 rend l'avis suivant.

Le présent avis est construit de la façon suivante. Dans un premier temps, le dossier du pétitionnaire est présenté (partie 5-). Ensuite, conformément à la question 1, la pertinence de la démarche est analysée (partie 6-). Enfin les questions 2 et 3 sont traitées dans la partie 7.

## 5- Présentation du dossier du pétitionnaire

### 5-1. Acquisition des cinétiques de refroidissement

La démarche du pétitionnaire est basée sur le calcul, à partir de modèles de microbiologie prévisionnelle, du potentiel de croissance théorique de quatre micro-organismes en fonction des cinétiques de température mesurées à la surface de carcasse. Les potentiels de croissance calculés pour le transport en camion frigorifique sont comparés aux potentiels de croissance de ces mêmes micro-organismes pour un refroidissement en chambre froide.

- Cinétiques de refroidissement pendant le transport en camion frigorifique

216 enregistrements de cinétiques de refroidissement ont été effectués sur les carcasses :

- 24 transports différents. Les transports contenaient, dans près de la moitié des cas, 100 % de carcasses entières, pour les autres les chargements étaient constitués à plus de 50 % de carcasses entières et complétés par des ½ carcasses ;
- 3 carcasses par transport ;
- 3 zones par carcasses (jambon, longe et épaule).

Les températures d'ambiance ont également été relevées (températures minimum, moyenne et maximum) pour 21 des 24 transports.

Des mesures à cœur des carcasses (jambon et longe) au moment du chargement viennent compléter ces enregistrements.

Le pétitionnaire indique que ces enregistrements ont été réalisés chez quatre entreprises d'abattage représentatives du secteur.

- Cinétiques de refroidissement en chambre froide

Trois cinétiques de température à la surface de jambon de trois chambres froides différentes sont rapportées. Ces trois cinétiques servent de base de comparaison pour juger de l'équivalence entre les refroidissements des carcasses pendant le transport et en chambre froide.

### 5-2. Simulation du comportement bactérien

- Germes retenus

Quatre germes ont été utilisés comme témoin de qualité microbiologique : *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* et *Escherichia coli*.

- Modèles utilisés

Les simulations de croissance ont été réalisées à l'aide de l'outil Sym'Previus. Sym'Previus s'appuie notamment sur un modèle (secondaire) qui permet de prédire le taux de croissance ( $\mu_{max}$ ) d'un micro-organisme en fonction de la température, du pH et de l'activité de l'eau et de l'interaction entre ces facteurs (confère Annexe 1).

A partir des cinétiques de température, le taux de croissance est estimé sur chaque intervalle de temps (éq.1 Annexe 1) et la croissance des microorganismes considérés est calculée (éq.2 Annexe 1). La démarche globale est présentée sur la Figure 1.

- Paramétrage du modèle secondaire

L'outil de simulation Sym'Previus propose des valeurs cardinales (paramètres du modèle secondaire) pour *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* et *Escherichia coli*. Ces valeurs prennent en compte la variabilité qui existe entre les différentes souches d'une même espèce.

Pour *Pseudomonas*, le pétitionnaire a utilisé les données de la bibliographie pour fixer les paramètres du modèle secondaire ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{opt}$ ,  $pH_{min}$ ,  $pH_{max}$ ,  $pH_{opt}$ ,  $a_{w\ min}$ ,  $a_{w\ max}$  et  $a_{w\ opt}$ ).

Le pétitionnaire s'est basé sur la bibliographie pour estimer le taux de croissance optimum ( $\mu_{opt}$ ) de *Salmonella*, *Pseudomonas* et *Escherichia coli* sur la viande de porc. Pour *L. monocytogenes* une valeur est déjà proposée par Sym'Previus.

Le comportement de ces bactéries a été prédit en fonction des cinétiques de température et en prenant en compte le pH et l'activité de l'eau ( $a_w$ ). Le pH a été mesuré sur plusieurs car-

casses sur les deux « faces » (cotés viande et couenne). L' $a_w$  est fixée à 0.995. Le pH et l' $a_w$  sont considérés comme stables au cours du temps.

Le temps de latence de tous les microorganismes a été fixé à 0 pour l'ensemble des simulations. Les valeurs de  $N_0$  ont été choisies en cohérence avec les résultats d'autocontrôle.

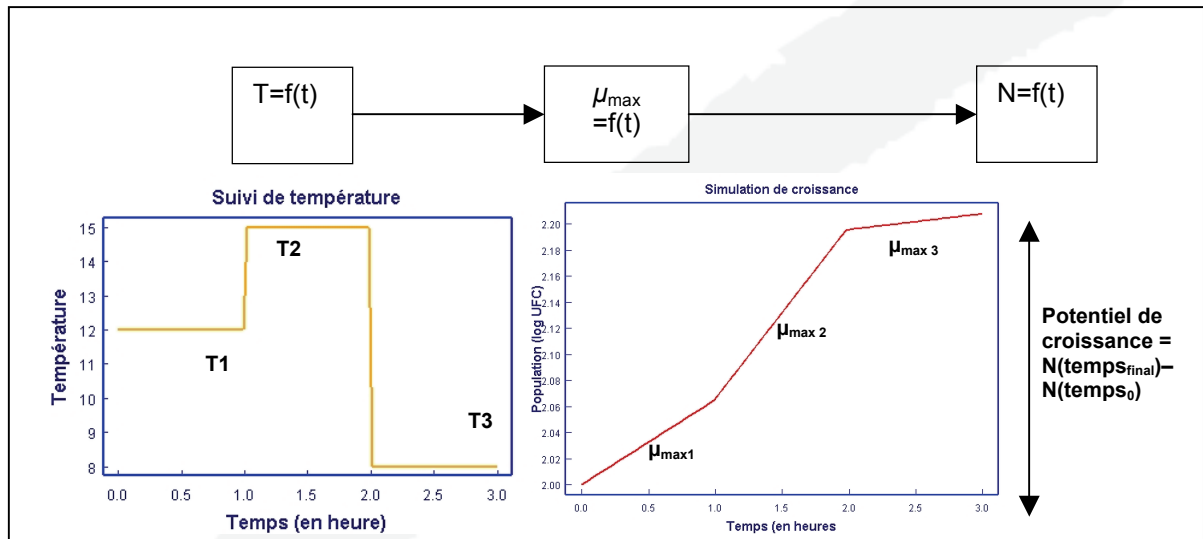


Figure 1. Présentation schématique de la démarche utilisée dans le dossier du pétitionnaire

### 5-3. Présentation de la justification du pétitionnaire de demande de changement de dérogation

Parmi les 216 cinétiques de température sur les carcasses, le pétitionnaire a observé que l'abaissement de température de surface était (dans la quasi totalité des cas) plus rapide pour la longe et l'épaule par rapport au jambon.

Le pétitionnaire a choisi de comparer la croissance de *Salmonella*, *Pseudomonas* et *E. coli* pendant les refroidissements des jambons (présentant la cinétique de refroidissement la plus défavorable) en camion frigorifique pour chacun des 24 transports à la croissance de ces microorganismes pour la réfrigération en chambre froide la plus favorable à la croissance (parmi les trois réfrigérations suivies).

Parmi ces 24 cinétiques de croissance en camion frigorifique, 9 cinétiques n'engendrent pas une croissance supérieure à celle observée lors de la réfrigération en chambre froide (pour les trois microorganismes cités ci-dessus)

Pour ces 9 cinétiques de refroidissement de la température de surface, le pétitionnaire a observé que la température à cœur des jambons au moment du chargement était inférieure à 17°C (dans les 15 autres cas la température à cœur était supérieure à 17°C).

Les croissances de *L. monocytogenes* à la surface pour ces 9 cinétiques ne dépassent pas la croissance observée pendant le refroidissement de la chambre froide de référence.

En conclusion, le pétitionnaire propose que la température de chargement des carcasses à cœur passe de 12° à 15°C (donc avec une marge de sécurité de 2°C par rapport à la température de 17°C jugée satisfaisante).

Le pétitionnaire ne fixe pas la durée maximale de transport pour ces conditions de transport.

## 6- Réponse à la question 1 : l'étude du pétitionnaire est-elle pertinente, tant sur le protocole utilisé que sur les micro-organismes choisis, pour la modification de la demande de dérogation ?

