

AVERTISSEMENT PREALABLE

Le présent document a été réalisé par des étudiants du Master Pro Qualimapa (USTL-Lille) dans le cadre de leur scolarité. Il n'a pas un caractère de publication scientifique au sens strict. En effet, il n'a pas été soumis à un comité de lecture avant publication. Ce travail a été noté, ainsi que la soutenance orale et l'éventuelle production multimédia auxquelles il a donné lieu. Ces évaluations participent à l'évaluation globale des étudiants en vue de l'obtention du diplôme de Master ; elles ont un caractère privé et ne sont pas communiquées ici.

Le contenu de ce document est donc proposé sous la seule responsabilité de leurs auteurs et doit être utilisé avec les précautions d'usage. C'est pourquoi le lecteur est invité à exercer son esprit critique.

Sa reproduction, totale ou partielle, est autorisée à condition que son origine et ses auteurs soient explicitement cités.

La liste des autres projets étudiants disponibles en ligne est disponible sur le site Internet du Master Qualimapa : <http://qualimapa.univ-lille1.fr/rapp1.htm>

L'équipe enseignante



Tuteur : Mr BOUNIE
Représentant de l'Entreprise : Mr PIERCHON

La Maison des Pâtures

OPTIMISATION DE BAREMES D'APPERTISATION DE CUISSES DE CANARD CUISINEES

Projet réalisé dans le cadre du DESS QUALIMAPA



Projet réalisé par :

Maryline FOGEL
Agnès LAPOILE
Sophie MORTREUX

Mars 2004

REMERCIEMENTS

C'est dans le cadre de nos études en DESS Qualimapa à Polytech'Lille que nous avons effectué un projet. Ce dernier n'aurait pu se réaliser sans l'aide et le soutien de plusieurs intervenants.

C'est pourquoi nous désirons tout d'abord remercier La Maison des Pâtures d'avoir accepté de collaborer avec nous, de nous avoir laissé libre arbitre dans notre démarche et de nous avoir accordé une grande confiance dans l'utilisation de son matériel. Un remerciement particulier va à Monsieur et Madame Pierchon pour nous avoir consacré du temps et nous avoir apporté des informations précieuses.

Nous adressons, par ailleurs, nos remerciements à Messieurs Bounie, Liquet et Weynans pour l'intérêt qu'ils ont porté sur l'évolution de notre travail et de leur soutien. Un remerciement tout particulier va à Mr Bounie, qui a accepté d'être notre tuteur.

Nous tenons à remercier Melle Van Hecke et Mme Catte, professeurs en DESS Qualimapa, pour leurs aides, leurs soutiens et leurs précieux conseils qui ont été importants pour notre motivation.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mr Fertin, professeur à l'IUT de la cité scientifique de Villeneuve d'Ascq, pour nous avoir consacré de nombreuses heures et de nous avoir orienté dans la bonne direction pour mener à bien ce projet.

RESUME

La **Maison des Pâtures** fabrique depuis 22 ans des produits artisanaux dans le respect de la tradition. Cette petite entreprise favorise la vente directe avec ses produits à la ferme dans le but d'être à l'écoute des appréciations de ses clients. C'est ainsi que le dirigeant de cette entreprise s'est rendu compte d'un problème de surcuisson de la viande de ses conserves de cuisses de canard cuisinées.

Notre objectif est d'**optimiser** les **barèmes d'appertisation** de ces produits pour les deux formats de boîtes de **consERVE** (360g et 720g). Le but est de déterminer un couple temps-température adapté à l'appertisation de ces produits.

Pour accomplir notre tâche, nous effectuerons un premier essai afin d'enregistrer l'évolution de la température au point le plus froid des boîtes. Nous déterminerons ensuite les caractéristiques de transfert de chaleur dans chaque boîte, en utilisant des modèles mathématiques (méthode de Ball et de Stumbo). Ces modèles nous permettront par la suite de prédire les barèmes à appliquer.

