

# Guide Pratique de la Cuisson Sous Vide

Douglas E. Baldwin

Version 0.4 h

Lundi 20 avril 2009

Traduction de l'Anglais au Français:

**addelice**

Addelice Ltd.

<http://www.addelice.com>

Clause de non responsabilité : toutes les informations contenues dans ce guide sont exclusivement divulguées à titre éducatif. Douglas Baldwin ne donne aucune garantie implicite ou explicite sur la pertinence, l'opportunité, la précision, l'exhaustivité et /ou l'utilité de l'information contenue dans le présent guide. Ce document peut comporter des erreurs. Douglas Baldwin ne saurait être tenu responsable et n'assume aucune responsabilité lors de l'utilisation de ce guide.

Addelice Ltd ne serait être tenu responsable du contenu du présent document. Addelice Ltd ne donne aucune garantie implicite ou explicite sur la pertinence, l'opportunité, la précision, l'exhaustivité et /ou l'utilité de l'information contenue dans le présent guide. Ce document peut comporter des erreurs. Addelice Ltd ne saurait être tenu responsable et n'assume aucune responsabilité lors de l'utilisation de ce guide.

©2008 du document en Anglais intitulé « A Practical Guide to Sous Vide Cooking » par Douglas Baldwin. Les reproductions de tous types et de toutes formes, même partielles, ainsi que l'exploitation et/ou la transmission de son contenu ne sont interdites

©2009 par Addelice Ltd. La présente traduction de l'Anglais au Français du document de Douglas Baldwin « A Practical Guide to Sous Vide Cooking » est protégée par les droits d'auteurs. Cette traduction a été expressément autorisée par Douglas Baldwin au profit d'Addelice Ltd. Les reproductions de tous types et de toutes formes, même partielles, ainsi que l'exploitation et/ou la transmission de son contenu ne sont pas permises sans autorisation écrite d'Addelice Ltd. Les autres droits demeurent réservés.

# PREFACE

« Sous vide » est un terme générique utilisé par les Anglo-Saxons décrivant une technique de cuisson des aliments préalablement ensachés, mis sous vide et scellés. En Français il est habituel de parler de « cuisson sous vide à juste température ». La cuisson sous vide se fait à basse température avec des temps de cuisson souvent longs. A l'aide d'un équipement adapté et de quelques connaissances, tout un chacun peut invariablement préparer des mets délicieux en toute sécurité. Avec des connaissances plus approfondies, un chef pourra créer (ou modifier) ses propres recettes en y apportant sa touche personnelle.

Le but de ce guide est de tenter de diffuser la connaissance scientifique de la cuisson sous vide au plus grand nombre en fournissant les outils nécessaires pour que tout un chacun puisse, en toute sécurité, exprimer sa créativité culinaire. La Partie I aborde les techniques et la sécurité alimentaire propres à la cuisson sous vide. Quelques recettes de base sont présentées dans la Partie II. Les mathématiques de la cuisson sous vide sont détaillées dans l'Annexe A. Enfin, l'Annexe B traitera des équipements spécifiques et nécessaires pour faire de la cuisine sous vide.

# INTRODUCTION

La cuisson sous vide à juste température est une méthode de cuisson réalisée dans une poche plastique sous vide et scellé, à basse température et, parfois, pendant de longues heures. La cuisson sous vide se différencie des méthodes de cuisson conventionnelles de deux façons : (i) l'aliment cru est mis sous vide dans une poche plastique et (ii) la cuisson de l'aliment est réalisée avec un contrôle précis de la température.

Le sachet sous vide permet d'éviter les pertes par évaporation des composés volatiles, de l'eau ou des jus pendant la cuisson et également de limiter les mauvais goûts pouvant provenir de l'oxydation de certains aliments (Church et Parsons, 2000). Il en résulte des mets savoureux et nutritifs (Church, 1998; Creed, 1998; García-Linares et al., 2004; Ghazala et al., 1996; Lassen et al., 2002; Schellekens, 1996; Stea et al., 2006). Le sachet sous vide permet également de réduire la croissance des bactéries aérobies et autorise un transfert thermique performant de l'eau (ou de la vapeur) vers l'aliment à cuire.

Un contrôle précis de la température est important, notamment lors de la cuisson des poissons, viandes et volailles. Prenons l'exemple de la cuisson d'une épaisse tranche de steak cuit à point. Cuire le steak sur un grill à plus 500°C jusqu'à ce que son centre atteigne les 50°C aura pour résultat un steak trop cuit (à l'exception de son centre). La solution habituelle pour résoudre ce problème consiste à saisir un côté du steak dans une poêle, le retourner, et disposer la poêle dans un four à 135°C jusqu'à ce que le centre du steak atteigne les 55°C. Avec la cuisson sous vide, le steak est mis sous vide et scellé dans une poche plastique et cuit à 55°C dans un bain marie pendant quelques heures. Le steak est ensuite saisi dans une poêle ou à l'aide d'un petit chalumeau. Il en résultera un steak cuit à point, croustillant à l'extérieur, et dont la cuisson sera uniforme tant en périphérie du steak qu'en son centre.

Ainsi, un savoureux "flat iron steak" (steak haut de palette) pourra être cuit en toute sécurité à 55°C dans un bain marie pendant 24 heures. Il en résultera une viande cuite à point aussi tendre qu'un filet mignon.

Partie I  
Technique

# 1. Sécurité Alimentaire

Notre objectif est d'optimiser le goût tout en réduisant le risque de développement d'agents infectieux d'origine alimentaire. Bien que les microorganismes infectieux puissent être maîtrisés par ajout d'acides, sels et épices, la cuisine sous vide repose essentiellement sur le contrôle de la température (Rybka-Rodgers, 2001).

## Contexte

Le mythe de la "zone dangereuse" située entre 4°C et 60°C est absurde. Il est bien connu que les agents infectieux alimentaires peuvent proliférer entre -1,6°C et 53°C, et que les bactéries d'altération commencent à se multiplier à -5°C (Snyder, 2006). De plus, contrairement à l'idée communément répandue, les agents infectieux alimentaires et les toxines ne peuvent être décelées par la vue, l'odorat ou le goût.

Tous les ingrédients préparés sous vide peuvent être classés en trois catégories : (i) cru ou non pasteurisé, (ii) pasteurisé et (iii) stérilisé. La pasteurisation est un procédé par lequel les aliments sont chauffés afin de réduire le seuil des agents pathogènes à un niveau sûr permettant d'éviter les intoxications alimentaires. Les pathogènes végétatifs sont de simples bactéries qui grandissent et se multiplient. Quelques bactéries sont également capables de former des spores résistantes à la chaleur et aux agents chimiques. Le traitement par la chaleur des aliments pour réduire les microorganismes végétatifs et les spores à un niveau sûr s'appelle la stérilisation. *La stérilisation se fait habituellement avec une cocotte-minute portant le centre de*

*l'aliment à une température de 121°C pendant 2 minutes et 40 seconds (Snyder, 2006).* Les aliments stérilisés se conservent bien mais sont globalement trop cuits et ont un goût similaire à celui que l'on retrouve dans les conserves.

Les aliments pasteurisés doivent être immédiatement consommés ou rapidement refroidis et réfrigérés afin d'éviter le développement et la multiplication des spores. De plus, le centre de l'aliment devrait atteindre 54,4°C pendant 6 heures afin d'empêcher la multiplication de toxines produites par le *Clostridium perfringens* à un seuil dangereux pour la santé (Willardsen et al., 1977).

Les aliments crus ou non pasteurisés ne doivent jamais être servis aux femmes enceintes ou aux personnes aux défenses immunitaires amoindries. Même pour les personnes en bonne santé il est important que les aliments crus ou non pasteurisés soient consommés avant que les agents pathogènes n'aient le temps de se multiplier jusqu'à atteindre un seuil dangereux. C'est pour cette raison que le « US Food Code » impose que les aliments cuits sous vide ne soient conservés à une température comprise entre 5°C et 54,4°C que pendant 4 heures maximum (Anon., 2005b, 3-501.19.B)

La pasteurisation est un processus combinant deux facteurs, la température et le temps. Prenons l'exemple d'une bactérie bien connue : la *Salmonelle* spp. A 60°C les *Salmonelles* présentes dans une pièce de bœuf ne seront pas instantanément détruites. La présence de *Salmonelles* est réduite par dix toutes les 5 minutes et 48 secondes (Juneja et al., 2001). Ce point est

souvent illustré par la réduction d'une décimale et s'écrit  $D_{60}^{6.0} = 5$  minutes et 48 secondes ; le dénominateur se référant à la température (en °C) auquel se rapporte la D-value et le numérateur est la z-value (en °C). La z-value indique comment la D-value varie avec la température. Une augmentation de la température par la z-value aura pour conséquence de réduire le temps nécessaire d'une décimale par un facteur 10. Ainsi,  $D_{66}^{6.0} = 0,55$  minutes et  $D_{54}^{6.0} = 54,8$  minutes. Le bœuf est considéré comme sans danger après une réduction de 6,5 décimales de Salmonelle (Anon., 2005a) ou après  $6,5D_{60}^{6.0} = 35,6$  minutes.

Le taux de destruction des bactéries dépend de nombreux facteurs, comprenant la température, le type de viande, le type de muscle, la proportion de gras, l'acidité, la teneur en sel, de certains épices, et la concentration en eau. L'ajout d'acides, sels ou épices peuvent faire diminuer le nombre de pathogènes végétatifs. C'est la raison pour laquelle la mayonnaise n'a pas besoin d'être cuite (à la condition d'avoir un pH inférieur à 4,1). Des additifs chimiques comme le lactate de sodium ou le lactate de calcium sont souvent utilisés dans l'industrie alimentaire afin de réduire le risque de formation de spores infectieux comme le Clostridium spp. et le Bacille cereus (Aran, 2001; Rybka-Rodgers, 2001).

### **Agents Pathogènes concernant la cuisson sous vide**

La méthode de cuisson sous vide est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire afin d'augmenter la durée de conservation des aliments. Les sachets sous vide pasteurisés et conservés en dessous de 3,3°C sont ainsi considérés comme propre à la consommation entre 3 et 4 semaines (Armstrong et McIlveen, 2000; Betts et Gaze, 1995; Church, 1998; Creed, 1995; González- Fandos et al., 2004, 2005; Hansen et al., 1995; Mossel et Struijk,

1991; Nyati, 2000a; Peck, 1997; Peck et Stringer, 2005; Rybka-Rodgers, 2001; Simpson et al., 1994; Vaudagna et al., 2002).

La méthode la plus simple et la plus sûre pour cuisiner sous vide consiste à cuire et maintenir au chaud (« Cook-hold »). Les aliments crus (ou partiellement cuits) sont mis sous vide et scellés, pasteurisés puis maintenus à 54,4°C ou à une température supérieure jusqu'au moment de les servir. Bien que le maintien au chaud des aliments limite la multiplication des bactéries, les viandes et légumes maintenus au chaud trop longtemps deviendront ramolli et se transformeront en bouillie. Il est donc ici question de la détermination de la durée du maintien au chaud et du type d'aliment cuit. Bien qu'une grosse pièce de bœuf puisse être cuite et maintenue au chaud à 54,4°C dans un bain marie pendant 24 à 48 heures, la plupart des aliments ne peuvent être maintenus au chaud que 8 à 10 heures maximum avant de devenir inacceptablement tendres.

Les méthodes de cuisson sous vide les plus répandues consistent à cuire et refroidir (« cook-chill ») ou cuire et congeler (« cook-freeze »). Les ingrédients crus (ou partiellement cuits) sont mis sous vide et scellés, pasteurisés, rapidement refroidis (afin d'éviter la sporulation du Clostridium perfringens (Andersson et al., 1995), puis réfrigérés ou congelés pour finalement être réchauffés avant leur consommation. Habituellement les sachets sous vides sont rapidement refroidis en les immergeant dans un bain d'eau glacé pour une durée au moins égale à celle indiquée au Tableau 1.1.

Concernant la technique consistant à cuire puis refroidir (« cook-chill ») il est important d'atteindre au moins une réduction de 6 décimales de Listeria monocytogenes. Les Listeria sont des bacilles non sporulés résistants à la chaleur, pathogènes pour l'homme, et capables de se reproduire à la température ambiante d'un réfrigérateur (Nyati, 2000b;

Rybka-Rodgers, 2001). De plus, bien que la poche plastique empêche la contamination des aliments après la cuisson, les spores de *Clostridium botulinum*, de *Clostridium perfringens* et de *Bacille cereus* peuvent tous survivre au processus de la pasteurisation. Aussi, après que les aliments aient été rapidement réfrigérés, il faut soit les congeler soit les maintenir à une température

- i. inférieur à 2,5°C pendant un maximum de 90 jours,
- ii. inférieur à 3,3°C pendant un maximum de 31 jours,
- iii. inférieur à 5°C pendant un maximum de 10 jours, ou
- iv. inférieur à 7°C pendant un maximum de 5 jours

afin d'éviter le développement des spores non-protéolytique de *Clostridium botulinum* et la production de neurotoxines mortelles (Gould, 1999; Peck, 1997).

Quelques recettes de cuisson sous vide utilisent des combinaisons température/temps pouvant réduire les spores non-protéolytique de *Clostridium botulinum* à un niveau sûr pour la santé. En particulier, une réduction de 6 décimales de *Clostridium botulinum* non-protéolytique nécessite 520 minutes (8 heures et 40 minutes) à 75°C, 75 minutes à 80°C ou 25 minutes à 85°C (Fernández and Peck, 1999). Les aliments peuvent ainsi être conservés indéfiniment à 4°C, la température minimale en dessous de laquelle le *Bacille cereus* ne peut plus se développer (Andersson et al., 1995). Si le sachet a été vidé de son oxygène alors les aliments peuvent être conservés en dessous de 10°C indéfiniment. 10°C étant la température en dessous de laquelle le *Clostridium botulinum* et le *Clostridium perfringens* ne peuvent plus se développer (Rybka-Rodgers, 2001). Néanmoins, O'Mahony et al. (2004) remarquèrent que la majorité des sachets mis sous vide

contenait malgré tout une quantité élevée de résidus d'oxygène.