### 6-1. Micro-organismes retenus

*L. monocytogenes* et *Salmonella* sont deux des principaux pathogènes présents sur les viandes de porc après l'abattage (42). *L. monocytogenes* a la capacité de se multiplier jusqu'à des températures de  $-1^{\circ}\text{C}$  (4).

*E. coli* présente l'intérêt d'avoir une température minimale de croissance proche de  $7^{\circ}\text{C}$  (55, 59) qui est la température cible à atteindre lors du refroidissement des carcasses. La croissance de *Salmonella E. coli* est proche de celle de *E. coli* (39).

*Pseudomonas* est également utilisé pour vérifier l'efficacité des procédés de réfrigération (24-26). *Pseudomonas* est considérée par l'ICMSF comme une bactérie dont la multiplication est parmi les plus rapides sur les viandes (30).

Au regard de ces informations, l'estimation du potentiel de croissance de ces quatre micro-organismes pendant le refroidissement des carcasses apparaît tout à fait justifié.

*Yersinia enterocolitica* pathogène d'intérêt (19, 38, 48) et *Aeromonas hydrophila* (6, 29, 41) potentiellement présents dans les viandes porcines, auraient également pu être choisis en raison de leur caractère psychrotrophe (10, 11).

## 6-2. Utilisation de l'intégration temps-température

La démarche générale de la demande est basée sur la transformation de cinétiques de température en potentiel de croissance bactérienne à l'aide de modèle de microbiologie prévisionnelle. Cette approche est également dénommée « intégration temps-température » ou « intégration de la fonction température » (43). Cette démarche est assez largement répandue et décrite dans la littérature. Les exemples ci-dessous illustrent l'utilisation de l'intégration temps-température dans le domaine de la réfrigération des viandes.

Gill et ses collaborateurs (21-26, 33, 54), Dickson et al. (15), Jericho et al. (32) ou encore Lovatt et al. (39) ont utilisé les enregistrements de températures à la surface ou à cœur des carcasses de porcins, ovins et bovins. Ces enregistrements de température, couplés à des modèles de croissance développés pour *E. coli*, *Pseudomonas* psychrotrophes ou *Salmonella*, ont permis d'estimer la croissance pendant le refroidissement. Ces études ont permis de valider les conséquences de procédés particuliers de réfrigération (par exemple aspersion pendant le refroidissement, effet d'un passage en tunnel de réfrigération,...).

En Australie, à partir d'un modèle prédisant le taux de croissance de *E. coli* en fonction de la température, de l'activité de l'eau et de la concentration en lactates (45, 55), l'AQIS (Australian Quarantine Inspection Service) a pu établir les règles de refroidissement des carcasses d'animaux destinés à l'export (2). A l'aide d'enregistreurs placés sur les carcasses pendant le refroidissement, il est possible de calculer la croissance de *E. coli*, exprimée sous forme d'un index de réfrigération (18). Les valeurs calculées pour chaque site d'abattage doivent respecter des valeurs à ne pas dépasser assurant ainsi la validation de la réfrigération appliquées aux carcasses.

L'institut de recherche sur la viande (Meat Industry Research Institute) en accord avec l'Agence néo-zélandaise de sécurité sanitaire des aliments (51) utilise un index d'hygiène de procédé (« *Process Hygiene Index* » - PHI) qui estime la croissance de *E. coli* à l'aide d'un modèle (54) et d'enregistrements au cours du temps de température des carcasses (ou des pièces de viandes). La valeur de l'index d'hygiène permet de valider le procédé de réfrigération.

Le comité scientifique de l'Agence fédérale belge pour la sécurité de la chaîne alimentaire (Afsca) a également utilisé des modèles de microbiologie prévisionnelle pour déterminer quelle était la durée et la température de transport des carcasses de porc dans le cadre de la dérogation « découpe à chaud des carcasses ». A l'aide de l'outil de microbiologie prévisionnelle Pathogen Modeling Program (63), le comité scientifique de l'Afsca a calculé la température et le temps maximum de transport des carcasses en se basant sur la vitesse de multiplication de *Aeromonas hydrophila* qui est le germe pathogène le plus psychrotrophes parmi les pathogènes testés (10, 11).

**L'objectif de ces exemples d'utilisation de l'intégration temps-température n'est pas nécessairement d'estimer la croissance réelle des micro-organismes. En effet à la surface des viandes, on observe notamment pendant le refroidissement, une perte d'eau qui va réduire l'activité de l'eau (confère ci-dessous 4-4.). Ces indicateurs servent plutôt à dé-**

finir de façon quantitative des bonnes pratiques de refroidissement des carcasses ou l'équivalence de procédés (43).

L'utilisation d'enregistreurs de température à la surface des carcasses et l'intégration temps-température présentées dans le dossier en appui de la demande est donc judicieuse au regard de la littérature scientifique et des applications existantes.

### 6-3. Sym'Previous

Le modèle secondaire décrivant l'influence des facteurs environnementaux sur le taux de croissance a été publié (4). Les valeurs des paramètres utilisés dans le dossier sont données pour les paramètres que le pétitionnaire a dû estimer (pour les températures cardinales de *Pseudomonas* par exemple ou les  $\mu_{opt}$  dans la viande de *E. coli* et *Salmonella*). En revanche, pour les paramètres déjà implémentés (températures cardinales de *E. coli*, *Salmonella*) dans l'outil Sym'Previous, aucune valeur n'est donnée (l'utilisateur de Sym'Previous n'y a pas accès).

Pour vérifier la pertinence de Sym'Previous, les cinétiques de refroidissements ont été reprises et utilisées pour calculer les potentiels d'accroissement par d'autres modèles (confère Annexe 1). Les potentiels de croissance calculés avec Sym'Previous et donnés dans le rapport accompagnant la saisine ont été comparés aux potentiels de croissance calculés avec les autres modèles. Les différents modèles testés donnent des potentiels proches de ceux obtenus avec Sym'Previous pour *E. coli*, *Listeria* et *Salmonella*. Les potentiels de croissance estimés dans le rapport pour *Pseudomonas* sont en revanche moins importants que ceux calculés par d'autres modèles (confère Annexe 1). Cette différence pourrait s'expliquer par la température minimale choisie à 0°C. Plusieurs études indiquent une température minimale de croissance inférieure à -2°C (16, 28, 50). Le choix d'une valeur de température minimale de cet ordre de grandeur serait de nature à rapprocher les prévisions de croissance présentées dans le dossier de saisine de celles des autres modèles.

### 6-4. Validation des potentiels de croissance calculés

Le dossier accompagnant la saisine ne comporte pas de données microbiologiques de validation des potentiels de croissance. Une étude bibliographique a été conduite afin de vérifier les valeurs d'accroissement obtenues pour les 4 bactéries retenues par le pétitionnaire et d'autres bactéries ou groupes bactériens d'intérêt potentiellement présents sur les carcasses de porc.

- *Salmonella*

Le pétitionnaire prévoit un accroissement maximum de 0,2 log<sub>10</sub> côté couenne et 0,5 log<sub>10</sub> côté viande pour le refroidissement en chambre froide.

A partir d'une étude statistique des données de 8 études, Gonzales Barron et al. (27) ont montré que la prévalence de carcasses de porc contaminées avant réfrigération était 2,4 supérieure à la prévalence post réfrigération. Cette réduction de prévalence est observée (7, 8, 27, 57) quelque soit le mode de réfrigération (en chambre froide précédé ou non par un passage en tunnel de réfrigération). Cette réduction du nombre de *Salmonella* semble être expliquée par le choc « froid » et la réduction de l'activité de l'eau à la surface (8, 34).

- *E. coli*

Le pétitionnaire prévoit un accroissement maximum de 0,5 log<sub>10</sub> côté couenne et 0,6 log<sub>10</sub> côté viande pour le refroidissement en chambre froide.

Gill et al. (22, 25) ont montré que la réfrigération (neuf entreprises avec différent système de réfrigération) pouvait conduire à une diminution, une stagnation, voire un accroissement du nombre de *E. coli* en surface ou du pourcentage de carcasse avec présence de *E. coli*. L'absence de vaporisation d'eau, donc l'assèchement des carcasses, pendant la réfrigération semble favoriser la réduction du nombre de *E. coli* (22).