Mots clés : : **appertisation**
barèmes
consERVE
Maison des Pâtures
optimiser

SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	1
1 <i>Présentation de l'entreprise</i>	2
2 <i>L'appertisation</i>	3
2.1 Historique	3
2.2 Qu'est-ce que la stérilisation ?	3
2.2.1 Contraintes de la stérilisation.....	3
2.2.2 Définitions.....	7
2.2.3 Transfert de chaleur dans une boîte.....	11
2.3 Le matériel nécessaire à une stérilisation	15
2.3.1 L'emballage.....	15
2.3.2 Les autoclaves	19
2.4 Les organismes de validation	25
2.4.1 Les centres techniques.....	25
2.4.2 Les interlocuteurs institutionnels.....	26
3 <i>Optimisation du barème d'appertisation de l'autoclave de La Maison des Pâtures</i>	29
3.1 Rappel du problème et de notre objectif	29
3.2 Matériel à notre disposition	30
3.2.1 Le matériel d'analyse	30
3.2.2 L'autoclave de La Maison des Pâtures	32
3.3 Démarche expérimentale	33
3.3.1 Produits analysés	33
3.3.2 Description de la démarche	33
3.4 Analyse des résultats	35
3.4.1 Etude du cycle de stérilisation utilisé	35
3.4.2 Détermination des barèmes prédictifs	56
3.4.3 Choix du barème	64
3.4.4 Vérification du barème proposé	64
3.4.5 Interprétation des résultats	71
3.5 Analyse de la dégustation	72
3.6 Perspectives	74
<i>Conclusion</i>	75
<i>Bibliographie</i>	76
<i>Annexes</i>	77

INTRODUCTION

Suite aux évolutions des modes de vie telles que l'urbanisation, la féminisation, la restructuration des ménages, etc, les consommateurs sont de plus en plus à la recherche de produits faciles à transporter, à conserver, et à préparer. C'est dans ce contexte que se sont développés les produits surgelés et les produits en conserve. Cependant, suite à des crises alimentaires, s'installe un climat de méfiance, de nostalgie et d'anxiété. La qualité des produits alimentaires devient par conséquent un réel critère de sélection pour les consommateurs. En effet, ces derniers sont dorénavant à l'affût de produits authentiques, élaborés dans la tradition d'un savoir-faire maîtrisé.

C'est ainsi que travaille La Maison des Pâtures depuis 22 ans. Cette petite entreprise fabrique, dans le respect de la tradition, des produits appertisés et sous-vide de qualité. Dans un souci permanent d'améliorer la qualité des produits et de satisfaire les clients, toutes les remarques sur les produits sont les bienvenues.

A plusieurs reprises des clients de La Maison des Pâtures ont signalé à Mr Pierchon, dirigeant de l'entreprise, que les cuisses de canard se démêlaient trop de l'os lorsqu'ils réchauffaient leur plat. Bien que cela n'altère en rien les qualités organoleptiques et sanitaires du produit, cela peut engendrer quelques désagréments. En effet, les cuisses de canard, quelque soit leur recette (à l'orange, aux cèpes, aux raisins,...), sont cuisinées dans une sauce. Par conséquent en se détachant de l'os, la viande est plus facilement et plus rapidement imbibée, ce qui la rend moins présentable.

Au cours d'un entretien avec Mr Pierchon, nous en avons mutuellement déduit que ce désagrément provenait d'un problème de surcuisson. En effet, la production étant insuffisante pour effectuer un autoclavage pour chaque type de produit et chaque type de bocal, Mr Pierchon applique un barème de stérilisation lourd, commun à toutes ses conserves. Ce barème est de 116°C pendant 80 minutes. Or, tous les produits étant différents, ceux-ci ne nécessitent pas le même temps de cuisson. Par ailleurs, il faut noter que le problème de surcuisson rencontré est encore plus prononcé dans les petites boîtes, appertisées en même temps que les grandes.

Ainsi, nous lui avons proposé de calculer un nouveau barème d'appertisation dans le but d'améliorer la texture des cuisses de canard cuisinées. Pour mener à bien ce projet, nous définirons dans une première partie le principe de l'appertisation et le matériel nécessaire à cette technique de conservation. Puis dans une seconde partie, nous expliquerons la démarche expérimentale que nous avons suivie ainsi que les résultats que nous avons obtenu grâce au nouveau barème proposé.

1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

En 1980, Monsieur Pierchon et sa femme décident de s'installer dans la région du Nord-Pas-De-Calais à Saint-Amand-Les-Eaux afin de se lancer dans une nouvelle aventure : la production et la vente de produits alimentaires à base de canards et d'oies. A cette époque, l'entreprise nommée « La Maison des Pâtures » a une activité plutôt modeste avec un abattage de 10 oies et 20 canards par an. Puis d'année en année, grâce à une demande accrue de la part des consommateurs, la production augmente pour atteindre aujourd'hui un abattage de 2000 canards et 200 oies par an. Les oies sont peu exploitées pour deux raisons : d'une part, elles demandent au producteur une charge de travail supérieure à celle des canards, et d'autre part elles attirent de moins en moins la clientèle.