Durée de refroidissement dans un bain d'eau glacée pour atteindre 5°C

<i>Epaisseur</i>	<i>131°F</i>	<i>141°F</i>	<i>176°F</i>
<i>mm</i>	<i>55°C</i>	<i>60,5°C</i>	<i>80°C</i>
5	1	1	1
10	4	4	5
15	10	10	11
20	17	18	20
25	27	28	30
30	38	40	43
35	52	54	59
40	1:07	1:10	1:17
45	1:25	1:28	1:37
50	1:45	1:49	1:59
55	2:07	2:11	2:24
60	2:30	2:36	2:51
65	2:56	3:03	3:21
70	3:24	3:31	3:53

Tableau 1.1: Durée approximative de refroidissement (hh:mm) pour que la température à cœur atteigne 5°C dans un bain d'eau glacé contenant au minimum la moitié de glace.

## 2. Technique de base

Les étapes de la cuisson sous vide à juste température sont habituellement au nombre de 3 : la préparation préalable à la mise sous vide, la cuisson et la finition.

Dans la plupart des cas la cuisson se fait soit avec un bain marie soit avec un four mixte (convection/vapeur). Un four mixte permet de cuire une grande quantité de nourriture *mais ne chauffe pas de façon suffisamment uniforme pour pouvoir utiliser les tables de températures/temps du présent guide*. Sheard et Rodger (1995) remarquèrent que, lorsque les fours mixtes sont remplis à leur maximum, aucun des fours testés ne cuisait uniformément le contenu des sachets sous vide. En effet, certains sachets sous vide mirent 70% à 200% plus de temps, par rapport à d'autres sachets sous vide disposés dans le même four, pour passer de 20°C à 75°C alors que les fours mixtes étaient réglés à 80°C. Sheard et Rodger en conclurent que cette variation provenait de la relativement mauvaise répartition de la vapeur à une température inférieure à 100°C. La vapeur étant le vecteur de transfert thermique de ce type de four.

Contrairement au four mixte, le bain marie, dont l'eau est brassée, chauffe de façon uniforme avec une variation de température inférieure à 0,05°C. Afin d'éviter que les aliments ne soient pas assez cuits il est important que les sachets sous vide soient complètement immergés et qu'ils ne soient pas trop proches les uns des autres (Rybka-Rodgers, 1999). A des températures de cuisson élevées, les sachets ont tendance à ballonner (à cause de la vapeur d'eau) et doivent être maintenus sous l'eau à l'aide, par exemple, d'un ustensile de cuisine.

### Etape de la préparation préalable à la mise sous vide

#### Assaisonnement

En cuisson sous vide à juste température l'assaisonnement s'avère une tâche délicate. En effet, alors que beaucoup d'herbes et d'épices réagissent comme attendu, d'autres sont intensifiées et peuvent sérieusement déséquilibrer les arômes d'un plat. De plus, les aromates comme les carottes, oignons, céleris, poivrons etc. n'adouciront pas un plat ou ne leur donneront pas les saveurs que l'on rencontre habituellement avec les méthodes de cuisson conventionnelles. La raison provient d'une température trop basse pour amollir les carbohydrates et les parois cellulaires de ces ingrédients. En effet, la plupart des légumes requièrent une température de cuisson bien plus élevée que pour les viandes. C'est la raison pour laquelle légumes et viandes doivent être cuits séparément. Enfin, l'ail cru engendre un résultat déplaisant, très prononcé, auquel nous recommandons de substituer de l'ail en poudre (en très petite quantité).

Lors de longues périodes de cuissons (plus de deux heures), certaines personnes pensent que l'utilisation de l'huile d'olive extra vierge serait à l'origine d'un goût métallique. Dans la mesure où l'huile d'olive extra vierge n'est ni chauffée, ni raffinée au cours de son processus de fabrication, il est raisonnable de penser que l'huile puisse se déstructurer (même à basse température) à la condition d'être exposée à la chaleur pendant une période de temps conséquente. Une solution simple à ce problème consiste à utiliser de l'huile de pépin de raisin ou toutes autres huiles. L'huile d'olive extra vierge pouvant ainsi être utilisée pour l'assaisonnement après la cuisson.

## **Marinades, technique pour attendrir, saumure**

Do nos jours la viande est plus jeune et maigre qu'elle ne l'était dans le passé. Malgré tout, beaucoup de cuisiniers marinent, attendrissent et utilisent la technique de la saumure avant de mettre la viande sous vide.

La plupart des marinades sont acides et contiennent soit du vinaigre, soit du vin, soit du jus de fruit, soit du babeurre ou du yaourt. Parmi ces ingrédients, seuls le vin présente un problème significatif lors de la cuisson sous vide. Si l'alcool n'est pas cuit avant la préparation de la marinade alors une infime partie passera de la phase liquide à l'état gazeux dans le sachet sous vide. Cela aura pour conséquence de faire ballonner le sachet pendant la cuisson et ne permettra pas une cuisson uniforme de la viande. La simple pré-cuisson de l'alcool avant la marinade résout facilement ce problème.

Un attendrisseur à viande du type Jaccard est utilisé communément. Un Jaccard est un ustensile de cuisine composé de fines lames transperçant la viande tout en coupant les fibres internes. Le Jaccard ne laisse pas de traces apparentes sur la viande et est fréquemment utilisé dans les « steak house ». En coupant nombres des fibres internes qui habituellement se contractent sous l'effet de la chaleur et, de ce fait, expulsent les jus, le Jaccard peut ainsi légèrement réduire la perte en eau de la viande pendant sa cuisson. Par exemple, au cours de la cuisson d'un « chuck steak » (épaule basse-côtes collier EPBC) pendant 24 heures à 55°C, le steak passé au Jaccard perdra 18,8% de son poids alors que le steak non passé au Jaccard en perdra 19,9%. En général, plus la viande est cuite longtemps à une température donnée, plus elle perdra d'eau et donc de poids. Néanmoins, cette perte de poids est d'une certaine manière compensée par l'augmentation de la tendreté de la viande

issue de la dissolution du collagène en gélatine.

L'utilisation de la saumure est devenue de plus en plus populaire dans la cuisine moderne, en particulier avec le porc et les volailles. La viande est habituellement immergée dans une solution saline de 3 à 10% (30 à 100 grammes de sel par litre) pendant quelques heures puis rincée et cuite selon les techniques classiques. L'utilisation de la saumure a deux effets : elle dissout certaines structures des fibres musculaires de la viande de telle sorte qu'elles ne peuvent coaguler et s'agréger; elle permet à la viande d'absorber entre 10 à 25% de son poids en eau (y compris, le cas échéant, les aromates des herbes et des épices) (Graiver et al.,

2006; McGee, 2004). Alors que la viande perdra approximativement 20% de son poids à la cuisson, l'effet net de cette technique sera une perte d'environ 0 à 12% de son poids d'origine.

## **La cuisson**

Il existe 2 écoles de pensées concernant la cuisson sous vide à juste température : soit la température du bain marie est (i) juste supérieure ou (ii) significativement supérieure à la température souhaitée à cœur de l'aliment. Alors que (ii) est proche des méthodes de cuisson traditionnelles et utilisé couramment par Roca and Brugués (2005), (i) dispose d'avantages importants par rapport à (ii). Tout au long de ce guide il est entendu que je définirai la température du bain marie à une température de 0,5°C supérieure à la température souhaitée à cœur de l'aliment.

Dans le cas d'un bain marie réglé à une température significativement supérieure à celle souhaitée à cœur de l'aliment, le sachet sous vide doit être retiré du bain marie une fois la température désirée atteinte. A défaut l'aliment risque d'être trop cuit. Cette technique ne permet donc pas de pasteuriser l'aliment dans le même bain marie que celui servant à la cuisson. Dans la mesure où il existe des variations

importantes de vitesses de cuisson selon les aliments (voir Annexe A), une sonde thermique du type « aiguille de pénétration » doit être utilisée afin de déterminer à quel moment l'aliment a atteint la température souhaitée. Afin d'éviter que de l'air ou de l'eau n'entre dans le sachet sous vide perforé par la sonde, cette dernière doit perforer le sachet au travers d'un morceau de mousse adhésive. Malgré l'utilisation de mousse adhésive (similaire à de la mousse haute densité utilisée pour isoler les fenêtres), de l'air entrera nécessairement dans le sachet sous vide une fois la sonde retirée.

A l'opposé, un bain marie dont la température est légèrement supérieure à la température souhaitée à cœur de l'aliment permettra de maintenir le sachet sous vide dans le bain marie (presque) indéfiniment sans qu'il ne devienne trop cuit. Ainsi, l'ingrédient peut être pasteurisé dans le même bain marie que celui utilisé pour la cuisson. Bien que les durées de cuisson soient plus longues qu'avec les techniques de cuisson traditionnelles, la viande atteint la température souhaitée étonnamment vite grâce à la conductivité de l'eau qui est 23 fois supérieure à celle de l'air. De plus, une sonde thermique n'est pas nécessaire car les durées de cuissons maximales peuvent être présentées sous forme de tables (voir l'Annexe A et les tables 2.3 et 2.4).

### **Effets de la chaleur sur la viande**

Le muscle de la viande est composé d'environ 75% d'eau, 20% de protéines, 5% de gras et d'autres matières. Les protéines de la viande peuvent être classées en 3 groupes : les myofibrilles (50 à 55%), sarcoplasmiques (30 à 34%) et les tissus conjonctifs (10 à 15%). Les protéines des myofibrilles (principalement myosine et actine) et les protéines des tissus conjonctifs (principalement du collagène) se contractent sous l'effet de la chaleur. Les protéines sarcoplasmiques, quand à elles, se dilatent sous l'effet de la chaleur.

Ces changements sont appelés « dénaturation ».

Au cours de la cuisson, les fibres du muscle se contractent transversalement et longitudinalement. Les protéines sarcoplasmiques s'agrègent et forment un gel. Les tissus conjonctifs se contractent et se solubilisent. Les fibres du muscle commencent à se contracter entre 35 et 40°C et la contraction augmente presque de façon linéaire jusqu'à 80°C. L'agrégation et la gélification des protéines sarcoplasmiques débutent à environ 40°C et s'arrêtent à environ 60°C. Les tissus conjonctifs commencent à se contracter à environ 60°C mais se contractent de manière plus intense au-delà de 65°C.

La capacité de rétention en eau du muscle de la viande dépend de la contraction et de la dilatation des myofibrilles. Environ 80% de l'eau contenue dans le muscle d'une viande est maintenue au sein des myofibrilles entre les filaments épais (myosine) et fins (actine). Entre 40°C et 60°C, les fibres du muscle se contractent transversalement et élargissent l'espace entre les fibres. Ainsi, au-delà de 60°C à 65°C, les fibres du muscle se contractent longitudinalement tout en provoquant une perte substantielle d'eau. L'intensité de cette contraction augmente avec la température.

Au-delà de la température de contraction du collagène, ce dernier se déstructure, devient soluble dans l'eau et se transforme en gélatine. La dénaturation par la chaleur du collagène est optimale entre 62 et 63 °C (45°C pour le poisson). La dénaturation du collagène par l'enzyme collagénase est optimale entre 55 et 57°C.

Pour plus d'informations se reporter à la description non technique de McGee, 2004, Chapitre 3 ou à l'excellent article de Tornberg (2005).

## Viande tendre

Lorsque l'on cuisine de la viande tendre il suffit de porter son centre à la température souhaitée et, si l'on souhaite la pasteuriser, la maintenir à cette température pendant un

certain temps. Les durées de cuisson dépendent crucialement de l'épaisseur de la viande : doubler l'épaisseur d'une viande multipliera la durée de cuisson par 4 !

	<i>Saignant</i>	<i>Rosé</i>	<i>A point</i>
Viande	125°F (51,5°C)	130°F (54,5°C)	140°F (60°C)
Poisson	110°F (43,5°C)	120°F (49°C)	140°F (60°C)

Tableau 2.2: Températures correspondant à la cuisson Saignante, Rosée et A point pour la viande et le poisson.

Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur la température de cuisson d'une viande cuite à point, rosée ou saignante, j'utilise le Tableau 2.2 ci-dessus. En général, la tendreté de la viande augmente entre 50°C et 65°C puis décroît jusqu'à 80°C (Powell et al., 2000; Tornberg, 2005). Les durées

approximatives de cuisson pour les viandes décongelés et congelées sont listées dans le Tableau 2.3 and 2.4. Reportez-vous à l'Annexe A pour une explication complète sur la façon dont ces tables ont été élaborées.

Temps nécessaire pour réchauffer une viande à 5°C

<i>Epaisseur</i>	<i>111°F</i>	<i>121°F</i>	<i>126°F</i>	<i>131°F</i>	<i>141°F</i>
<i>mm</i>	<i>44°C</i>	<i>49,5°C</i>	<i>52°C</i>	<i>55°C</i>	<i>60,5°C</i>
5	2	2	2	2	2
10	7	8	8	8	8
15	17	17	17	18	18
20	30	30	31	31	32
25	46	47	48	48	49
30	1:06	1:08	1:09	1:09	1:11
35	1:30	1:32	1:33	1:34	1:36
40	1:57	2:00	2:02	2:03	2:06
45	2:28	2:32	2:34	2:35	2:38
50	3:02	3:07	3:10	3:12	3:16
55	3:40	3:46	3:49	3:51	3:56
60	—	—	—	4:35	4:41
65	—	—	—	5:23	5:30
70	—	—	—	6:15	6:23

Tableau 2.3: Durées approximatives pour réchauffer la viande décongelée (hh:mm) avec une température de départ de 5°C. La température du bain marie est à 0,5°C au dessus de la température souhaitée à cœur.