Chang et al. (8) et Nesbakken et al. (48) ont également montré que la réfrigération entraînait une diminution significative du nombre de *E. coli* par cm<sup>2</sup> à la surface des carcasses de porc (non aspergées).

- *L. monocytogenes*

Le pétitionnaire prévoit un accroissement maximum de 0,8 log<sub>10</sub> côté couenne et 1,2 log<sub>10</sub> côté viande pour le refroidissement en chambre froide.

Dans une étude conduite en 2000 (9) sur l'incidence des opérations d'abattage sur la contamination par *L. monocytogenes* des carcasses de porc, il a été montré dans la majorité des cas, le niveau de contamination diminue sur la chaîne d'abattage. En revanche, la contamination augmente pendant le ressuage. Thévenot et al. (62), dans une revue bibliographique sur *L. monocytogenes* dans les viandes de porc et les produits dérivés, rapportent également que les étapes de refroidissement et découpe des carcasses amplifient la contamination *L. monocytogenes*. Cette augmentation s'expliquerait par la re-contamination des viandes (49).

Dans l'étude de Saide-Albornoz et al. (57), le pourcentage de carcasses positives reste stable au long du procédé d'abattage et de découpe des carcasses de porc.

D'autres études semblent même montrer que la réfrigération des carcasses réduit la concentration de *Listeria* dans les viandes de porc (8) mais aussi dans les viandes de bœuf (47, 53). Cette diminution semble être expliquée par le choc froid et osmotique qui vont engendrer un stress chez *Listeria* (17, 47).

- *Pseudomonas*

Le pétitionnaire prévoit un accroissement maximum de 1,5 log<sub>10</sub> côté viande (et nul côté couenne) pour le refroidissement en chambre froide.

Aucune étude spécifique au comportement de *Pseudomonas* pendant la phase de ressuage des carcasses porc n'a été identifiée. Cependant, Gill et al. (25) calcule la croissance potentielle de *Pseudomonas* psychrophiles pendant la réfrigération de carcasse de porc et compare cet accroissement calculé à celui mesuré de la flore totale. Dans le cas du système de réfrigération étudié (tunnel à -20°C pendant 1 heure puis passage dans la chambre froide à -2°C avec aspersion d'eau à 5°C pendant 20 secondes toutes les 10 minutes) un accroissement de 1 log<sub>10</sub> de la flore totale est observé. Dans cette étude, comme dans une autre étude sur la ressuage des carcasses de bovin (26), l'accroissement est attribué à *Pseudomonas*.

- Autres bactéries d'intérêt
  - Coliformes et *Enterobacteriaceae*

Yu et al. (64), Chang et al. (8) ainsi que Nesbakken et al. (48) ont montré une réduction significative de la concentration de coliformes à la surface de carcasses de porc. En revanche Pearce et al. (52) ont constaté une stagnation (longe, jambon), voire une augmentation (collier) du nombre de coliformes.

Spescha et al. (60) ont observé une diminution du nombre de carcasses positives à la présence d'*Enterobacteriaceae* pour deux systèmes de réfrigération différents (un refroidissement en tunnel 8 m/s à -8°C pendant 45 minutes avant passage dans une salle à 2 m/s et 2°C et refroidissement classique (4 m/s à 2°C).

- Flore totale

Concernant la flore totale, les résultats divergent selon les études. Bolton et al. (5) ont constaté une légère augmentation pendant la réfrigération des carcasses. Spescha et al. (60) ont eux montrés une réduction des niveaux de contamination moyens des carcasses de porc pour un refroidissement en tunnel (8 m/s à -8°C pendant 45 minutes avant passage dans une salle à 2 m/s et 2°C) et pour un refroidissement classique (4 m/s à 2°C). Ces réductions ont été observées sur quatre zones de la carcasses. Elles sont moins marquées pour l'échine qui reste une zone plus humide à cause de l'eau des autres parties de la carcasse qui ruisselle sur cette zone (60).

Pearce et al. (52) ont également constaté l'influence de la zone de prélèvement sur la flore totale aérobique mésophile. Cette flore était stable pendant le ressuage (à 4°C) sur le jambon et la longe et augmentait sur le collier.

Chang et al. (8) dans une étude reproduisant expérimentalement les conditions de ressuage classique ou en tunnel ont observé une diminution pour la flore aérobique comprise entre 1 et 3 log<sub>10</sub>. Ces résultats sont confirmés par Yu et al. (64) qui ont observé une réduction de la flore aérobique de 0,6 à 1,3 log<sub>10</sub> en fonction de la méthode utilisée pour le prélèvement des carcasses.

Gill et al. (22, 25) dans deux études portant sur neuf abattoirs de porc (avec éventuellement passage en tunnel et/ou aspersion des carcasses pendant la réfrigération) ont observé une stagnation pendant la réfrigération de la flore aérobie dans 6 abattoirs, une augmentation significative dans deux et une diminution significative dans le dernier. L'utilisation d'un tunnel de réfrigération ou de l'aspersion pendant la réfrigération en chambre froide ne permet pas d'expliquer ces différences.

- *Staphylococcus aureus*

Spescha et al. (60) ont montré que le refroidissement des carcasses permettait de réduire le pourcentage de présence de staphylocoques à coagulase positive. Dans une autre étude, Saide-Albornoz et al. (57) observent un effet inverse, un plus grand nombre de carcasses sont détectées positives à la présence de *Staphylococcus aureus* après une réfrigération de 24h à 4°C. Les auteurs expliquent cette augmentation de pourcentage par une recontamination par le personnel. Les capacités de multiplication au froid de cette bactérie sont d'ailleurs faibles, avec des températures minimales de croissance comprises, suivant la souche, entre 5 et 10°C (14).

- *Yersinia enterocolitica*

Une réfrigération en tunnel (-21°C pendant 70 min puis 5°C pendant 1 h) n'a pas d'influence sur l'occurrence de *Yersinia* à la surface des carcasses (48).

- *Campylobacter*

*Campylobacter* est une bactérie sensible à la réfrigération appliquée aux carcasses de porc (6, 8, 48) et en particulier à l'assèchement de la surface des carcasses (30). Par exemple une réfrigération en tunnel (-21°C pendant 70 min puis 5°C pendant 1 h) à la surface de jambons, on passe de plus de 50% de jambon avec présence de *Campylobacter* à moins de 2% (48).

- *Aeromonas hydrophila*

Aucune donnée spécifique à l'effet du ressuage sur *A. hydrophila* n'a été identifiée. Il apparaît toutefois que *A. hydrophila* est fréquemment retrouvée dans les viandes crues de porc réfrigérées (6, 29, 41).

**L'analyse de l'ensemble de ces résultats permet de conclure que la croissance bactérienne réelle est certainement moins importante que la croissance bactérienne prédite. Les observations microbiologiques des différentes études montrent une grande variabilité des résultats. Le dessèchement des viandes à la surface et la vitesse de descente en température sont parmi les facteurs les plus influant sur le comportement des populations bactériennes. En fonction des conditions, le ressuage peut entraîner une croissance, une stagnation voire une diminution des populations bactériennes. Il convient aussi de noter que ces données bibliographiques rapportent des données observées pendant le ressuage en chambre froide.**

## 6-5. Justification à la demande de dérogation

Les hypothèses choisies par le pétitionnaire pour calculer les potentiels de croissance pendant le refroidissement des carcasses en camion de transport frigorifique sont sécuritaires dans le sens où le temps de latence avant la croissance est considéré comme nul et le dessèchement éventuel des viandes à la surface n'est pas pris en compte.

Cependant la demande de dérogation formulée s'appuie sur l'équivalence en terme de potentiel de croissance bactérienne entre une cinétique particulière de refroidissement en chambre froide (la plus favorable à la croissance parmi les trois présentées dans le rapport) et les différents transports en camion frigorifique.

Cette comparaison du ressuage des carcasses en camion à la situation en chambre froide la plus favorable à la croissance bactérienne n'est pas justifiée. En effet, aucune information n'est donnée sur la représentativité de cette cinétique de refroidissement en chambre froide. En outre, si l'on dispose bien des enregistrements de température à la surface de carcasses pendant le transport en camion, aucune information n'est donnée sur le temps (et la température) passé par ces carcasses en chambre frigorifique avant leur chargement et après leur déchargement. Ainsi, il n'est pas possible de comparer le ressuage en chambre froide et celui en



camion frigorifique puisque les périodes d'enregistrement des températures ne sont pas identiques.