Pour assurer cette production croissante, La Maison des Pâtures a acheté en 1987 une nouvelle exploitation à Hem. Aujourd'hui le regroupement de ces deux sites représente une superficie de 10 hectares. Sur le site d'Hem, l'ensemble des activités de l'entreprise y est représenté à savoir la production (élevage, abattage, transformation) et la commercialisation. Le site de Saint-Amand-Les-Eaux est réservé à l'élevage des animaux, qui ont entre une et huit semaines, et à la commercialisation des produits finis. La Maison des Pâtures emploie une personne à temps plein sur le site d'Hem, une personne à temps partiel sur le site de Saint-Amand-Les-Eaux ainsi que des stagiaires tout au long de l'année (6 ou 7 par an). Par ailleurs, à l'approche des fêtes de fin d'année, du personnel supplémentaire est embauché. Il s'agit souvent de la famille ou des amis.

La Maison des Pâtures vend deux gammes de produits : des produits sous vides (tels que les magrets, les terrines de foies gras, feuilletés de magret fumé, etc) et des produits appertisés (tels que des confits de canard, des cuisses de canard à l'orange, des pâtés de canard, etc). Cependant bien que chaque année, un nouveau produit soit commercialisé, l'entreprise ne souhaite ni étendre sa gamme de produit ni s'introduire sur de nouveaux circuits de distribution. En effet, il existe aujourd'hui un réel équilibre entre l'offre et la demande. 100% du chiffre d'affaire se fait en vente directe aux consommateurs sur les deux sites. Les clients sont pour la plupart des clients fidèles depuis 15-20 ans. En ce qui concerne les clients jeunes, ce sont des passionnés de « bons produits » qui prennent le temps de s'arrêter à la « ferme » pour en acheter quelque uns.

Les deux maîtres mots de l'entreprise sont la **Qualité** et la **Tradition**. En effet, La Maison des Pâtures a décidé de s'occuper de toutes les activités de la production à la commercialisation parce que pour les dirigeants « la meilleure façon d'obtenir des matières premières de qualité est de les faire soi-même ». Le type d'élevage des canards utilisé n'existe pratiquement plus, il s'agit d'un élevage long où les animaux dès l'âge de 8-9 semaines sont nourris aux céréales entières et élevés jour et nuit sur des parcours extérieurs en pâtures. De plus, ils sont abattus vers le 110^{ème}-120^{ème} jour, ce qui est exceptionnel en volaille (les Labels Rouges sont abattus au bout de 77-88 jours).

2 L'APPERTISATION

2.1 HISTORIQUE

Au X^{IV}e siècle, un marin hollandais plonge des filets de harengs dans la saumure, puis scelle le tout dans des barriques. Les ancêtres des conserves sont nés. Quatre siècles plus tard, un français, Nicolas Appert, découvre la technique de stérilisation des aliments par chauffage. Pendant la révolution française en 1789 Nicolas Appert est arrêté. C'est durant cette période qu'il découvre qu'en chauffant des aliments jusque 100°C pendant un certain temps dans des récipients hermétiquement fermés, ils pouvaient être conservés sans détérioration. Appert utilise un genre de bain marie, la marmite de Papin (du nom de son inventeur), dans lequel il dépose des bocaux hermétiquement clos. En chauffant ces derniers, il en stérilise le contenu. Ce procédé, appelé appertisation est la première forme connue de stérilisation des aliments. En 1806 la découverte d'Appert fut appliquée avec succès par la marine française pour des aliments divers comme la viande, les légumes, les fruits et plus tard le lait. Se basant sur la méthode de conservation d'Appert, l'Anglais Peter Durand fut le premier à déposer un brevet relatif aux méthodes d'emballage des aliments en boîtes métalliques couvertes d'étain et fermées hermétiquement.

2.2 QU'EST-CE QUE LA STERILISATION ?

Souvent les deux notions de stérilisation et de pasteurisation sont mises en parallèles. Ces deux traitements ont le même but, à savoir détruire thermiquement les microorganismes, cependant ils se situent à des niveaux différents au sein de cet objectif :

La pasteurisation vise la diminution de cellules végétatives des microorganismes susceptibles de se développer dans l'aliment. Elle donne lieu à des produits avec une DLC (Date Limite de Consommation) qui s'exprime en jour, lorsque la germination des spores est possible.

La stérilisation quant à elle, est utilisée lorsque l'on vise expressément l'inactivation des formes microbiennes les plus résistantes, c'est-à-dire les spores bactériennes. La bactérie pathogène la plus importante et la plus résistante, est la *Clostridium botulinum*. Les produits stérilisés, à condition d'être à l'abri des recontaminations, sont stabilisés et se conservent à la température ambiante. Un produit stérile n'a pas de DLC mais une DLUO (Date Limite d'Utilisation Optimale) qui s'exprime en mois voire en années.

2.2.1 Les contraintes de la stérilisation

Afin, d'établir des barèmes adaptés à un aliment précis, il faut se plier à certaines contraintes. La première et de loin la plus importante, est la contrainte microbiologique. Celle-ci est

primordiale pour la sécurité du consommateur. A cela s'ajoute les contraintes organoleptiques et nutritionnelles.