Temps nécessaire pour réchauffer une viande à -18°C

<i>Epaisseur</i>	<i>111°F</i>	<i>121°F</i>	<i>126°F</i>	<i>131°F</i>	<i>141°F</i>
<i>mm</i>	<i>44°C</i>	<i>49,5°C</i>	<i>52°C</i>	<i>55°C</i>	<i>60,5°C</i>
5	2	2	2	2	2
10	9	9	9	9	9
15	21	21	21	21	21
20	37	37	37	37	38
25	58	58	58	58	58
30	1:23	1:23	1:23	1:24	1:24
35	1:52	1:53	1:53	1:54	1:54
40	2:27	2:27	2:28	2:28	2:29
45	3:05	3:07	3:07	3:08	3:09
50	3:48	3:50	3:51	3:51	3:53
55	4:36	4:38	4:39	4:40	4:42
60	—	—	—	5:33	5:35
65	—	—	—	6:31	6:33
70	—	—	—	7:33	7:36

Tableau 2.4: Durées approximatives pour réchauffer une viande congelée (hh:mm) avec une température de départ de -18°C. La température du bain marie est à 0,5°C au dessus de la température souhaitée à cœur.

Si l'aliment n'a pas été pasteurisé (ce qui est habituellement le cas du poisson et de la viande crue), il est important qu'il soit amené à la bonne température puis consommé dans les 4 heures. Contrairement aux méthodes classiques de cuisson cela est facilement réalisable en découpant l'aliment, avant sa cuisson, en portions individuelles. C'est la raison pour laquelle les temps de cuisson au delà de 4 heures ne sont pas indiqués pour des températures inférieures à 55°C. *Il est important que seules les personnes en bonne santé avec un bon système immunitaire consomment des aliments non pasteurisés et qu'elles comprennent les risques liés à la consommation de ce type d'aliments.*

### **Viande dure**

La cuisson prolongée (par exemple le braiser) a été utilisé dans les temps anciens

pour transformer des morceaux de viandes dures en morceaux plus tendres et savoureux. En effet, la cuisson prolongée peut plus que doubler la tendreté d'une viande par dissolution totale du collagène en gélatine et réduire les connexions entre les fibres (Davey et al., 1976). A 80°C, Davey et al. (1976) remarquèrent que cette transformation intervenait environ entre 12 à 24 heures de cuisson. La tendreté de la viande n'augmente ensuite que légèrement entre 50 et 100 heures de cuisson.

A des températures plus basses (50°C à 65°C), Bouton et Harris (1981) remarquèrent que les morceaux de bœuf dures (animal âgé entre 0 et 4 ans) étaient plus tendres après avoir été cuits entre 55°C et 60°C. Cuire le bœuf pendant 24 heures à ces températures augmentera significativement sa tendreté (avec une diminution de la force de cisaillement comprise entre 26 et 72 % par comparaison à 1 heure de cuisson). La tendreté est causée par l'affaiblissement des tissus

conjonctifs et l'action des enzymes protéolytiques réduisant la force de contraction des myofibrilles. En effet, le collagène commence à se dissoudre en gélatine au-delà de 50°C-55°C (Neklyudov, 2003; This, 2006). De plus, l'enzyme collagénase (une protéine sarcoplasmique) reste active à des températures inférieures à 60°C. Cette enzyme peut rendre une viande beaucoup plus tendre à condition de la cuire à cette température pendant 6 heures (Tornberg, 2005). Ceci est la raison pour laquelle mon rôti de « beef chuck » (morceau de bœuf dans le paleron) cuit entre 55°C et 60°C au bain marie pendant 24 à 48 heures est aussi tendre qu'un filet mignon.

### **Réfrigération pour un usage ultérieur.**

Dans l'industrie alimentaire, la cuisson sous vide est utilisée pour augmenter la durée de conservation des aliments. Après avoir été pasteurisé, l'aliment est rapidement refroidi puis réfrigéré (ou congelé) dans son sachet sous vide jusqu'à sa consommation. Avant de servir le plat, l'aliment est réchauffé au bain marie à la température à laquelle il a été cuit ou une température inférieure. La viande est habituellement réchauffée à 55°C au bain marie pour une durée spécifiée dans le Tableau 2.3 or 2.4. La température de service de la viande se situe généralement entre 50°C et 55°C.

Le danger de la technique « cook-chill » réside dans le fait que la pasteurisation ne réduit pas les spores pathogènes à un niveau sans danger. Si l'aliment n'est pas rapidement refroidit ou suffisamment réfrigéré, alors les spores pathogènes peuvent fortement se développer. Se reporter au Chapitre 1 concernant le refroidissement et la réfrigération.

## **La finition**

Parce que la cuisson sous vide est une cuisson au bain marie avec un strict contrôle de la température, la plupart des aliments ont souvent une apparence pochée. Malgré tout, les poissons, crustacés, œufs et les volailles sans peau peuvent être servis telles quelles. Néanmoins, les steaks et les côtelettes de porc ne sont normalement pas pochés mais plutôt saisis et saucés. Saisir la viande après l'avoir cuite sous vide est une technique très répandue car elle permet d'exalter les arômes. La réaction chimique impliquée ici s'appelle la réaction de Maillard.

### **La réaction de Maillard**

La réaction de Maillard (ou réaction de « brunissement ») est une réaction chimique très complexe entre 2 acides aminés et des sucres réducteurs. Après la réaction initiale, une structure chimique intermédiaire et instable est formée. Cette dernière subira d'autres changements qui eux même produiront des sous produits. Voir McGee (2004) pour une explication non technique ou Belitz et al. (2004) pour une explication technique de cette réaction chimique.

L'odeur de la viande cuite provient de la réaction de Maillard et de la dégradation thermique (et par oxydation) des lipides (le gras). La différence de goût de la viande d'une espèce animale à une autre est principalement due aux tissus gras de la viande, alors que la réaction de Maillard intervient dans les tissus maigres en procurant la savoureuse odeur du grillé (Mottram, 1998). La réaction de Maillard est plus importante lorsque l'on ajoute un sucre réducteur (glucose, fructose ou lactose), par augmentation du pH (par exemple en ajoutant une pincée de bicarbonate de soude) ou par élévation de la température. Une augmentation même minime du pH favorise de façon

significative la réaction de Maillard en produisant un résultat plus sucré et apportant les arômes que l'on retrouve dans les viandes grillées (Meynier et Mottram, 1995). Il a été démontré que l'ajout d'un peu de glucose (par exemple un sirop de maïs) favorisait la réaction de Maillard et améliorait les arômes (Meinert et al., 2009). La réaction de Maillard débute de façon notable à environ 130°C mais à cette température ne produit qu'un arôme plus proche de celui d'une viande bouillie que d'une viande rôtie. Un joli brunissement et une bonne odeur de rôtie peuvent être obtenus à des températures situées aux alentours de 150°C par addition de glucose (Skog, 1993). Bien que des températures plus élevées augmentent de façon significative le taux de la réaction de Maillard, une exposition prolongée à une température au-delà de 175°C provoque également une augmentation importante d'agents mutagènes.

Il a été démontré que les agents mutagènes formés au cours de la réaction de Maillard (amines hétérocycliques) sont cancérigènes chez la souris, le rat, et les primates. Toutefois, alors que certaines études épidémiologiques ont mis en évidence le risque de développement de cancer, d'autres ne démontrèrent aucun risque particulier pour l'Homme (Arvidsson et al., 1997). Ces agents mutagènes dépendent fortement de la température et du temps de cuisson : ils augmentent presque linéairement dans le temps puis se stabilisent après 5 à 10 minutes. Une augmentation de température de 25°C (de 150°C à 175°C ou 175°C à 200°C) double presque la quantité d'agents mutagènes (Jägerstad et al., 1998). Le fait d'ajouter du glucose pour augmenter le brunissement de la viande permet de diminuer la production de substances mutagènes (Skog, 1993; Skog et al., 1992). Le type d'huile ou graisse utilisée pour saisir la viande dans une poêle n'a que peu d'impact sur la formation des agents mutagènes. Néanmoins l'utilisation de beurre génère une quantité bien plus

importantes d'agents mutagènes qu'avec des huiles végétales (Johansson et al., 1995).

Afin d'éviter que les viandes cuites sous vide ne cuisent trop à cœur lors de l'opération de brunissement (réaction de Maillard), il est habituel d'utiliser de très hautes températures. A cet égard, il est fréquent d'utiliser soit un petit chalumeau soit une poêle à frire avec de huile végétale. Les chalumeaux au propane ou au butane peuvent atteindre des températures de 1.900°C et produisent une belle croûte sur le bœuf. Je recommande vivement l'utilisation d'un chalumeau Iwatani au butane car le propane peut laisser un arrière goût. Je préfère personnellement utiliser la poêle à frire avec une huile végétale ou une huile de noix portée à une température comprise entre 200 et 250°C (attendre que l'huile fume) pour saisir les poissons, les volailles et le porc. Parce que le temps nécessaire pour saisir un aliment à ces hautes températures est très court (5 à 30 secondes), la formation d'agents mutagènes n'est pas significative (Skog, 2009).

Partie II

Recettes

# 1. Poissons et Crustacés

Les poissons se prêtent particulièrement bien à la cuisson sous vide. Parce que cette dernière permet de restituer les arômes naturels du poisson, il est important de ne cuire sous vide que des poissons très frais. Lorsque vous achetez du poisson, la peau doit être encore brillante, humide et ferme au touché. Demandez à votre poissonnier d'emballer votre poisson dans de la glace puis stockez le immédiatement dans le réfrigérateur à votre retour à la maison. Retirer systématiquement les écailles et les arrêtes avant de cuire le poisson.

La plupart des ailerons et crustacés sont habituellement cuits entre 60°C (à point) et 49°C (rosé). Par exception, l'omble chevalier et le saumon sont habituellement cuits entre 49°C (rosé) et 43°C (« rare » dénomination anglaise). Quant au thon, il est habituellement cuit entre 43,5°C (saignant) et 38°C (bleu).

Les poissons préparés pour les personnes immunodéficientes ou cuits selon la technique du « cook-chill »

doivent être pasteurisés. Se reporter au Tableau des temps de pasteurisation 3.5 (l'objectif étant d'atteindre une réduction de 6 décimales de *Listeria monocytogenes*). Bien que la pasteurisation réduise significativement le développement de pathogène non sporulés et des parasites, elle ne permet pas de réduire le risque d'infection avec le virus de l'hépatite A ou de norovirus provenant des crustacés. Etant donné que, pour obtenir une réduction de 4 décimales du virus de l'hépatite A chez les mollusques il est nécessaire de les maintenir à une température de 90°C pendant 1,5 minutes, le risque d'une contamination virale est bien mieux contrôlé par une bonne hygiène générale (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food, 2008). Parce que les spores non protéolytiques de *Clostridium botulinum* ne sont pas inactivés du fait de la pasteurisation, le

poisson doit être conservé en deçà de 3,3°C pour 3 à 4 semaines au maximum.

## Poisson poché

- Filets de poisson (Cabillaud, Snapper, Lotte, Loup de mer, Mahi-Mahi (dorade coryphène), etc.)
- Sel et poivre
- Ail en poudre (optionnel)
- Huile d'olive

Retirer la peau des filets. Assaisonner le filet avec du gros sel ou du sel de mer et de l'ail en poudre. Puis, mettre sous vide chaque filet avec 1 à 2 cuillères à soupe d'huile d'olive ou de beurre.

Après avoir déterminé l'épaisseur du filet le plus épais, cuire les filets dans un bain marie réglé entre 55°C et 60,5°C en respectant à minima les temps de cuisson mentionné dans le Tableau 3.5.

Après avoir retiré les filets du bain marie, le poisson doit être servit immédiatement (après avoir été éventuellement saisi à la poêle avec un peu d'huile fumante) ou bien rapidement refroidit dans de l'eau glacée (voir Tableau 1.1) ou congelé puis conservé à une température inférieure à 3,3°C durant 3 à 4 semaines maximum. Notez que Fagan et Gormley (2005) ont constatés que la congélation ne réduit en rien la qualité du poisson qui a été cuit sous vide.

## Saumon « Mi-Cuit »

Bien que le saumon mi-cuit soit très apprécié des passionnés de cuisine sous vide, ce dernier ne doit jamais être servi à des personnes immunodéficientes. Les températures indiquées dans ce paragraphe ne sont pas suffisamment élevées pour réduire le nombre de pathogènes alimentaires ou de parasites. Dans la mesure où plus de 75% des saumon

sauvages vendu frais dans le commerce Américain contiennent le parasite Anisakis (Comité National Consultatif sur les Critère Microbiologiques de 2008 - National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food, 2008), il

est recommandé soit de congeler le poisson afin de tuer le parasite (-20°C pendant au moins 24 heures) soit de pasteuriser le poisson en utilisant la table de températures et de temps du Tableau 3.5.

Durées de Pasteurisation à partir d'une température de 5°C

Epaisseur mm	<i>Poisson Maigre</i>			<i>Poisson Gras</i>		
	131°F 55°C	136°F 57,5°C	141°F 60,5°C	131°F 55°C	136°F 57,5°C	141°F 60,5°C
5	2:18	50	16	3:54	1:27	27
10	2:22	55	21	4:00	1:32	32
15	2:31	1:04	30	4:08	1:40	41
20	2:42	1:16	41	4:20	1:52	53
25	2:58	1:31	56	4:35	2:07	1:08
30	3:16	1:50	1:12	4:53	2:26	1:25
35	3:38	2:11	1:31	5:15	2:48	1:45
40	4:03	2:35	1:52	5:40	3:13	2:08
45	4:31	3:01	2:14	6:09	3:40	2:32
50	5:02	3:29	2:39	6:40	4:10	2:58
55	5:36	4:00	3:05	7:15	4:43	3:27
60	6:12	4:32	3:33	7:52	5:18	3:57
65	6:51	5:07	4:03	8:33	5:55	4:29
70	7:33	5:44	4:35	9:16	6:34	5:03

Tableau 3.5: Durées de pasteurisation (hh:mm) pour une réduction de 6 décimales de *Listeria monocytogenes* des poissons. Les poissons maigres comme le cabillaud a une  $D_{60}^{5.59} = 2,88$  minutes, alors que les poissons gras comme le saumon a une  $D_{60}^{5.68} = 5,13$  minutes (Embark et Huss, 1993).