**En l'état actuel des connaissances, si aucune limite n'est fixée sur la durée de transport pour des carcasses transportées à chaud (15°C à cœur comme proposé par le pétitionnaire) il est impossible d'assurer que le niveau de sécurité de ces viandes soit identique à celui des viandes refroidies à une température réglementaire à cœur de 7°C avant transport ou celui des viandes transportées dans le cadre de la dérogation découpe à chaud.**

**Il est souhaitable de rappeler qu'en l'absence de données sur les caractéristiques techniques (vitesse de l'air, humidité relative, espacement entre les carcasses,...) et microbiologiques, l'Afssa n'est pas en mesure de se prononcer sur la pertinence de l'utilisation du transport frigorifique comme un moyen pour refroidir les carcasses.**

#### 7- Réponses aux questions 2 et 3 :

**Peut-on augmenter le seuil maximal de 12°C à cœur à 15°C dans la limite de 2 heures pour les carcasses de porc en sortie d'abattoir dans le cadre de la dérogation découpe à chaud sans risque additionnel pour le consommateur ?**

**Peut-on augmenter la durée maximale du transport actuellement fixée à 2 heures dans le cadre de cette dérogation sans risque additionnel pour le consommateur ? pour un seuil de 12°C ? pour un seuil de 15°C**

Dans le cadre de la découpe à chaud une dérogation de transport des carcasses présentant une température de 12°C à cœur est autorisée dans la limite de 2 heures.

**L'augmentation de la température à cœur des carcasses de 12°C à 15°C pour une même durée de transport de deux heures ou l'allongement à des durées de transport supérieures à 2 heures pour des carcasses à 12°C à cœur auront pour conséquence une croissance des micro-organismes plus importante. En conséquence, le niveau de sécurité de viandes transportées dans ces conditions sera moins élevé que les viandes transportées pendant 2 heures à 12°C.**

Il est toutefois possible de calculer les conditions de température et de durée de transport qui vont engendrer une croissance microbienne équivalente à la croissance à la température et la durée définies dans la dérogation.

Trois scénarios sont proposés. Ils s'appuient sur la croissance potentielle à cœur des viandes d'*A. hydrophila* et *Salmonella* et la croissance potentielle en surface de *L. monocytogenes*. *A. hydrophila* a été choisie en référence à l'avis du Comité scientifique de l'Afssa dans le cadre de la dérogation du transport des carcasses à chaud (10, 11). *Salmonella* et *L. monocytogenes* ont été choisies en raison de leur importance sanitaire.

#### 7-1. Equivalence basée sur la croissance d'*A. hydrophila*

L'approche présentée ci-dessous est similaire à celle utilisée par le Comité scientifique de l'Afssa dans le cadre de la dérogation du transport des carcasses à chaud (10, 11).

*A. hydrophila*, qui est potentiellement présente sur les carcasses de porc (6, 29, 41), présente une croissance parmi les plus rapides parmi les bactéries psychrotrophes d'après les modèles publiés (31, 63). Les potentiels de croissance d'*A. hydrophila*, calculés à partir des cinétiques de refroidissement fournies dans le dossier accompagnant la saisine, montrent en effet que cette bactérie a une croissance plus rapide que *Y. enterocolitica*, *L. monocytogenes* et *Pseudomonas* (données non présentées).

Si l'on considère un temps de latence nul d'*A. hydrophila*, la croissance en anaérobiose (à cœur des viandes) à pH 6,2 pendant 2 heures à 12°C est selon le Pathogen Modeling Program de 0,19 log<sub>10</sub> ufc, ce qui représente moins d'un doublement. Il est possible de calculer en utilisant ce même programme, la durée maximale de transport en fonction de la température à cœur des carcasses au moment du chargement qui n'engendrera pas une croissance d'*A. hydrophila* supérieure à 0,19 log<sub>10</sub> ufc. Ces durées maximales de transport sont données sur la Figure 2.

### 7-2. Equivalence basée sur la croissance à cœur de *Salmonella*

La présence de bactéries à cœur des viandes est un phénomène possible (3, 20, 40), notamment pour *Salmonella* (3).

Si l'on considère un temps de latence nul de *Salmonella*, la croissance à cœur à pH 6,2 pendant 2 heures à 12°C est selon le modèle de croissance proposé par le Combase Predictor<sup>1</sup> de 0,11 log<sub>10</sub> ufc. Cette croissance représente moins d'un doublement. Il est possible de calculer en utilisant ce même modèle, la durée maximale de transport en fonction de la température à cœur des carcasses au moment du chargement qui n'engendrera pas une croissance de *Salmonella* supérieure à 0,11 log<sub>10</sub> ufc. Ces durées maximales de transport sont données sur la Figure 2.

### 7-3. Equivalence basée sur la croissance en surface de *L. monocytogenes*

Cette bactérie pathogène est régulièrement détectée à la surface des carcasses de porc (9, 62). La consommation de viandes et de produits de charcuterie fabriqués à partir de ces carcasses peut-être à l'origine de cas de listériose (62).

D'après les données fournies dans le dossier accompagnant la saisine, une relation a pu être établie entre les températures mesurées à cœur et en surface (confère Annexe 2). Cette relation permet de déterminer la températures de surface à partir de la température à cœur (et inversement).

Si l'on considère un temps de latence nul de *L. monocytogenes*, la croissance en aérobiose à pH 6,2 pendant 2 heures à 10°C en surface (12°C a cœur) est selon le modèle de croissance proposé par le Pathogen Modeling Program de 0,13 log<sub>10</sub> ufc, ce qui représente moins d'un doublement. Il est possible de calculer en utilisant ce même programme, la durée maximale de transport en fonction de la température à cœur des carcasses au moment du chargement qui n'engendrera pas une croissance de *L. monocytogenes* supérieure à 0,13 log<sub>10</sub> ufc en surface. Ces durées maximales de transport sont données sur la Figure 2.

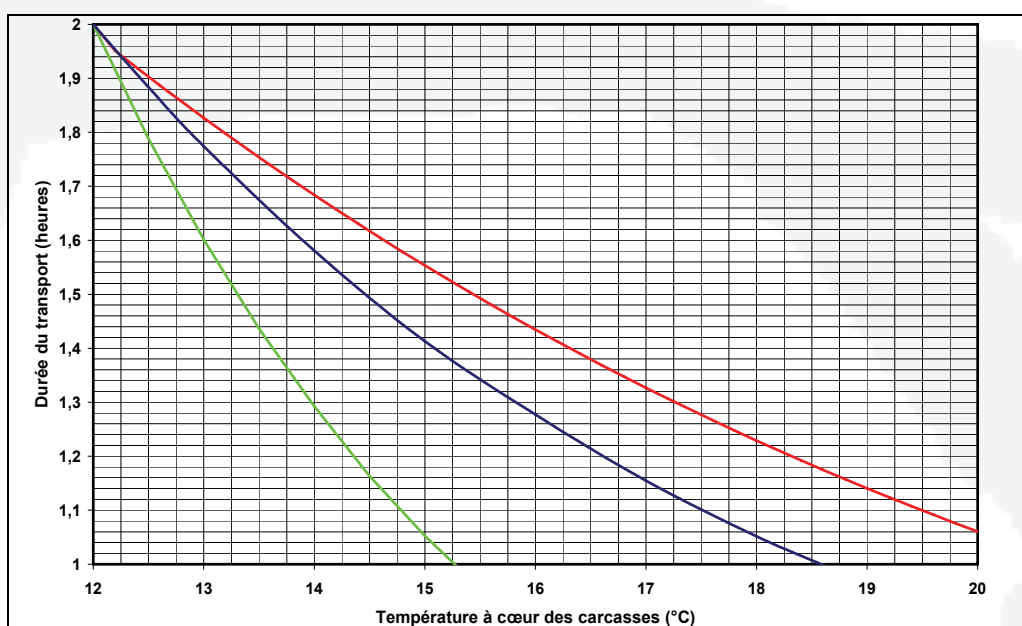


Figure 2. Durées maximales de transport en fonction de la température à cœur des carcasses engendrant un accroissement théorique identique à un transport à 12°C à cœur pendant 2 heures pour *A. hydrophila* (—), *L. monocytogenes* (—) *Salmonella* (—).