La texture du saumon préparé sous vide est très humide et tendre. Afin de mettre en valeur cette texture, nous recommandons de retirer la peau du saumon avant la mise sous vide, puis de la rendre croustillante (en le passant au chalumeau ou à la poêle) et de la servir en garniture.

Il est courant que l'albumine (protéine) du saumon, au cours de la cuisson sous vide, diffuse et coagule à la surface du saumon. Cela se matérialise par une pellicule blanche peu ragoutante. Cet inconvénient peut être facilement évité en

saumurant le poisson dans une solution d'eau contenant 10% de sel pendant 10 minutes.

- Saumon (Coho ou saumon argenté, saumon rouge ou saumon Nerka ou Sockeye, saumon Royal ou saumon Chinook, truite saumonée)
- Huile d'olive
- Sel et poivre
- Ail en poudre (optionnel)

Régler la température du bain marie à 38,5°C pour une cuisson du saumon « very rare » (presque cru), à 47°C pour « rare-medium-rare », ou 52°C pour une cuisson « medium-medium-rare ». Puis préparer une solution d'eau saline à 10% (100 grammes de sel pour 1 litre d'eau froide).

Pour obtenir une peau croustillante qui contrastera avec la texture juteuse et tendre de la chair du saumon : retirer la peau du saumon et saumurer le saumon 10 minutes au réfrigérateur.

Si vous souhaitez cuire le saumon « medium or medium-rare » et obtenir une peau croustillante, la façon la plus simple de retirer la peau consiste à saisir rapidement le saumon (uniquement du côté de la peau) dans une poêle avec de l'huile fumante. La peau deviendra ainsi facile à peller. La peau peut ensuite être passée au

chalumeau ou simplement mise au chaud dans un four jusqu'au moment d'être servie.

Après avoir saumuré le saumon, rincez-le et le séchez-le délicatement en le tamponnant avec du sopalin. Puis assaisonnez le saumon avec du sel, du poivre et un peu d'ail en poudre. Avant de mettre le poisson sous vide, ajoutez 1 à 2 cuillères à café d'huile d'olive extra vierge. Si vous utilisez une machine sous vide à aspiration il vous faudra au préalable congeler l'huile d'olive pendant au moins 12 heures.

Cuire le saumon conformément à la grille de temps du Tableau 3.6, apposer la peau croustillante sur le saumon et servir immédiatement.

Temps de cuisson à partir d'une température de 5°C

<i>Epaisseur</i>	<i>101°F</i>	<i>116°F</i>	<i>126°F</i>
<i>mm</i>	<i>38,5°C</i>	<i>47°C</i>	<i>52°C</i>
5	2	2	2
10	7	7	7
15	15	16	16
20	26	28	28
25	41	43	44
30	59	1:02	1:03
35	1:20	1:24	1:25
40	1:44	1:49	1:51
45	2:11	2:18	2:21
50	2:42	2:49	2:53
55	3:16	3:25	3:30

Tableau 3.6: Temps de cuisson pour un saumon décongelé et pour une cuisson « very rare » (presque cru), « rare-medium-rare » et « medium-medium-rare » en hh:mm. Ces temps de cuisson ne sont pas suffisants pour pasteuriser le saumon et par conséquent ne doivent pas être servi à des personnes immunodéficientes.

## 4. Volailles et Œufs

### Poitrine de poulet ou de dinde

Avec les techniques de cuisson traditionnelles, les volailles à chair blanches sont bien cuites, pour des raisons de sécurité alimentaire, entre 70°C et 80°C. Lorsque l'on cuit sous vide de la poitrine de poulet ou de dinde, ces dernières peuvent être cuites à point entre 60°C et 65°C. Ces températures (et les temps associés) seront malgré tout suffisants pour les pasteuriser.

- Poitrine de poulet ou de dinde sans os
- Sel et poivre

Retirer toute la peau et la conserver pour la garniture ou la jeter. La peau conservée peut être soit mise sous une salamandre ou un grill, soit passée au chalumeau afin d'obtenir une texture croustillante.

Si vous souhaitez saumurer la poitrine de poulet ou de dinde, immerger la dans une solution d'eau saline à 5% (50 grammes pour 1 litre) et conserver la entre 30 minutes et 1 heure au réfrigérateur. Le cas échéant, utilisez un Jaccard pour attendrir la volaille avant de la saumurer.

Rincer et sécher la poitrine de poulet ou de dinde avec du sopalin. Assaisonner avec du gros sel ou du sel de mer et du poivre. Mettre sous vide la poitrine de dinde ou de poulet (une par sachet). Congeler dès que possible si vous ne souhaitez pas cuire immédiatement la poitrine de poulet ou de dinde.

Pour cuire et pasteuriser une poitrine de poulet ou de dinde (décongelée) placer le sachet dans un bain marie à 63,5°C. Se reporter au Tableau 4.7 concernant la durée de la cuisson. Après la cuisson, la poitrine de poulet ou de dinde doit être rapidement refroidie dans une eau glacée puis congelée ou conservée au réfrigérateur à une température inférieure à 3,3°C. Elle pourra être ainsi conservée au maximum entre 3 et 4 semaines.

Retirer la poitrine de poulet ou de dinde de la poche plastique et la sécher avec du sopalin. La viande peut être servie telle quelle ou saisie dans une poêle chaude (attendre que l'huile fume) ou au chalumeau. Servir immédiatement et, éventuellement, ajouter la peau croustillante.

Temps de pasteurisation à partir d'une température de 5°C

<i>Epaisseur</i>	<i>136°F</i>	<i>141°F</i>	<i>146°F</i>	<i>151°F</i>
<i>mm</i>	<i>57,5°F</i>	<i>60,5°C</i>	<i>63,5°F</i>	<i>66°C</i>
5	1:40	31	10	5
10	1:45	36	15	10
15	1:53	44	23	17
20	2:04	55	34	26
25	2:18	1:09	46	38
30	2:35	1:25	1:01	51
35	2:55	1:44	1:17	1:05
40	3:18	2:05	1:36	1:22
45	3:44	2:28	1:56	1:40
50	4:12	2:54	2:17	1:59
55	4:43	3:20	2:41	2:20
60	5:16	3:49	3:06	2:43
65	5:52	4:20	3:32	3:07
70	6:29	4:52	4:01	3:33

Tableau 4.7: Temps nécessaire pour une réduction de 6 décimales de *Listeria monocytogenes* des volailles décongelées et placées dans un bain marie entre 57,5°C et 66°C.

Ces durées de cuisson ont été calculées à l'aide d'une log D-value = 11,37 – 0,1766T°C qui est équivalent à  $D_{60}^{5.66} = 5,94$  minutes (calculé à l'aide de la régression linéaire du Tableau 2 de (O'Bryan et al., 2006)). Pour plus d'informations sur le calcul des réductions logarithmiques, se reporter à l'Annexe A.

### **Cuisse de Dinde, Canard ou d'oie**

- Cuisse de canard, d'oie ou de dinde
- Graisse de canard ou d'oie
- Sel et poivre

Si vous le souhaitez, saumurer les cuisses dans une solution salée de 5 à 10% (50 à 100 grammes de sel par litre) pendant 3 à 6 heures. La saumure peut être accompagnée de thym, de laurier, d'ail, de tranches d'orange et de citron.

Après la saumure, rincer et sécher à l'aide d'un sopalin. Assaisonner avec du gros sel ou du sel marin et du poivre. Ajouter 2 à 4 cuillères à café de graisse d'oie ou de canard dans le sachet avant de mettre les cuisses sous vide (une cuisse par sachet).

Immerger les sachets sous vide dans un bain marie à 80°C pendant 8 à 12 heures. En raison du changement d'état des liquides contenus dans le sachet pendant la cuisson (phase gazeuse), il est fort probable que les sachets se mettent à gonfler et flottent à la surface. Afin d'éviter une cuisson non homogène, les sachets doivent être maintenus sous l'eau à l'aide d'un égouttoir ou de tout autre ustensile de cuisine. Après la cuisson, les cuisses doivent être rapidement refroidies dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelées ou réfrigérées à une température inférieure à 4°C.

Pour le service, réchauffez les cuisses puis les saisir jusqu'à ce que la peau devienne croustillante. Elles peuvent également être servies sans la peau et coupées en morceaux.

## L'œuf parfait

La texture crémeuse du blanc et du jaune d'œuf de l'œuf dit "parfait" est causée par la dénaturation de la protéine conalbumine à 64,5°C. Sur l'Image 4.1 on observe que la dénaturation de la protéine ovotransferrine à 62°C provoque la coagulation du blanc de l'œuf (This, 2006, Chap 3).

Immerger un œuf dans un bain marie à 64,5°C entre 45 minutes et 1 heure. Casser l'œuf et servir immédiatement.

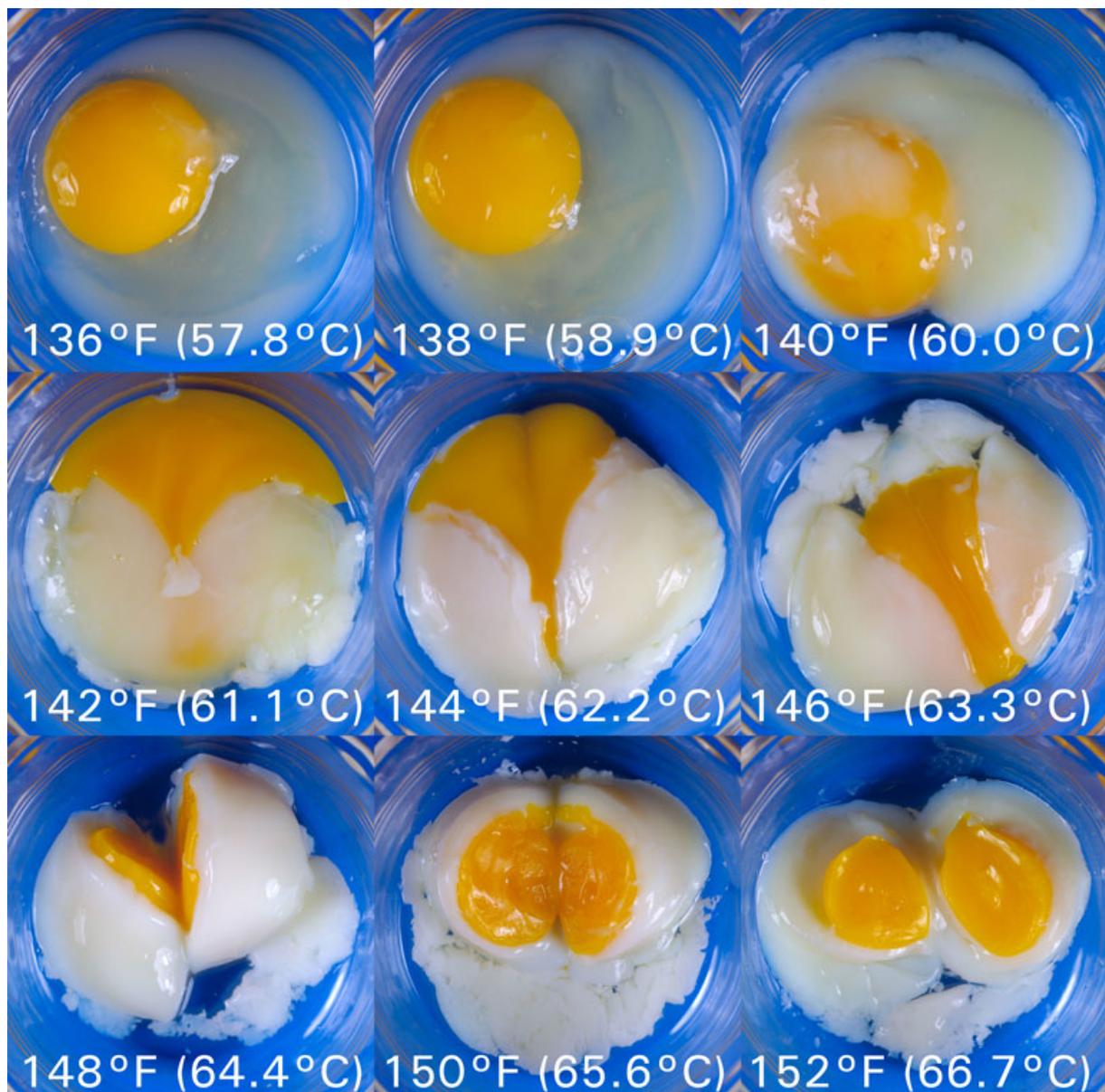


Image 4.1: Photos d'un œuf cuit au bain marie pendant 75 minutes à une température comprise entre 57,8°C et 66,7°C. De la gauche vers la droite et du haut vers le bas, la température du bain marie est de 57,8°C, 58,9°C, 60,0°C), ..., 66,7°C.

## **Pasteurisation d'un œuf avec sa coquille**

Alors que seulement 1 pour 10.000 à 20.000 œufs contiennent un niveau dangereux de *Salmonelle enteritidis* (McGee, 2004; Snyder, 2006), les œufs de type A ont été impliqués dans 82% des intoxications entre 1985 et 1991 (Mishu et al., 1994). Aussi, les œufs pasteurisés devront toujours être utilisés dans les plats nécessitant des œufs crus afin d'éviter une contamination par salmonelle des personnes fragiles ou immunodéficiences (la mousse au chocolat par exemple).

Immerger l'œuf dans un bain marie à 57°C pendant au moins 1 heure et 15 minutes (Schuman et al., 1997).

Les œufs pasteurisés (encore dans leur coquille) peuvent être conservés et utilisés comme des œufs crus. Alors que les propriétés du jaune de l'œuf n'ont pas été affectées par la pasteurisation, le blanc de l'œuf sera laiteux comparé à un œuf non pasteurisé. Battre les blancs en neige d'un œuf pasteurisé prendra plus de temps qu'avec un œuf non pasteurisé mais le volume final des blancs en neige sera à peu près le même (Schuman et al., 1997).

## 5. Bœuf

Pour les découpes de bœuf tendres comme le filet, l'aloyau et l'entrecôte : assaisonner, mettre sous vide et cuire soit à une température de 49,5°C pour une cuisson bleue, soit à 51,5°C pour une cuisson saignante, 54,5°C pour une cuisson rosée et 60°C pour une cuisson à point. Se reporter au Tableau 2.3 pour les températures de cuisson. Pour augmenter la durée de conservation du bœuf (technique de la cuisson puis réfrigération « cook-chill » ou cuisson et congélation « cook-freeze ») ou le servir à des personnes immunodéficientes, le bœuf doit être pasteurisé pour une durée au moins égale à celle indiquée au Tableau 5.8. Après la cuisson, saisir le bœuf avec l'aide

d'un chalumeau, un grill très chaud ou simplement une poêle avec de l'huile fumante.

Vaudagna et al. (2002) constata que lorsque la température de cuisson passe de 50°C à 60°C, la perte de poids augmente et la force de cisaillement (« shear force ») décroît. Au delà de 70°C, la tendreté décroît et la perte de poids continue à croître à cause du durcissement des myofibrilles (Powell et al., 2000). Lorsque l'on compare la cuisson du bœuf sous vide aux autres méthodes de cuisson, à la même température de cuisson, le bœuf cuit sous vide a une couleur rougeâtre plus intense (García-Segovia et al., 2007).

Temps de pasteurisation à partir d'une température de 5°C

<i>Epaisseur</i>	<i>131°F</i>	<i>136°F</i>	<i>141°F</i>	<i>146°F</i>
<i>mm</i>	<i>55°C</i>	<i>57,5°C</i>	<i>60,5°C</i>	<i>63,5°C</i>
5	1:17	42	21	10
10	1:21	46	25	15
15	1:28	53	32	22
20	1:37	1:02	41	31
25	1:49	1:14	53	41
30	2:03	1:29	1:06	54
35	2:20	1:45	1:21	1:07
40	2:40	2:03	1:38	1:23
45	3:01	2:23	1:56	1:39
50	3:24	2:45	2:16	1:57
55	3:49	3:08	2:37	2:16
60	4:16	3:33	2:59	2:36
65	4:44	3:59	3:23	2:58
70	5:14	4:26	3:48	3:21

Tableau 5.8: Durée (hh:mm) requise pour une réduction de 6 décimales de listeria monocytogène d'une viande décongelée placée dans un bain marie à une température comprise entre 55°C et 63,5°C. Nous avons ici utilisé le log D-value =  $7,07 - 0,1085T^{\circ}C$  ( $D_{60}^{9,22} = 3.63$  minutes), qui a été calculé grâce à la régression linéaire de (O'Bryan et al., 2006, Table 1) ainsi que de (Bolton et al., 2000, Table 2) et (Hansen and Knøchel, 1996, Table 1).

Se reporter à l'Annexe A pour plus d'informations concernant le calcul de la régression logarithmique. Remarque : si le bœuf est assaisonné avec une sauce ou une marinade qui acidifie le bœuf, alors il sera nécessaire de doubler le temps de pasteurisation pour s'ajuster à l'accroissement de la tolérance thermique de la listeria (Hansen and Knöchel, 1996).

Pour les morceaux de bœuf durs comme le « top blade » (morceau dans le paleron), « chuck, and top round », assaisonner la viande et immerger dans un bain marie à 55°C pendant 24 à 48 heures. Cette température est la température minimale à laquelle le collagène (insoluble) se dénature en gélatine (soluble). A des températures supérieures, la dénaturation du collagène intervient plus rapidement (Powell et al., 2000; This, 2006).

### **Flat Iron Steak (morceau dans l'épaule du bœuf)**

Lors de sa découpe, le bœuf cuit sous vide aura, un aspect plus pâle qu'avec une technique de cuisson traditionnelle. Il deviendra plus rouge après avoir été exposé à l'oxygène de l'air.

- Flat Iron (Paleron ou "Top Blade") Steak
- Sel et poivre

Laver et sécher le steak avec du sopalin. Utiliser un Jaccard, assaisonner avec du sel et du poivre. Mettre sous vide et congeler, si nécessaire, avant la cuisson.

Immerger le steak sous vide dans un bain marie à 55°C pendant environ 24 heures. La viande prendra une couleur brune tirant sur le vert qui disparaîtra après l'avoir saisi à la poêle ou au chalumeau. Le steak sous vide doit être rapidement refroidit dans une eau glacée (se reporter au tableau 1.1) puis congelé ou réfrigéré à

une température inférieure à 3,3°C pendant 3 à 4 semaines au maximum.

Retirer le steak du sachet, sécher et tamponner avec du sopalin. Saisir le steak rapidement avec un chalumeau ou une poêle avec une huile végétale fumante ou une huile de noix.

### **Rôti de Bœuf**

- "Top Blade" (morceau de bœuf dans le paleron), "Chuck", ou "Top Round Roast"
- Sel et poivre

Sécher le rôti avec du sopalin. Puis couper le rôti de telle sorte qu'il ne soit pas plus épais que 70 mm, ou bien le couper en portions individuelles et suivre la recette ci-dessus « flat iron steaks » (steak haut de palette).

Assaisonner le rôti avec du gros sel ou du sel de mer et du poivre. Mettre sous vide et immerger le sachet dans un bain marie à 55°C pendant 24 heures. Après la cuisson, le rôti doit être rapidement refroidi dans de l'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelé ou réfrigéré à une température inférieure à 3,3°C pendant 3 à 4 semaines au maximum.

Retirer le rôti du sachet, sécher et tamponner avec du sopalin. Saisir le rôti au chalumeau pour lui donner une intense couleur acajou. Découper et servir immédiatement.

### **Poitrine**

- Poitrine de bœuf
- Sucre, sel et poivre

Faire des incisions dans la couche de graisse en réalisant des hachures. Saumurer la poitrine de bœuf dans une solution aqueuse à 4% de sel, 3% de sucre (40 grammes de sel, 30 grammes de sucre par litre d'eau) et la placer dans le réfrigérateur

pendant 2 à 3 heures. Rincer et sécher la poitrine de bœuf avec un sopalin.

Aromatiser la poitrine de bœuf soit en la fumant pendant 30 à 60 minutes ou en faisant saisir la couche de graisse supérieure avec le chalumeau. Puis mettre la poitrine de bœuf sous vide dans son intégralité ou en 2 ou 4 morceaux séparés.

Alors que le fameux restaurant «French Laundry» indique qu'il faut cuire la poitrine de bœuf à 64°C pendant 48 heures, je préfère la cuire à 80°C entre 24 et 36 heures. Par ailleurs, d'autres préfèrent le cuire à 57°C entre 36 et 48 heures.

En raison du changement d'état des liquides contenus dans le sachet pendant la cuisson (phase gazeuse), il est fort

probable que les sachets se mettent à gonfler et flottent à la surface. Afin d'éviter une cuisson non homogène, les sachets doivent être maintenus sous l'eau à l'aide d'un égouttoir ou de tout autre ustensile de cuisine. Après la cuisson, la poitrine de bœuf doit être rapidement refroidi dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelées ou réfrigérées à une température inférieure à 3.3°C pendant 3 à 4 semaines maximum.

Retirer la poitrine de bœuf du sachet et utiliser le jus contenu dans le sac pour en faire une petite sauce (en réduisant le jus dans une casserole à feu moyen-fort et en y ajoutant des féculés de maïs pour épaissir la sauce). Découper la viande dans le sens de la veine, en fines tranches et servir avec de la demie-glace.

## 6. Porc

### Côtelettes de porc à l'ancienne

Alors que les côtelettes de porc peuvent être cuites sans risque à 54,4°C, beaucoup de gens trouvent déroutant la légère couleur rosée du porc cuit à cette température. Pour compenser la cuisson à point (au lieu d'une cuisson rosée), je recommande fortement de saumurer les côtelettes de porc afin de casser quelques unes des structures des fibres musculaires et pour augmenter la capacité de rétention d'eau de la viande. L'absorption maximale d'eau se fait avec une saumure composée entre 7 à 10% de sel. Ainsi, les côtelettes absorberont entre 20 et 25% de leur poids en eau (Graiver et al., 2006).

Saumurer à 7% de sel, 3% de sucre dans une solution d'eau (70 grammes de sel, 30 grammes de sucre pour 1 litre d'eau) et conserver au réfrigérateur entre 2 et 3 heures. Si vous souhaitez utiliser un Jaccard, faites le avant de saumurer la viande.

Rincer, sécher avec du sopalin, assaisonner avec du gros sel ou du sel de mer et du poivre. Mettre sous vide les côtelettes de porc (une par sachet).

Immerger le sachet dans un bain marie à 61°C. Se reporter au Tableau 5.8 pour la durée de cuisson. Après la cuisson, les côtelettes de porc doivent être rapidement refroidi dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelées ou réfrigérées à une température inférieure à 3,3°C pendant 3 à 4 semaines maximum.

Retirer les côtelettes du sachet, sécher et tamponner avec du sopalin et les saisir rapidement avec un chalumeau ou une poêle avec une huile végétale fumante ou une huile de noix.

### Cuisson lente des côtelettes de porc

Assaisonner d'épaisses côtelettes de porc avec du gros sel ou du sel de mer ainsi que du poivre. Mettre les côtelettes sous vide (une par sachet) et les immerger dans un bain marie à 55°C pendant 12 heures. Après la cuisson, les côtelettes de porc doivent être rapidement refroidi dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelées ou réfrigérées à une température inférieure à 3,3°C pendant 3 à 4 semaines maximum.

Retirer les côtelettes des sachets, sécher et tamponner avec du sopalin et les saisir rapidement avec un chalumeau ou une poêle avec une huile végétale fumante ou une huile de noix.

### « Pulled Pork » recette Nord Américaine

- Rôti de porc (rôti « Boston Butt » ou rôti « Picnic »)
- Lard
- Sel et poivre

Le cas échéant, retirer l'os du rôti de porc avec un couteau à désosser. Couper le rôti en steaks d'environ 200 grammes, ou bien découper le rôti en steaks de moins de 70 mm d'épaisseur.

Saumurer le rôti dans une solution aqueuse de 7 à 10% de sel, 0 à 3% de sucre (70 à 100 grammes de sel et 0 à 30% de sucre pour 1 litre d'eau) dans le réfrigérateur pendant 6 à 12 heures.

Egoutter, rincer et sécher avec du sopalin, assaisonner avec du gros sel ou du sel de mer et du poivre. Ajouter 1 à 3 cuillères à café de lard (si possible non

oxygéné) dans un sachet puis le mettre sous vide et le sceller.

Immerger le porc dans un bain marie à 80°C pendant 8 à 12 heures ou à 68°C pendant 24 heures. Plongé à 80°C, il est fort probable que les sachets se mettent à gonfler et flottent à la surface. Afin d'éviter une cuisson non homogène, les sachets doivent être maintenus sous l'eau à l'aide d'un égouttoir ou de tout autre ustensile de cuisine. Après la cuisson, le porc doit être rapidement refroidi dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelées ou réfrigérées à une température inférieure à 3.3°C pendant 3 à 4 semaines maximum.

Retirer le porc du sachet et mettre de côté le jus contenu dans le sachet. Placer ce jus dans un récipient toute une nuit dans le réfrigérateur, filtrer la graisse et conserver ce bouillon gélatineux pour un usage futur. Sécher la surface de la viande avec du sopalin.

Pour un « pulled pork » à l'Américaine, déchiqueter le porc et agrémenter de votre sauce barbecue favorite. Pour un « pulled pork » à la Mexicaine, saisir la surface du porc avec un chalumeau (ou bien dans une poêle avec une huile végétale fumante ou une huile de noix) avant de déchiqueter les morceaux.

## Travers de porc au barbecue

- Travers de porc
- « Barbecue Dry Rub » (mélange de sel et d'épices)
- Sel et poivre

Couper les travers de porc afin qu'ils puissent entrer dans le sachet (environ 3 à 4 côtes par sachet). Puis saumurer le porc dans une solution aqueuse contenant 7 à 10% de sel, 0 à 3% de sucre (70 à 100 grammes de sel et 0 à 30 grammes de sucre dans 1 litre d'eau) et placer le tout dans le réfrigérateur entre 12 et 20 heures.

Egoutter, rincer et sécher avec un sopalin. Assaisonner généreusement la superficie de chaque travers de porc (2 cuillères à café de paprika, 1,5 cac de sel de cèleri, 1,5 cac d'ail en poudre, 1 cac de poivre noir, 1 cac de piment en poudre, 1 cac de cumin, 1 cac de sucre roux, 1 cac de sel, 1 cac de sucre blanc, 1 cac d'origan sec, 1 cac de poivre de Cayenne). Placer chaque morceau de travers de porc dans un sachet puis mettre sous vide.