Il est nécessaire de souligner que les différentes simulations de croissance sont sécuritaires. En effet, la température des viandes est considérée comme stable pendant le transport. Les temps de latence sont considérés comme nuls alors qu'il est vraisemblable que les bactéries

<sup>1</sup> Il s'agit d'un modèle de croissance aérobie.

contaminant les carcasses soient dans un état physiologique nécessitant une adaptation avant la croissance exponentielle (17, 47). Les modèles utilisés ont été établis en milieu de culture liquide et non sur des viandes. Le modèle de croissance utilisé pour *Salmonella* est un modèle aérobie alors que c'est la croissance à cœur qui est considérée. Enfin, l'activité de l'eau est considérée optimale même en surface alors qu'un dessèchement partiel est possible (35, 58).

## 8- Conclusion

Dans le cadre de la dérogation « découpe à chaud », le transport des carcasses à des températures à cœur de 15°C, sans limite de durée, ne permet pas de garantir que le niveau de sécurité de ces carcasses soit équivalent à celui des carcasses transportées dans le cadre de la dérogation actuelle.

Le transport des carcasses à des températures à cœur, au moment du chargement, comprises entre 12 et 15°C implique des durées de transports inférieures à 2 heures. Les résultats présentés paragraphe 7-3, s'appuyant sur la croissance bactérienne estimée avec des hypothèses sécuritaires, permettent d'établir ces conditions de transports (température à cœur et durée de transport).

Il est souhaitable de rappeler qu'en l'absence de données sur les caractéristiques techniques (vitesse de l'air, humidité relative, espacement entre les carcasses,...) et microbiologiques, l'Afssa n'est pas en mesure de se prononcer sur la pertinence de l'utilisation du transport frigorifique comme un moyen pour refroidir les carcasses. L'Afssa recommande qu'une étude portant sur ces caractéristiques techniques et microbiologiques soit conduite.

## 9- Références bibliographiques

1. **Afssa.** 2006. Avis sur le projet d'arrêté relatif aux règles sanitaires applicables aux produits d'origine animale et aux denrées en contenant, le projet d'arrêté abrogeant des arrêtés relatifs aux règles sanitaires applicables aux produits d'origine animale et aux denrées en contenant, le projet d'arrêté abrogeant l'arrêté du 14 janvier 1994 fixant les conditions sanitaires auxquelles doivent satisfaire les établissements d'abattage de volailles et l'arrêté du 4 novembre 1963 relatif aux conditions de collecte et de commercialisation des œufs, le projet d'arrêté abrogeant des arrêtés relatifs aux règles sanitaires applicables à certains produits d'origine animale et aux denrées en contenant, pris en application du " paquet hygiène ". Afssa.
2. **AQIS (Australian Quarantine Inspection Service).** 2005. Export Control (Meat and Meat Products) Orders 2005 (<http://www.comlaw.gov.au/ComLaw/Legislation/LegislativeInstrumentCompilation1.nsf/>).
3. **Arthur, T. M., D. M. Brichta-Harhay, J. M. Bosilevac, M. N. Guerini, N. Kalchayanand, J. E. Wells, S. D. Shackelford, T. L. Wheeler, and M. Koochmariaie.** 2008. Prevalence and characterization of Salmonella in bovine lymph nodes potentially destined for use in ground beef. *Journal of Food Protection* **71**:1685-1688.
4. **Augustin, J.-C., V. Zuliani, M. Cornu, and L. Guillier.** 2005. Growth rate and growth probability of *Listeria monocytogenes* in dairy, meat and seafood products in suboptimal conditions. *Journal of Applied Microbiology* **99**:1019-1042.
5. **Bolton, D. J., R. A. Pearce, J. J. Sheridan, I. S. Blair, D. A. McDowell, and D. Harrington.** 2002. Washing and chilling as critical control points in pork slaughter hazard analysis and critical control point (HACCP) systems. *Journal of Applied Microbiology* **92**:893-902.
6. **Borch, E., T. Nesbakken, and H. Christensen.** 1996. Hazard identification in swine slaughter with respect to foodborne bacteria. *International Journal of Food Microbiology* **30**:9-25.
7. **Bouvet, J., C. Bavai, R. Rossel, A. Le Roux, M. P. Montet, C. Mazuy, and C. Vernozy-Rozand.** 2003. Evolution of pig carcass and slaughterhouse environment contamination by *Salmonella*. *Revue de Médecine Vétérinaire* **154**:775-779.
8. **Chang, V. P., E. W. Mills, and C. N. Cutter.** 2003. Reduction of bacteria on pork carcasses associated with chilling method. *Journal of Food Protection* **66**:1019-1024.
9. **Christieans, S., and J. Sirami.** 2000. Synthèse des travaux pour la maîtrise des *Listeria* dans la filière porcine. ADIV en collaboration avec l'Afssa Ploufragan, le CTSCCV, l'ITP et l'Oval. <http://www.office-elevage.fr/dei/f584.htm>.
10. **Comité scientifique de l'Afssa.** 2004. Avis 01-2004 : Problématique du transport des viandes non complètement refroidies ("transport à chaud") (dossier 2003/25). Afssa.
11. **Comité scientifique de l'Afssa.** 2008. Avis 31-2008 : Transport à chaud des carcasses de porc (dossier Sci Com 2008/23). Afssa.
12. **Daudin, J. D., and A. Kuitche.** 1996. Modelling of temperature and weight loss kinetics during meat chilling for time variable conditions using an analytical based method - III. Calculations versus measurements on pork carcass hindquarters. *Journal of Food Engineering* **29**:39-62.
13. **Delhalle, L., L. De Sadeleer, K. Bollaerts, F. Farnir, C. Saegerman, N. Korsak, J. Dewulf, L. De Zutter, and G. Daube.** 2008. Risk factors for *Salmonella* and hygiene indicators in the 10 largest Belgian pig slaughterhouses. *Journal of Food Protection* **71**:1320-1329.