Immerger le porc soit dans un bain marie à 80°C pendant 8 à 12 heures soit à 68°C pendant 24 heures. Plongé à 80°C, il est fort probable que les sachets se mettent à gonfler et flottent à la surface. Afin d'éviter une cuisson non homogène, les sachets doivent être maintenus sous l'eau à l'aide d'un égouttoir ou de tout autre ustensile de cuisine. Après la cuisson, le porc doit être rapidement refroidi dans un bain d'eau glacée (voir Tableau 1.1) puis congelé ou réfrigéré à une température inférieure à 3.3°C pendant 3 à 4 semaines maximum

Saisir les travers de porc au chalumeau après les avoir retirés des sachets. Servir immédiatement avec une sauce barbecue.

## **Partie III**

### **Annexes**

## A. Les mathématiques de la cuisson sous vide

Le but de ce guide est de modéliser la durée nécessaire à un aliment pour atteindre une température donnée et, également, être pasteurisé. Ces sujets sont importants. Des simplifications et suppositions ont été nécessaires pour réaliser ce chapitre.

### CHAUFFER ET REFROIDIR LA NOURRITURE

Le transfert de la chaleur par induction est illustré par l'équation différentielle partielle ci-dessous,

$$T_t = \nabla \cdot (\alpha \nabla T),$$

$\alpha \equiv k/(\rho C_p)$  est la diffusivité thermique ( $m^2/sec$ ),  $k$  est la conductivité thermique ( $W/m-K$ ),  $\rho$  est la densité ( $kg/m^3$ ), et  $C_p$  est la capacité thermique ( $kJ/kg-K$ ). Si nous connaissons la température à un temps initial et que nous pouvons décrire comment la température à la surface de l'aliment évolue, alors il ne nous est possible de seulement déterminer  $T$ . Bien que  $k$ ,  $\rho$  et  $C_p$  dépendent de l'emplacement, de la durée et de la température, nous supposons que la dépendance des résultats par rapport à l'emplacement (position) et la durée sont négligeables.

Dès lors que nous nous concentrons sur la température de la partie de l'aliment la moins exposée à la chaleur (habituellement le centre géométrique de l'aliment), nous pouvons extrapoler l'équation thermique tridimensionnelle par une équation à une seule dimension.

$$\begin{cases} \rho C_p(T) T_t = k(T) \{ T_{rr} + \beta T_r / r \}, \\ T(r, 0) = T_0, \quad T_r(0, t) = 0, \\ k(T) T_r(R, t) = h \{ T_{Water} - T(R, t) \}, \end{cases} \quad (*)$$

lorsque  $0 \leq r \leq R$  et  $t \geq 0$ ,  $0 \leq \beta \leq 2$  est un facteur géométrique,  $T_0$  est la température initiale de l'aliment,  $T_{Water}$  est la température du fluide (air, eau, vapeur) auquel l'aliment est exposé et  $h$  le coefficient d'échange thermique à la surface ( $W/m^2-K$ ). Par exemple, le tracé des mesures et des calculs de la température à cœur d'une tranche de 27 mm de Mahi-Mahi (dorade) est illustré par la Figure A.2.

Le facteur géométrique dans (\*) nous permet de faire des approximations à partir de toutes sortes de formes et de tailles ( $\beta = 0$ ) allant du long cylindre ( $\beta = 1$ ) à une sphère ( $\beta = 2$ ). Effectivement, un cube pourra être estimé par  $\beta = 1,25$ , un « square cylinder » (cylindre court) par  $\beta = 0,70$ , et une « 2:3:5 brick » (brique parallélépipède) par  $\beta = 0,28$ .

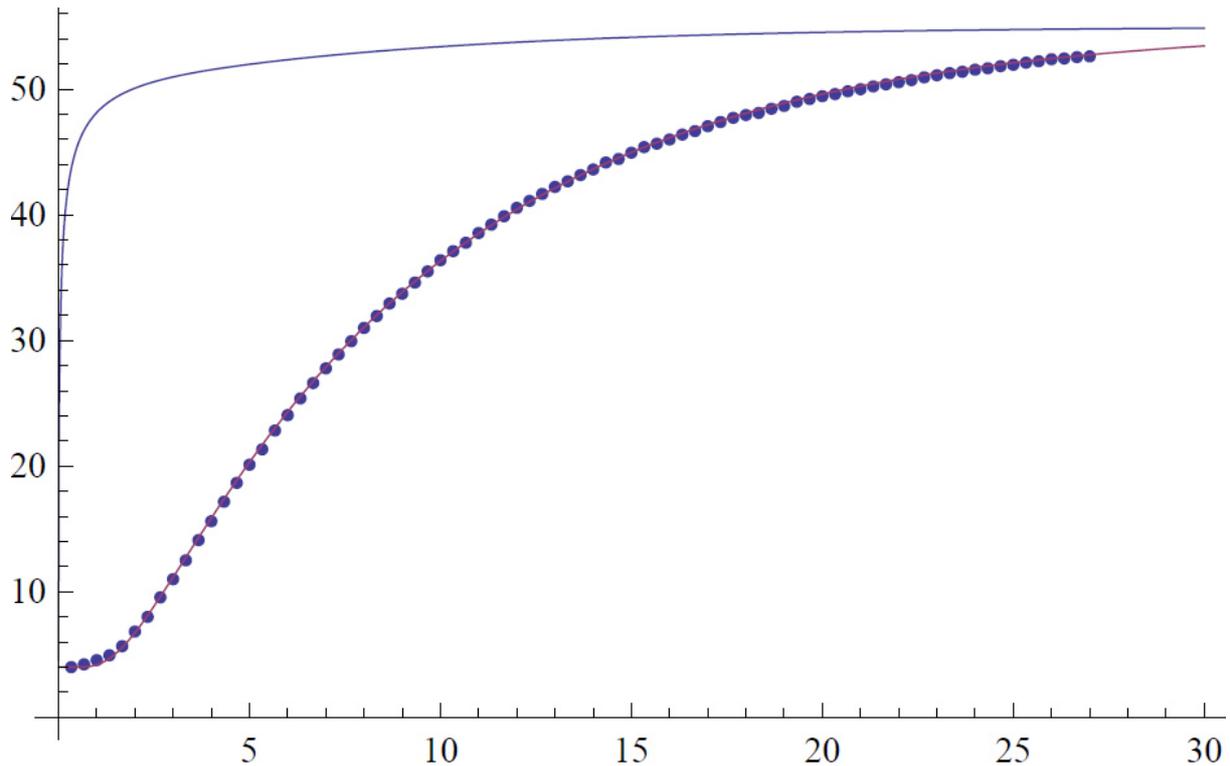


Figure A.2: Température en ordonnée (°C) et temps en abscisse (minutes) de cuisson d'une tranche de 27 mm d'épaisseur de Mahi-Mahi (dorade) immergée dans un bain marie à 55°C. Les points bleus représentent la température à cœur mesurée à l'aide d'un thermomètre ThermoWorks MicroTherma2T avec sonde thermique. La ligne rouge correspond au calcul de la température à cœur et la ligne bleue au calcul de la température à la surface du Mahi-Mahi (pour laquelle je prends en compte une diffusivité thermique de  $1,71 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$  et un coefficient de transfert thermique de  $600 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ).

### Cuisson d'aliments décongelés

Pour les aliments décongelés,  $k$ ,  $\rho$  and  $C_p$  sont essentiellement constants. Sanz et al. (1987) ont constatés qu'un morceau de bœuf plus gras que la moyenne avait une conductivité thermique de  $0.48 \text{ W/m-K}$  à  $0^\circ\text{C}$  et de  $0.49 \text{ W/m-K}$  à  $30^\circ\text{C}$ . Ces constatations ont été faites à une puissance calorifique  $C_p$ , une capacité thermique de  $3.81 \text{ kJ/kg-K}$  à  $0^\circ\text{C}$  et  $30^\circ\text{C}$ ; et une densité de  $1077 \text{ kg/m}^3$  à  $5^\circ\text{C}$  et  $1067 \text{ kg/m}^3$  à  $30^\circ\text{C}$ . Ceci est bien moins que la différence entre le steak de bœuf (aloyau) ( $\alpha = 1.24 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ ) et le « beef round » (culotte de bœuf) ( $\alpha = 1.11 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ ) (Sanz et al., 1987). Par conséquent, nous pouvons modéliser la température des aliments décongelés de la façon suivante

$$\begin{cases} T_t = \alpha \{ T_{rr} + \beta T_r / r \}, \\ T(r, 0) = T_0, \quad T_r(0, t) = 0, \\ T_r(R, t) = (h/k) \{ T_{\text{Water}} - T(R, t) \}, \end{cases}$$

pour  $0 \leq r \leq R$  et  $t \geq 0$ . Lorsque  $h$  est élevé ( $500\text{--}700 \text{ W/m}^2\text{-K}$  pour la plupart des bains marie), alors qu'il existe un écart important entre  $h/k$ , les écarts de température au centre de l'aliment ne seront que mineurs (Nicolai and Baerdemaeker, 1996). En comparaison, les fours à convection que l'on retrouve principalement chez les particuliers ont un coefficient de transfert thermique de seulement  $14\text{--}30 \text{ W/m}^2\text{-K}$  et même un petit écart de  $h$  peut provoquer de grandes

variations de température au centre de l'aliment.

La plupart des aliments ont une diffusivité thermique comprise entre 1,2 and  $1,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Baerdemaeker and Nicolaï, 1995). La diffusivité thermique dépend de nombreux paramètres allant du type de viande, du type de muscle, de la température et de la teneur en eau des aliments. Malgré les variations de ces facteurs dans la diffusivité thermique, nous pouvons toujours choisir une diffusivité thermique (minimal) qui sous-estimera la température de la viande au cours de sa

cuisson (et surestimera la température en phase de refroidissement). Ainsi, j'utilise  $\alpha = 0,995 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  dans tous mes tableaux en raison de sa diffusivité thermique inférieure à celle décrite dans les différents ouvrages consacrés à ce sujet (voir Tableau A.9). De plus, l'aliment ne peut être trop cuit à la condition d'être immergé dans un bain marie à une température juste supérieure à la température souhaitée à cœur. Par conséquent, tant que les sachets sous vide ne flottent pas à la surface ou ne sont pas disposés côte à côte dans le bain marie, nous pouvons réaliser des tables de cuisson qui garantiront une cuisson parfaite et suffisamment pasteurisée de la viande.

Diffusivité thermique des aliments ( $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ )			
Bœuf	1,35–1,52	Markowski et al. (2004)	
	1,22–1,82	Sheridan and Shilton (2002)	
	1,11–1,30	Sanz et al. (1987)	
	1,18–1,33	Singh (1982)	
	1,19–1,21	Donald et al. (2002)	
	1,25–1,32	Tsai et al. (1998)	
Porc	1,12–1,83	Sosa-Morales et al. (2006)	
	1,17–1,25	Sanz et al. (1987)	
	1,28–1,66	Kent et al. (1984)	
	1,18–1,38	Singh (1982)	
Poulet	1,36–1,42 (blanc) and 1,28–1,33 (autres)	Siripon et al. (2007)	
	1,46–1,48 (blanc)	Vélez-Ruiz et al. (2002)	
	1,08–1,39	Sanz et al. (1987)	
Poisson	1,09–1,60	Sanz et al. (1987)	
	0,996–1,73	Kent et al. (1984)	
	1,22–1,47	Singh (1982)	
Fruits	1,12–1,40 (pomme), 1,42 (banane), 1,07 (citron), 1,39 (pêche), 1,27 (fraise)	Singh (1982)	
	Légumes	1,68 (haricot), 1,82 (pois), 1,23–1,70 (pomme de terre), 1,71 (courge), 1,06–1,91 (patate douce), 1,48 (tomate)	Singh (1982)

Tableau A.9: Diffusivité thermique (de 0°C à 65°C) de différents types d'aliments décrits dans les différents ouvrages consacrés à ce sujet.

## Calcul de la Destruction des Agents Pathogènes

Dans le cadre de l'utilisation des modèles de température de la partie de la viande la moins exposée à la chaleur (le centre de la viande), le modèle classique de réduction logarithmique des pathogènes est

$$LR = \frac{1}{D_{\text{Ref}}} \int_0^t 10^{(T(t') - T_{\text{Ref}})/z} dt',$$

$D_{\text{Ref}}$  étant le temps requis pour une réduction d'une décimale des pathogènes à

la température de référence  $T_{\text{Ref}}$ .  $z$  étant la valeur de progression de la température nécessaire pour une réduction d'un facteur 10 de  $D$ . Malgré des inquiétudes (Geeraerd et al., 2000) sur le fait que le modèle classique serait inapproprié à la cuisson sous vide à basses températures, Huang (2007) constata que le modèle classique était (1 à 2 décimales) plus conservateur que les observations expérimentales sur la listeria.

## B. Matériel

### Thermomètre digital

Le contrôle précis de la température est important pour faire de la cuisson sous vide en toute sécurité. Les durées de pasteurisation dépendent totalement de la température. Beaucoup de contrôleurs de température de bain marie du type PID (Proportionnel Intégral Dérivé) sont au moins précis à 1°C près. Ainsi, avec un bain marie à une température de 60,5°C, la véritable température peut, en réalité, être de 59,5°C. Ceci aurait pour conséquence un déficit de cuisson de 15 minutes pour une poitrine de poulet, par exemple, par rapport au tableau températures/temps garantissant une cuisson en toute sécurité. Il est vivement recommandé que tout chef intéressé à la cuisson sous vide investisse dans un thermomètre digital de haute performance. Pour conclure, je recommande l'achat du ThermoWorks' Super-Fast Thermopen. L'interchangeabilité des sondes étant très utile, je vous recommande d'investir soit dans un ThermoWorks MicroTherma 2T, soit dans un Extech EA15.

### Machines à emballer sous vide

Pour des cuissons à durées courtes il est possible d'emballer les aliments dans un film plastique de haute qualité. Néanmoins, avec cette technique, il est difficile de maintenir le jus de l'aliment dans le film plastique et d'empêcher l'eau du bain marie de rentrer dans l'emballage.

De plus, si de l'air est présent dans le sachet, il ballonne durant la cuisson, provoque sa flottaison et isole par la même occasion les aliments (l'air étant un très mauvais conducteur de chaleur). Dans ces conditions les aliments ne pourront pas être cuits de façon homogène.

Si vous ne disposez pas (ou que vous ne souhaitez pas acheter) une machine à emballer sous vide, la meilleure solution est de vous procurer un système très bon marché du type Reynolds Handi-Vac. La pression procurée par ce type de machine n'est pas aussi forte qu'avec une machine sous vide à aspiration extérieure ou à cloche, mais son prix est très compétitif et les sacs ont été testés et sont adaptés à toutes les cuissons allant du saumon à l'épaule de porc.

La plupart des cuisiniers amateurs utilisent une machine sous vide à aspiration extérieure (par exemple FoodSaver and Seal-A-Meal). Le problème de ce type de machine réside dans la difficulté à obtenir une forte pression. Les sacs sont chers (comparé à ceux utilisés par les machines sous vide à cloche) et les liquides ont tendance à être aspirés dans la machine. La façon la plus simple de mettre sous vide des liquides est de les congeler. Vous pouvez, par exemple, congeler de l'huile d'olive extra vierge dans un bac à glaçon et ainsi obtenir de très pratiques cubes d'huile d'olive.

Quelques cuisiniers amateurs avertis et les professionnels utilisent une machine sous vide à cloche (du type Minipack MVS31). Ces machines sont capables d'aspirer une quantité d'air bien plus importante qu'avec une machine sous vide à aspiration extérieure et utilisent des sacs biens moins chers (USD\$ 0,12 pour un sac de 10x10 cm contre USD\$ 0,42). Ce type d'équipement permet également de mettre sous vide des liquides sans avoir à, préalablement, les congeler. Néanmoins, les machines sous vide à cloche sont beaucoup plus volumineuses et lourdes que les machines sous vide à aspiration extérieure et leur prix est dix fois plus élevé.

## **bains marie et fours vapeur**

### **Auto-cuiseur de riz avec contrôleur de température, table vapeur d'eau, Mijoteuses et Plaques Electriques**

Pour des cuissons de courtes durées (comme avec le poisson), une casserole remplie d'eau sur une gazinière peut faire l'affaire à la condition que le cuisinier accepte d'ajuster fréquemment et manuellement la température. Cependant cette technique devient particulièrement fastidieuse pour des cuissons longues durées. Il est alors préférable d'utiliser un contrôleur numérique qui régulera automatiquement la température.

Le plus simple (et le moins cher) des contrôleurs numériques de température utilisés pour la cuisson sous vide est du type « marche-arrêt » comme celui de Ranco ETC. Lorsque je l'ai testé avec une table de vapeur, le Ranco ETC a maintenu la température de l'eau à  $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$ . Cela est suffisant pour presque tous les besoins en cuisson sous vide.

Le Contrôleur de température PID d'Auber Instruments et de Fresh Meals Solutions est un équipement très apprécié par les cuisiniers amateurs. Contrairement à un contrôleur de température de type marche/arrêt, le contrôleur PID d'Auber doit être réglé sur l'appareil de cuisson. Après un tel réglage, j'ai constaté que le contrôleur PID a maintenu la température de ma table vapeur à  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ .

Je recommande de paramétrer tous les contrôleurs de température numérique indiqués ci-dessus légèrement au dessus de la température souhaitée. Il est également recommandé d'utiliser conjointement un thermomètre numérique de haute performance. En effet, avec les paramètres par défaut des contrôleurs PID listés ci-

dessus, la thermistance peut avoir une marge d'erreur située entre 1 et  $2^{\circ}\text{C}$ .

Ces contrôleurs de température sont souvent utilisés en association avec un bain marie (« steam table »), un auto-cuiseur de riz, une plaque à induction électrique, mijoteuse (« crock pot »), ou une rôtissoire. Le point le plus important à prendre en considération lors du choix de l'équipement est l'interrupteur manuel (qui ne doit pas être remis à zéro ou affecté lorsque le courant sera ouvert ou fermé par le thermostat).

Beaucoup de gens utilisent un auto-cuiseur de riz, bain marie ou une plaque électrique parce qu'ils réagissent beaucoup plus vite qu'une mijoteuse ou une rôtissoire (et également dépassent moins souvent la température souhaitée). De plus, par ce que ces équipements sont chauffés par-dessous, les auto-cuiseurs de riz, bain marie et une plaque électrique ont souvent assez de pouvoir de convection pour maintenir de façon uniforme la température de l'eau. Les mijoteuses et les rôtissoires peuvent, selon l'endroit, avoir des variations de températures situées entre 5 et  $10^{\circ}\text{C}$ . Sans tenir compte de l'appareil de cuisson, il est vivement recommandé qu'un appareil favorisant le brassage de l'eau (comme une pompe) soit utilisé en association avec un contrôleur de température. L'option la plus simple pour brasser l'eau est d'utiliser une pompe à air (bulleur). Les pompes utilisées dans les aquariums (immergées) n'ont pas été conçues pour fonctionner aux températures que l'on rencontre fréquemment en cuisson sous vide aussi, bien souvent, ces appareil tombent-il en panne. Une autre option pour brasser l'eau est une pompe à évaporation d'air (« swamp cooler pump ») par ce qu'elle n'est pas immergée et qu'elles sont conçues pour fonctionner sur de longues durées.

## **Thermoplongeur de laboratoire**

Les bains thermostatés (ou thermoplongeur) sont très utilisés car ils sont capables de maintenir une grande quantité d'eau (souvent jusqu'à 50 litres) à  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Il fut un temps où il était possible de les acheter d'occasion sur eBay entre \$100 et \$200, mais en raison de la demande grandissante ils sont maintenant plutôt accessibles entre \$350 et \$500. Le point négatif de ces thermoplongeurs de laboratoire d'occasion est qu'ils ont pu être mis en contact avec des substances cancérigènes et pathogènes. Aussi est-il recommandé, avant toute chose, de le nettoyer à l'eau de Javel, puis avec du vinaigre, puis de le rincer avec de l'alcool à 70°. Suite à l'augmentation du prix des thermoplongeurs d'occasion, beaucoup de gens se rabattent sur des équipements neufs comme ceux de Polyscience et Techne.

Bien que nombreux de cuisiniers achètent des récipients en acier inoxydable ou en thermoplastique spécialement conçus pour leur thermoplongeur, la plupart d'entre eux se satisfont d'une marmite inox ou d'un bain marie. Je considère qu'un grand bain marie (du type professionnel) est particulièrement pratique car il dispose d'une bonne isolation thermique, une contenance d'environ 20 litres d'eau et, en

le réglant à une température légèrement inférieure à celle déterminée sur le thermoplongeur, on peut être certain que les aliments ne seront pas à jeter si jamais le thermoplongeur venait à tomber en panne.

## **Fours à convection/vapeur**

Les fours à convection/vapeur peuvent cuire de grandes quantités de nourriture mais les modèles à gaz peuvent avoir des variations de température de  $5^{\circ}\text{C}$  et les modèles électriques de  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Sheard et Rodger (1995) remarquèrent que, lorsque les fours à convection/vapeur sont remplis à leur maximum, aucun des fours testés ne cuisait uniformément les sachets sous vide. En effet, certains des sachets sous vide mirent 70% à 200% plus de temps, par rapport aux sachets sous vide les plus rapides, pour passer d'une température de  $20^{\circ}\text{C}$  à  $75^{\circ}\text{C}$  alors que les fours à convection/vapeurs étaient réglés à  $80^{\circ}\text{C}$ . Sheard et Rodger en conclurent que cette variation provenait de la relativement mauvaise répartition de la vapeur à une température inférieure à  $100^{\circ}\text{C}$  et de la dépendance de ce type de four à condenser la vapeur. Cette dernière étant le vecteur de transfert thermique. Ainsi, les tables de temps/températures de ce guide ne peuvent être utilisées avec ce type d'équipement et une sonde thermique doit être utilisée afin de déterminer les temps de cuisson et de pasteurisation.

## Suggestion d'équipements de base

Le tableau ci-dessous a pour objectif de vous donner une idée approximative du coût des différents types d'équipements pour faire de la cuisson sous vide.

<i>Prix</i>	<i>Machine à faire le vide</i>	<i>Appareils de cuisson</i>
\$10	Reynolds Handi-Vac	Marmite sur une gazinière
\$70– \$110	—	Contrôleur de température Ranco ETC associé à un autocuiseur de riz (avec un système de brassage de l'eau/pompe)
\$110– \$150	—	Contrôleur de température PID associé à un autocuiseur de riz (avec un système de brassage de l'eau/pompe)
\$220– \$260	FoodSaver V2840	—
\$450– \$600	—	Thermoplongeur d'occasion sur eBay
\$1,100	—	Thermoplongeur neuf (par exemple PolyScience 7306C) et une marmite en inox
\$1,350	—	Thermoplongeur neuf combiné à un bain marie professionnel
\$2,500	VacMaster SVP-10	—
\$3,000	MiniPack MVS-31	—
>\$3,000	Machine sous vide à clocher	Thermoplongeurs multiples ou four à convection/vapeur

## C. Table Gouvernementale de Pasteurisation

Le temps de pasteurisation du bœuf, de l'agneau et du porc sont listés dans le tableau C.10. Le tableau C.11 liste les temps de pasteurisation du poulet et de la dinde.

<i>Température</i> °F (°C)	<i>Temps</i> (Minutes)	<i>Températures</i> °F (°C)	<i>Temps</i> (Secondes)
130 (54,4)	112 min	146 (63,3)	169 sec
131 (55,0)	89 min	147 (63,9)	134 sec
132 (55,6)	71 min	148 (64,4)	107 sec
133 (56,1)	56 min	149 (65,0)	85 sec
134 (56,7)	45 min	150 (65,6)	67 sec
135 (57,2)	36 min	151 (66,1)	54 sec
136 (57,8)	28 min	152 (66,7)	43 sec
137 (58,4)	23 min	153 (67,2)	34 sec
138 (58,9)	18 min	154 (67,8)	27 sec
139 (59,5)	15 min	155 (68,3)	22 sec
140 (60,0)	12 min	156 (68,9)	17 sec
141 (60,6)	9 min	157 (69,4)	14 sec
142 (61,1)	8 min	158 (70,0)	0 sec
143 (61,7)	6 min		
144 (62,2)	5 min		
145 (62,8)	4 min		

Table C.10: table de pasteurisation du bœuf, corned beef, agneau, porc, porc fumé (Anon., 2005b, 3-401.11.B.2).

<i>Température</i> °F (°C)	<i>Temps</i> 1% gras	<i>Temps</i> 3% gras	<i>Temps</i> 5% gras	<i>Temps</i> 7% gras	<i>Temps</i> 9% gras	<i>Temps</i> 12% gras
136 (57,8)	64 min	65,7 min	68,4 min	71,4 min	74,8 min	81,4 min
137 (58,3)	51,9 min	52,4 min	54,3 min	56,8 min	59,7 min	65,5 min
138 (58,9)	42,2 min	42,7 min	43,4 min	45,3 min	47,7 min	52,9 min
139 (59,4)	34,4 min	34,9 min	35,4 min	36,2 min	38,3 min	43 min
140 (60,0)	28,1 min	28,5 min	29 min	29,7 min	30,8 min	35 min
141 (60,6)	23 min	23,3 min	23,8 min	24,4 min	25,5 min	28,7 min
142 (61,1)	18,9 min	19,1 min	19,5 min	20,1 min	21,1 min	23,7 min
143 (61,7)	15,5 min	15,7 min	16,1 min	16,6 min	17,4 min	19,8 min
144 (62,2)	12,8 min	12,9 min	13,2 min	13,7 min	14,4 min	16,6 min
145 (62,8)	10,5 min	10,6 min	10,8 min	11,3 min	11,9 min	13,8 min
146 (63,3)	8,7 min	8,7 min	8,9 min	9,2 min	9,8 min	11,5 min
148 (64,4)	5,8 min	5,8 min	5,9 min	6,1 min	6,5 min	7,7 min
150 (65,6)	3,8 min	3,7 min	3,7 min	3,9 min	4,1 min	4,9 min
152 (66,7)	2,3 min	2,3 min	2,3 min	2,3 min	2,4 min	2,8 min
154 (67,8)	1,5 min	1,6 min				
156 (68,9)	59 sec	59,5 sec	1 min	1 min	1 min	1 min
158 (70,0)	38,8 sec	39,2 sec	39,6 sec	40 sec	40,3 sec	40,9 sec
160 (71,1)	25,6 sec	25,8 sec	26,1 sec	26,3 sec	26,6 sec	26,9 sec
162 (72,2)	16,9 sec	17 sec	17,2 sec	17,3 sec	17,5 sec	17,7 sec
164 (73,3)	11,1 sec	11,2 sec	11,3 sec	11,4 sec	11,5 sec	11,7 sec
166 (74,4)	0 sec					

Tableau C.11: Temps de pasteurisation pour une réduction de 7 décimales de salmonelle pour le poulet et la dinde (Anon., 2005a).