14. **Dengremont, E., and J. M. Membre.** 1995. Statistical approach for comparison of the growth rates of five strains of *Staphylococcus aureus*. *Applied and Environmental Microbiology* **61**:4389-4395.
15. **Dickson, J. S., G. R. Siragusa, and J. E. Wray Jr.** 1992. Predicting the growth of *Salmonella typhimurium* on beef by using the temperature function integration technique. *Applied and Environmental Microbiology* **58**:3482-3487.
16. **Dominguez, S. A., and D. W. Schaffner.** 2007. Development and validation of a mathematical model to describe the growth of *Pseudomonas* spp. in raw poultry stored under aerobic conditions. *International Journal of Food Microbiology* **120**:287-295.
17. **Elmnasser, N., M. Ritz-Bricaud, S. Guillou, F. Leroi, N. Orange, A. Bakhrouf, and M. Federighi.** 2006. Réponse adaptative de *Listeria monocytogenes* au stress osmotique et froid: Implication en sécurité des aliments. *Revue de Médecine Veterinaire* **157**:92-101.
18. **Food Safety Centre.** 2005. **MLA Refrigeration Index Calculator** <http://www.foodsafetycentre.com.au/refrigerationindex.php>.
19. **Fosse, J., H. Seegers, and C. Magras.** 2008. Foodborne zoonoses due to meat: a quantitative approach for a comparative risk assessment applied to pig slaughtering in Europe. *Veterinary Research* **39**:01.
20. **Gill, C. O.** 1979. Intrinsic bacteria in meat. *Journal of Applied Bacteriology* **47**:367-378.
21. **Gill, C. O., and J. Bryant.** 1997. Assessment of the hygienic performances of two beef carcass cooling processes from product temperature history data or enumeration of bacteria on carcass surfaces. *Food Microbiology* **14**:593-602.
22. **Gill, C. O., F. Dussault, R. A. Holley, A. Houde, T. Jones, N. Rheault, A. Rosales, and S. Quessy.** 2000. Evaluation of the hygienic performances of the processes for cleaning, dressing and cooling pig carcasses at eight packing plants. *International Journal of Food Microbiology* **58**:65-72.
23. **Gill, C. O., J. C. L. Harrison, and D. M. Phillips.** 1991. Use of a temperature function integration technique to assess the hygienic adequacy of a beef carcass cooling process. *Food Microbiology* **8**:83-94.
24. **Gill, C. O., and T. Jones.** 1992. Assessment of the hygienic efficiencies of two commercial processes for cooling pig carcass. *Food Microbiology* **9**:335-343.
25. **Gill, C. O., and T. Jones.** 1997. Assessment of the hygienic performances of an air-cooling process for lamb carcasses and a spray-cooling process for pig carcasses. *International Journal of Food Microbiology* **38**:85-93.
26. **Gill, C. O., and C. Landers.** 2003. Effects of spray-cooling processes on the microbiological conditions of decontaminated beef carcasses. *Journal of Food Protection* **66**:1247-1252.
27. **Gonzales Barron, U., D. Bergin, and F. Butler.** 2008. A meta-analysis study of the effect of chilling on prevalence of *Salmonella* on pig carcasses. *Journal of Food Protection* **71**:1330-1337.
28. **Gospavic, R., J. Kreyenschmidt, S. Bruckner, V. Popov, and N. Haque.** 2008. Mathematical modelling for predicting the growth of *Pseudomonas* spp. in poultry under variable temperature conditions. *International Journal of Food Microbiology* **127**:290-297.
29. **Holley, R. A., M. D. Peirson, J. Lam, and K. B. Tan.** 2004. Microbial profiles of commercial, vacuum-packaged, fresh pork of normal or short storage life. *International Journal of Food Microbiology* **97**:53-62.
30. **ICMSF.** 1998. Meat and meat products, p. 1-74, Micro-Organisms in Foods 6. Microbial Ecology of Food Commodities.
31. **Institute of Food Research.** 2006. **Combase Modelling Toolbox** <http://www.combase.cc/toolbox.html>.
32. **Jericho, K. W. F., G. O'Laney, and G. C. Kozub.** 1998. Verification of the hygienic adequacy of beef carcass cooling processes by microbiological culture and the temperature-function integration technique. *Journal of Food Protection* **61**:1347-1351.
33. **Jones, R. J.** 1996. Establishment of provisional quality assurance guidelines for assessing the hygienic adequacy of beef side cooling regimes. *Meat Science* **43**:345-349.
34. **Kinsella, K. J., T. A. Rowe, I. S. Blair, D. A. McDowell, and J. J. Sheridan.** 2006. Survival and recovery of *Salmonella enterica* serovar typhimurium DT104 at low temperature and water activity in a broth system. *Foodborne Pathogens and Disease* **3**:375-383.
35. **Kinsella, K. J., J. J. Sheridan, T. A. Rowe, F. Butler, A. Delgado, A. Quispe-Ramirez, I. S. Blair, and D. A. McDowell.** 2006. Impact of a novel spray-chilling system on surface microflora, water activity and weight loss during beef carcass chilling. *Food Microbiology* **23**:483-490.
36. **Kondjoyan, A., and J. D. Daudin.** 1997. Heat and Mass Transfer Coefficients at the Surface of a Pork Hindquarter. *Journal of Food Engineering* **32**:225-240.
37. **Kuitche, A., G. Letang, and J. D. Daudin.** 1996. Modelling of Temperature and Weight Loss Kinetics during Meat Chilling for Time-variable Conditions using an Analytical-based Method - II. Calculations Versus Measurements on Wet Plaster Cylinders and Cast. *Journal of Food Engineering* **28**:85-107.
38. **Lindblad, M., H. Lindmark, S. Thisted Lambertz, and R. Lindqvist.** 2007. Microbiological baseline study of swine carcasses at Swedish slaughterhouses. *Journal of Food Protection* **70**:1790-1797.
39. **Lovatt, S. J., R. G. Bell, and G. J. Le Roux.** 2006. Establishment of critical hygiene indices for meat cooling processes evaluated by a temperature function integration method. *Journal of Food Protection* **69**:2084-2090.
40. **Mackey, B. M., and C. M. Derrick.** 1979. Contamination of the deep tissues of carcasses by bacteria present on the slaughter instruments or in the gut. *Journal of Applied Bacteriology* **46**:355-366.
41. **Mano, S. B., J. A. Ordonez, and G. D. Garcia De Fernando.** 2000. Growth/survival of natural flora and *Aeromonas hydrophila* on refrigerated uncooked pork and turkey packaged in modified atmospheres. *Food Microbiology* **17**:657-669.
42. **Mataragas, M., P. N. Skandamis, and E. H. Drosinos.** 2008. Risk profiles of pork and poultry meat and risk ratings of various pathogen/product combinations. *International Journal of Food Microbiology* **126**:1-12.
43. **McMeekin, T. A.** 2007. Predictive microbiology: Quantitative science delivering quantifiable benefits to the meat industry and other food industries. *Meat Science* **77**:17-27.
44. **McMeekin, T. A., J. Baranyi, J. Bowman, P. Dalgaard, M. Kirk, T. Ross, S. Schmid, and M. H. Zwietering.** 2006. Information systems in food safety management. *International Journal of Food Microbiology* **112**:181-194.

45. **Mellefont, L. A., T. A. McMeekin, and T. Ross.** 2003. Performance evaluation of a model describing the effects of temperature, water activity, pH and lactic acid concentration on the growth of *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology* **82**:45-58.
46. **Monin, G.** 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *Inra Productions Animales* **16**:251-262.
47. **Moorhead, S. M., and G. A. Dykes.** 2004. Influence of the sigB gene on the cold stress survival and subsequent recovery of two *Listeria monocytogenes* serotypes. *International Journal of Food Microbiology* **91**:63-72.
48. **Nesbakken, T., K. Eckner, and O.-J. Røtterud.** 2008. The effect of blast chilling on occurrence of human pathogenic *Yersinia enterocolitica* compared to *Campylobacter* spp. and numbers of hygienic indicators on pig carcasses. *International Journal of Food Microbiology* **123**:130-133.
49. **Nesbakken, T., G. Kapperud, and D. A. Caugant.** 1996. Pathways of *Listeria monocytogenes* contamination in the meat processing industry. *International Journal of Food Microbiology* **31**:161-171.
50. **Neumeyer, K., T. Ross, and T. A. McMeekin.** 1997. Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage pseudomonads. *International Journal of Food Microbiology* **38**:45-54.
51. **New Zealand Food Safety Authority.** 2004. Industry Standard 6 / Industry Agreed Standard 6 Processing of Edible Product.
52. **Pearce, R. A., D. J. Bolton, J. J. Sheridan, D. A. McDowell, I. S. Blair, and D. Harrington.** 2004. Studies to determine the critical control points in pork slaughter hazard analysis and critical control point systems. *International Journal of Food Microbiology* **90**:331-339.
53. **Prendergast, D. M., T. A. Rowe, and J. J. Sheridan.** 2007. Survival of *Listeria innocua* on hot and cold beef carcass surfaces. *Journal of Applied Microbiology* **103**:2721-2729.
54. **Reichel, M. P., D. M. Phillips, R. Jones, and C. O. Gill.** 1991. Assessment of the hygienic adequacy of a commercial hot boning process for beef by a temperature function integration technique. *International Journal of Food Microbiology* **14**:27-41.
55. **Ross, T., D. A. Ratkowsky, L. A. Mellefont, and T. A. McMeekin.** 2003. Modelling the effects of temperature, water activity, pH and lactic acid concentration on the growth rate of *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology* **82**:33-43.
56. **Roussel, R.** 2003. *Listeria monocytogenes* en abattage et découpe de porc : contrôle de la contamination environnementale des frigos de ressuage et salles de découpe. Doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.
57. **Saïde-Albornoz, J. J., C. L. Knipe, E. A. Murano, and G. W. Beran.** 1995. Contamination of pork carcasses during slaughter, fabrication, and chilled storage. *Journal of Food Protection* **58**:993-997.
58. **Savell, J. W., S. L. Mueller, and B. E. Baird.** 2005. The chilling of carcasses. *Meat Science 50th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST)*, 8-13 August 2004, Helsinki, Finland **70**:449-459.
59. **Shaw, M. K., A. G. Marr, and J. L. Ingraham.** 1971. Determination of the minimal temperature for growth of *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology* **105**:683-684.
60. **Spescha, C., R. Stephan, and C. Zweifel.** 2006. Microbiological contamination of pig carcasses at different stages of slaughter in two European Union-approved abattoirs. *Journal of Food Protection* **69**:2568-2575.
61. **Springer, M. P., M. A. Carr, C. B. Ramsey, and M. F. Miller.** 2003. Accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *Journal of Animal Science* **81**:1464-1472.
62. **Thévenot, D., A. Dernburg, and C. Vernozy-Rozand.** 2006. An updated review of *Listeria monocytogenes* in the pork meat industry and its products. *Journal of Applied Microbiology* **101**:7-17.
63. **United States Department of Agriculture (USDA).** Pathogen Modeling Program version 7.0 <http://pmp.arserrc.gov/PMPOnline.aspx> ou <http://ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=11550>.
64. **Yu, S.-L., P. H. Cooke, and S.-I. Tu.** 2001. Effects of chilling on sampling of bacteria attached to swine carcasses. *Letters in Applied Microbiology* **32**:205-210.

## 10- Mots-clefs

*carcasse ; ressuage ; paquet hygiène ; dérogation ; microbiologie prévisionnelle*

La directrice générale de l'Agence française de sécurité  
sanitaire des aliments

Pascale BRIAND

## Annexe 1 : Modèles de croissance, présentation et comparaison

### Modèles présentés dans le dossier du pétitionnaire

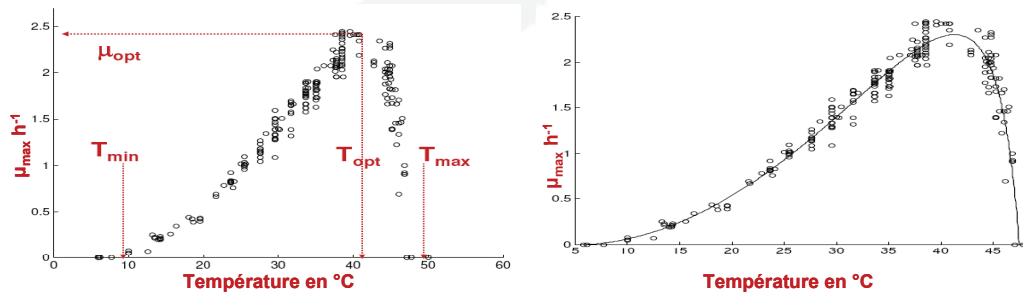
La forme générale du modèle est la suivante (4) :

$$\mu_{\max} = \mu_{opt} \cdot \gamma(T) \cdot \gamma(a_w) \cdot \gamma(pH) \cdot \gamma(\text{intérazions}) \quad (\text{eq. 1})$$

L'effet de chacun des facteurs (T, pH, et  $a_w$ ) est décrit par une fonction mathématique dont les paramètres ont une signification biologique (valeurs cardinales).

Par exemple la relation reliant le taux de croissance à la température est la suivante :

$$\mu_{\max} = \mu_{opt} \cdot \gamma(T) \quad \text{avec} \quad \gamma(T) = \frac{(T - T_{\max}) \cdot (T - T_{\min})^2}{(T - T_{\min}) \cdot [(T_{opt} - T_{\min}) \cdot (T - T_{opt}) - (T_{opt} - T_{\max}) \cdot (T_{opt} + T_{\min} - 2T)]}$$



Les valeurs de  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  et  $T_{opt}$  sont caractéristiques d'un microorganisme et indépendantes de l'aliment. Ce raisonnement peut-être étendu à  $a_w$  et au pH. En revanche, la valeur du taux de croissance optimal ( $\mu_{opt}$ ) dépend de l'aliment considéré.

Le taux de croissance est ensuite utilisé dans un modèle primaire pour simuler la croissance de chaque micro-organisme en fonction du temps (t) :

$$\ln(x(t)) = \ln x_0, \quad t \leq lag$$

$$\ln(x(t)) = \frac{\ln x_{\max}}{\ln \left( 1 + \left( \frac{x_{\max}}{x_0} - 1 \right) \exp(-\mu_{\max} \cdot (t - lag)) \right)}, \quad t \geq lag \quad (\text{eq. 2})$$

Le nombre de bactérie a un temps t,  $\ln(x(t))$ , dépend du nombre initial de cellule ( $x_0$ ), du taux de croissance ( $\mu_{\max}$ ), du temps de latence (lag) et du nombre de cellule atteint en phase stationnaire ( $x_{\max}$ ).

Le potentiel de croissance peut-être prédit

### Autres modèles utilisés en comparaison

- Modèles secondaires pour *E. coli*

Le premier modèle testé (23, 54) permet d'estimer la croissance de *E. coli* ( $\mu$ , exprimée générations par heure) en fonction de la température (T) en condition aérobie :

$$\mu = \begin{cases} [(0.0513 \cdot T) - 0.17]^2 & 7^\circ\text{C} < T \leq 30^\circ\text{C} \\ [(0.027 \cdot T) + 0.55]^2 & 30^\circ\text{C} < T \leq 40^\circ\text{C} \\ 2.66 & 40^\circ\text{C} < T \leq 47^\circ\text{C} \\ 0 & T \leq 7^\circ\text{C} \quad T > 47^\circ\text{C} \end{cases} \quad (\text{eq. 3a})$$

Ce taux de croissance est ensuite intégré dans un index d'hygiène de procédé (« *Process Hygiene Index* » - PHI). Le PHI se calcule de la façon suivante :

$$PHI = \sum_1^n \mu_i \cdot (t_{i+1} - t_i) \quad (\text{eq. 3b})$$

Le PHI est également exprimé en accroissement total de *E. coli* (39)  $N_{E. coli}$ :

$$N_{E. coli} = 2^{PHI} \quad (\text{eq. 3c})$$

Le second modèle testé est celui développé par Ross et al. (55) et validé par Mellefont et al. (45). Ce modèle prédit la croissance ( $r$ , exprimée en génération par heure) en fonction de la température ( $T$ ), du pH, de la concentration en acide lactique ([LAC]) et de l'activité de l'eau ( $a_w$ ).

$$\begin{aligned} \sqrt[4]{r} = & 0.2790 \times ((T - 4.14) \times (1 - \exp(0.2636 \\ & \times (T - 49.55))) \times \sqrt[4]{(a_w - 0.9508)} \\ & \times \sqrt[4]{(1 - 10^{(3.909 - \text{pH})})} \times \sqrt[4]{(1 - 10^{(\text{pH} - 8.860)})} \\ & \times \sqrt[4]{(1 - [\text{LAC}]/10.433)} \times (1 + 10^{(\text{pH} - 3.86)}) \\ & \times \sqrt[4]{(1 - ([\text{LAC}]/(995.509 \\ & \times (1 + 10^{(3.86 - \text{pH}))))))} \pm 0.0054 \end{aligned} \quad (\text{eq. 4a})$$

Ce modèle est aujourd'hui mis à disposition des professionnels sous forme d'un logiciel téléchargeable (18). Il permet de calculer un indice de réfrigération ( $RI$ ) qui correspond à la croissance de *E. coli* sur la période de refroidissement :

$$RI = \log_{10} \left( \frac{N_n}{N_0} \right) = \sum_1^n r_i \cdot (t_{i+1} - t_i) \cdot 0.303 \quad (\text{eq. 4b})$$

- Modèles secondaires pour *Pseudomonas*

Un des modèles testés (le deuxième étant issu de l'outil Combase Modelling Toolbox – confère ci-dessous) pour *Pseudomonas* a été publié par Gill & Jones (24). Il permet d'estimer la croissance de *Pseudomonas* ( $\mu$ , exprimée générations par heure) en fonction de la température ( $T$ ) en condition aérobie :

$$\mu = \begin{cases} [(0.033 \cdot T) + 0.27]^2 & -2^\circ\text{C} < T \leq 25^\circ\text{C} \\ 1 & 25^\circ\text{C} < T \leq 35^\circ\text{C} \\ 0 & T \leq -2^\circ\text{C} \quad T > 35^\circ\text{C} \end{cases} \quad (\text{eq. 5a})$$

L'accroissement de *Pseudomonas* se calcule de la façon suivante :

$$N_{Pseudomonas} = 2^{\sum_1^n \mu_i (t_{i+1} - t_i)} \quad (\text{eq. 5b})$$

- Combase Modelling Toolbox (31)

L'IFR (Institute of Food Research) propose un outil de modélisation, dénommé Combase Modelling Toolbox, utilisable en ligne. Cet outil permet de prédire la réponse microbienne à des facteurs environnementaux. La température, le pH et l'activité de l'eau (ou le taux de NaCl) sont des facteurs pris en compte pour la croissance de 15 micro-organismes. Pour certains micro-organismes, un quatrième facteur (concentration en nitrites, concentration en CO<sub>2</sub>, etc.) est également implémenté.