## ***Bibliographie***

- Annika Andersson, Ulf Rönner, and Per Einar Granum. What problems does the food industry have with the spore-forming pathogens *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens*? *International Journal of Food Microbiology*, 28:145–155, 1995.
- Anon. [Time-temperature tables for cooking ready-to-eat poultry products](#). Notice 16-05, Food Safety and Inspection Service, 2005a.
- Anon. Food code. Technical report, U.S. Department of Health and Human Services, 2005b.
- Necla Aran. The effect of calcium and sodium lactates on growth from spores of *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens* in a ‘sous-vide’ beef goulash under temperature abuse. *International Journal of Food Microbiology*, 63:117–123, 2001.
- Gillian A. Armstrong and Heather McIlveen. Effects of prolonged storage on the sensory quality and consumer acceptance of sous vide meat-based recipe dishes. *Food Quality and Preference*, 11:377–385, 2000.
- P. Arvidsson, M. A. J. S. Van Boekel, K. Skog, and M. Jägerstad. Kinetics of formation of polar heterocyclic amines in a meat model system. *Journal of Food Science*, 62(5):911–916, 1997.
- J. De Baerdemaeker and B. M. Nicolaï. Equipment considerations for sous vide cooking. *Food Control*, 6(4): 229–236, 1995.
- H.-D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle. *Food Chemistry*. Springer, 3rd edition, 2004.
- G. D. Betts and J. E. Gaze. Growth and heat resistance of psychrotropic *Clostridium botulinum* in relation to ‘sous vide’ products. *Food Control*, 6:57–63, 1995.
- D. J. Bolton, C. M. McMahon, A. M. Doherty, J. J. Sheridan, D. A. McDowell, I. S. Blair, and D. Harrington. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Yersinia enterocolitica* in minced beef under laboratory conditions and in sous-vide prepared minced and solid beef cooked in a commercial retort. *Journal of Applied Microbiology*, 88:626–632, 2000.
- P. E. Bouton and P. V. Harris. Changes in the tenderness of meat cooked at 50–65°C. *Journal of Food Science*, 46:475–478, 1981.

- Ivor Church. The sensory quality, microbiological safety and shelf life of packaged foods. In Sue Ghazala, editor, *Sous Vide and Cook–Chill Processing for the Food Industry*, pages 190–205. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 1998.
- Ivor J. Church and Anthony L. Parsons. The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 35:155–162, 2000.
- Philip G. Creed. The sensory and nutritional quality of ‘sous vide’ foods. *Food Control*, 6(1):45–52, 1995.
- Philip G. Creed. Sensory and nutritional aspects of sous vide processed foods. In Sue Ghazala, editor, *Sous Vide and Cook–Chill Processing for the Food Industry*, pages 57–88. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 1998.
- C. Lester Davey, Alan F. Niederer, and Arie E. Graafhuis. Effects of ageing and cooking on the tenderness of beef muscle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27:251–256, 1976.
- Karl Mc Donald, Da-Wen Sun, and James G. Lyng. Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. *Journal of Food Engineering*, 52:167–176, 2002.
- Peter Karim Ben Embarek and Hans Henrik Huss. Heat resistance of *Listeria monocytogenes* in vacuum packaged pasteurized fish fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 20:85–95, 1993.
- J. D. Fagan and T. R. Gormley. Effect of sous vide cooking, with freezing, on selected quality parameters of seven fish species in a range of sauces. *European Food Research and Technology*, 220:299–304, 2005.
- Pablo S. Fernández and Michael W. Peck. A predictive model that describes the effect of prolonged heating at 70 to 90°C and subsequent incubation at refrigeration temperatures on growth from spores and toxigenesis by nonproteolytic *Clostridium botulinum* in the presence of lysozyme. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(8):3449–3457, 1999.
- M. C. García-Linares, E. Gonzalez-Fandos, M. C. García-Fernández, and M. T. García-Arias. Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: Influence of fat content. *Journal of Food Quality*, 27:371–387, 2004.
- P. García-Segovia, A. Andrés-Bello, and J. Martínez-Monzó. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80:813–821, 2007.
- A. H. Geeraerd, C. H. Herremans, and J. F. Van Impe. Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 59:185–209, 2000.
- S. Ghazala, J. Aucoin, and T. Alkanani. Pasteurization effect on fatty acid stability in a sous vide product containing seal meat (*Phoca groenlandica*). *Journal of Food Science*, 61(3):520–523, 1996.
- E. González-Fandos, M. C. García-Linares, A. Villarino-Rodríguez, M. T. García-Arias, and M. C. García-Fernández. Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the sous vide method. *Food Microbiology*, 21:193–201, 2004.

- E. González-Fandos, A. Villarino-Rodríguez, M. C. García-Linares, M. T. García-Arias, and M. C. García-Fernández. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method. *Food Control*, 16:77–85, 2005.
- G. W. Gould. Sous vide food: Conclusions of an ECFF Botulinum working party. *Food Control*, 10:47–51, 1999.
- N. Graiver, A. Pinotti, A. Califano, and N. Zaritzky. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering*, 77:910–918, 2006.
- T. B. Hansen and S. Knøchel. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* during rapid and slow heating in sous vide cooked beef. *Letters in Applied Microbiology*, 22:425–428, 1996.
- Tina B. Hansen, Susanne Knøchel, Dorte Juncher, and Grete Bertelsen. Storage characteristics of sous vide cooked roast beef. *International Journal of Food Science and Technology*, 30:365–378, 1995.
- Lihan Huang. Computer simulation of heat transfer during in-package pasteurization of beef frankfurters by hot water immersion. *Journal of Food Engineering*, 80:839–849, 2007.
- M. Jägerstad, K. Skog, P. Arvidsson, and A. Solyakov. Chemistry, formation and occurrence of genotoxic heterocyclic amines identified in model systems and cooked foods. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 207:419–427, 1998.
- M. A. E. Johansson, L. Fredholm, I. Bjerne, and M. Jägerstad. Influence of frying fat on the formation of heterocyclic amines in fried beefburgers and pan residues. *Food and Chemical Toxicology*, 33(12):993–1004, 1995.
- V. K. Juneja, B. S. Eblen, and G. M. Ransom. Thermal inactivation of *Salmonella* spp. in chicken broth, beef, pork, turkey, and chicken: Determination of d- and z-values. *Journal of Food Science*, 66:146–152, 2001.
- M. Kent, K. Christiansen, I. A. van Haneghem, E. Holtz, M. J. Morley, P. Nesvadba, and K. P. Poulsen. COST 90 collaborative measurement of thermal properties of foods. *Journal of Food Engineering*, 3:117–150, 1984.
- Anne Lassen, Morten Kall, Kirsten Hansen, and Lars Ovesen. A comparison of the retention of vitamins B1, B2 and B6, and cooking yield in pork loin with conventional and enhanced meal-service systems. *European Food Research and Technology*, 215:194–199, 2002.
- Marek Markowski, Ireneusz Bialobrzewski, Marek Cierach, and Agnieszka Paulo. Determination of thermal diffusivity of lyoner type sausages during water bath cooking and cooling. *Journal of Food Engineering*, 65:591–598, 2004.
- Harold McGee. *On Food and Cooking: The Science and Lore of The Kitchen*. Scribner, New York, 2004.
- Lene Meinert, Annette Schäfer, Charlotte Bjerregaard, Margit D. Aaslyng, and Wender L. P. Bredie. Comparison of glucose, glucose 6-phosphate, ribose, and mannose as flavour precursors in pork; the effect of monosaccharide addition on flavour generation. *Meat Science*, 81:419–425, 2009.
- Anne Meynier and Donald S. Mottram. The effect of pH on the formation of volatile compounds in meat-related model systems. *Food Chemistry*, 52:361–366, 1995.
- Ban Mishu, J. Koehler, L.A. Lee, D. Rodrigue, F.H. Brenner, P. Blake, and R.V. Tauxe. Outbreaks of *Salmonella enteritidis* infections in the United States, 1985-1991. *Journal of Infectious Diseases*, 169:547–552, 1994.

- D. A. A. Mossel and Corry B. Struijk. Public health implication of refrigerated pasteurized ('sous-vide') foods. *International Journal of Food Microbiology*, 13:187–206, 1991.
- Donald S. Mottram. Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry*, 62(4):415–424, 1998.
- National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food. Response to the questions posed by the food and drug administration and the national marine fisheries service regarding determination of cooking parameters for safe seafood for consumers. *Journal of Food Protection*, 71(6):1287–1308, 2008.
- A. D. Neklyudov. Nutritive fibers of animal origin: Collagen and its fractions as essential components of new and useful food products. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 39:229–238, 2003.
- B. M. Nicolaï and J. De Baerdemaeker. Sensitivity analysis with respect to the surface heat transfer coefficient as applied to thermal process calculations. *Journal of Food Engineering*, 28:21–33, 1996.
- Hilda Nyati. An evaluation of the effect of storage and processing temperatures on the microbiological status of sous vide extended shelf-life products. *Food Control*, 11:471–476, 2000a.
- Hilda Nyati. Survival characteristics and the applicability of predictive mathematical modelling to *Listeria monocytogenes* growth in sous vide products. *International Journal of Food Microbiology*, 56:123–132, 2000b.
- Corliss A. O'Bryan, Philip G. Crandall, Elizabeth M. Martin, Carl L. Griffis, and Michael G. Johnson. Heat resistance of *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* 0157:H7, and *Listeria innocua* M1, a potential surrogate for *Listeria monocytogenes*, in meat and poultry: A review. *Journal of Food Science*, 71 (3):R23–R30, 2006.
- Fiach C. O'Mahony, Tomás C. O'Riordan, Natalia Papkovskaia, Vladimir I. Ogurtsov, Joe P. Kerry, and Dmitri B. Papkovsky. Assessment of oxygen levels in convenience-style muscle-based sous vide products through optical means and impact on shelf-life stability. *Packaging Technology and Science*, 17:225–234, 2004.
- Michael W. Peck. *Clostridium botulinum* and the safety of refrigerated processed foods of extended durability. *Trends in Food Science & Technology*, 8:186–192, 1997.
- Michael W. Peck and Sandra C. Stringer. The safety of pasteurised in-pack chilled meat products with respect to the foodborne botulism hazard. *Meat Science*, 70:461–475, 2005. Q. Tuan Pham. Modelling heat and mass transfer in frozen foods: a review. *International Journal of Refrigeration*, 29:876–888, 2006.
- T. H. Powell, M. E. Dikeman, and M. C. Hunt. Tenderness and collagen composition of beef semitendinosus roasts cooked by conventional convective cooking and modeled, multi-stage, convective cooking. *Meat Science*, 55:421–425, 2000.
- Joan Roca and Salvador Brugués. *Sous-Vide Cuisine*. Montagud Editores, S.A., 2005.
- Svetlana Rybka-Rodgers. Improvement of food safety design of cook-chill foods. *Food Research International*, 34:449–455, 2001.
- Svetlana Rybka-Rodgers. Developing a HACCP plan for extended shelf-life cook-chill ready-to-eat meals. *Food Australia*, 51:430–433, 1999.

- P. D. Sanz, M. D. Alonso, and R. H. Mascheroni. Thermophysical properties of meat products: General bibliography and experimental values. *Transactions of the ASAE*, 30:283–289 & 296, 1987.
- Mia Schellekens. New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science and Technology*, 7: 256–262, 1996.
- J. D. Schuman, B. W. Sheldon, J. M. Vandepopuliere, and H. R. Ball, Jr. Immersion heat treatments for inactivation of *Salmonella enteritidis* with intact eggs. *Journal of Applied Microbiology*, 83:438–444, 1997.
- M. A. Sheard and C. Rodger. Optimum heat treatments for ‘sous vide’ cook-chill products. *Food Control*, 6: 53–56, 1995.
- P. S. Sheridan and N. C. Shilton. Determination of the thermal diffusivity of ground beef patties under infrared radiation oven-shelf cooking. *Journal of Food Engineering*, 52:39–45, 2002.
- M. V. Simpson, J. P. Smith, B. K. Simpson, H. Ramaswamy, and K. L. Dodds. Storage studies on a sous vide spaghetti and meat sauce product. *Food Microbiology*, 11:5–14, 1994.
- R. P. Singh. Thermal diffusivity in food processing. *Food Technology*, 36(2):134–137, 1982.
- Kritsna Siripon, Ampawan Tansakul, and Gauri S. Mittal. Heat transfer modeling of chicken cooking in hot water. *Food Research International*, 40:923–930, 2007.
- K. Skog, 2009. Personal correspondence.
- K. Skog. Cooking procedures and food mutagens: A literature review. *Food and Chemical Toxicology*, 31(9):655–675, 1993.
- K. Skog, M. Jägerstad, and A. Laser Reuterswärd. Inhibitory effect of carbohydrates on the formation of mutagens in fried beef patties. *Food and Chemical Toxicology*, 30(8):681–688, 1992.
- O. Peter Snyder, Jr. Food safety hazards and controls for the home food preparer. Technical report, Hospitality Institute of Technology and Management, 2006.
- María Elena Sosa-Morales, Ronald Orzuna-Espíritu, and Jorge F. Vélez-Ruiz. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*, 77:731–738, 2006.
- Tonje Holte Stea, Madelene Johansson, Margaretha Jägerstad, and Wenche Frølich. Retention of folates in cooked, stored and reheated peas, broccoli and potatoes for use in modern large-scale service systems. *Food Chemistry*, 101:1095–1107, 2006.
- Hervé This. *Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor*. Columbia University Press, New York, 2006.
- E. Tornberg. Effect of heat on meat proteins — implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70:493–508, 2005.
- Shwu-Jene Tsai, Nan Unklesbay, Kenneth Unklesbay, and Andrew Clarke. Thermal properties of restructured beef products at different isothermal temperatures. *Journal of Food Science*, 63(3):481–484, 1998.
- Sergio R. Vaudagna, Guillermo Sánchez, Maria S. Neira, Ester M. Insani, Alyandra B. Picallo, Maria M. Gallinger, and Jorge A. Lasta. Sous vide cooked beef muscles: Effects of low temperature-long time (LTLT) treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 37:425–441, 2002.

J. F. Vélez-Ruiz, F. T. Vergara-Balderas, M. E. Sosa-Morales, and J. Xique-Hernández. Effect of temperature on the physical properties of chicken strips during deep-fat frying. *International Journal of Food Properties*, 5(1):127–144, 2002.

R. R. Willardsen, F. F. Busta, C. E. Allen, and L. B. Smith. Growth and survival of *Clostridium perfringens* during constantly rising temperatures. *Journal of Food Science*, 43:470–475, 1977.

---