Les modèles utilisés sont des modèles polynomiaux dont le paramétrage n'est pas accessible à l'utilisateur. Les données ayant servi à construire les modèles sont des données en milieu de culture. Les auteurs en concluent que les prévisions de croissance sont sécuritaires.

Cet outil propose au même titre que Sym'Previus de traiter des profils de température dynamiques.

Les modèles secondaires pour *Pseudomonas*, *Salmonella*, et *Listeria* de cet outil ont été utilisés.

- Pathogen Modeling Program (63)

L'outil Pathogen Modeling Program (PMP) est accessible en ligne. Cet outil de prévision du comportement des micro-organismes est l'un des plus utilisés. La version actuelle inclut plus de 35 modèles pour 11 pathogènes. Les facteurs environnementaux pris en compte sont la température, le pH, le taux de sel NaCl (ou l'activité de l'eau) et pour certains micro-

organismes d'autres facteurs (acides organiques, composition de l'atmosphère, ...). Les prévisions peuvent être exportées et les références bibliographiques dont sont issus les modèles sont données.

L'inconvénient de ce modèle est que seul des conditions fixes de température peuvent être implémentées (44).

### Comparaison des potentiels de croissance estimés dans le dossier du pétitionnaire et les potentiels estimés par d'autres modèles

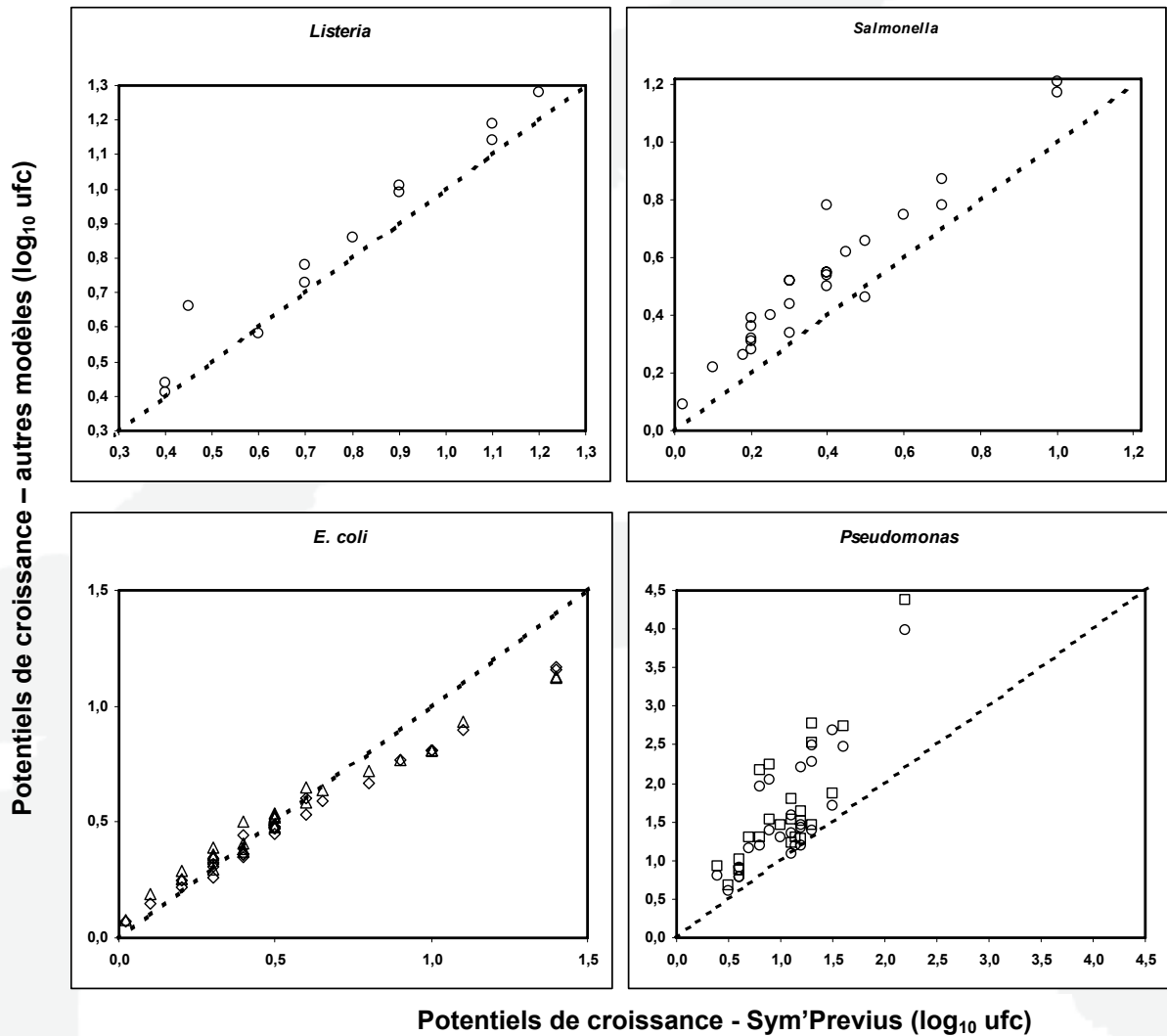


Figure A1. Comparaison des potentiels de croissance estimés par Sym'Previus pour les différents refroidissements en transport et en chambre froide aux potentiels estimés à l'aide des modèles suivants : (○) Combase Modelling Toolbox (31) ; (◇) Gill et al. (23) ; (△) Ross et al. (55) ; (□) Gill & Jones (24).



## Annexe 2 : Relation entre température de surface et température à cœur des carcasses

Le pétitionnaire a mesuré les températures à cœur des jambons au moment du chargement. Les températures mesurées à la surface de ces mêmes jambons au moment du chargement sont directement corrélées à ces températures à cœur (Figure A2).

Ces deux mesures de températures étant toutes deux sujettes à des fluctuations aléatoires, la régression orthogonale a été utilisée pour déterminer la relation entre ces deux températures. Au lieu de minimiser les carrés des écarts selon l'axe horizontal ou vertical, la droite de régression orthogonale (ou axe majeur) implique les deux variables.

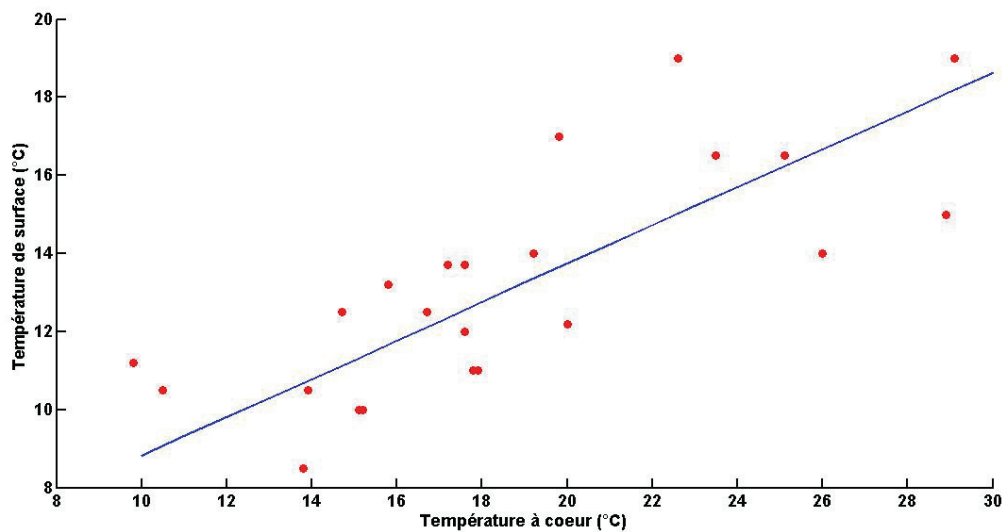


Figure A2. Températures de surface ( $T_s$ ) versus les températures à cœur ( $T_c$ ) de jambons au moment du chargement (•). Axe majeur (—) :  $T_s = 0.4866 T_c + 3.99$ .