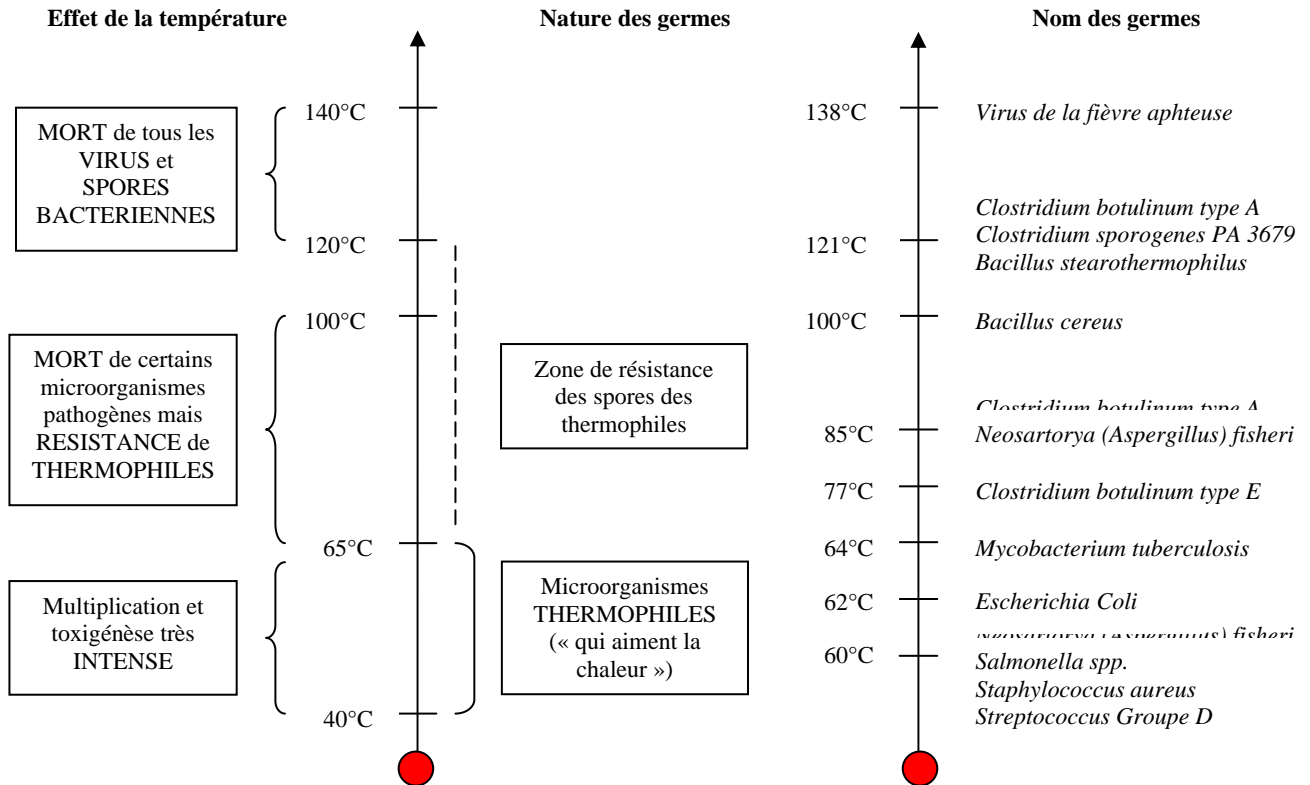
2.2.1.1 Les contraintes microbiologiques

L'hygiène revêt une importance capitale dans les industries agroalimentaires. En effet, les aliments doivent être dépourvus de microorganismes pathogènes, dangereux pour le consommateur, et de microorganismes d'altération rendant les aliments impropres à la consommation. Les contaminations microbiennes proviennent de l'environnement (air, eau, etc.), des équipements, des matériaux d'emballage, du personnel, des matières premières et du produit préparé.

Dans notre cas, on s'intéressera à la destruction des microorganismes contenus dans les aliments. Ceux-ci sont détruits par la chaleur, qui est, la méthode utilisée aujourd'hui de façon quasi universelle.

- Microorganismes et température

Tous les microorganismes ne présentent pas la même sensibilité à la chaleur. Il existe des espèces très résistantes qui survivent plusieurs heures à plus de 100°C. Cette résistance provient de la faculté de certaines bactéries à se transformer en spore (cellule entourée d'une enveloppe protectrice). On les appelle les thermo-résistants. Ces microorganismes sont représentés sur le schéma ci-dessous.



Les professionnels ont choisi *Clostridium botulinum* comme référence pour la stérilisation des denrées peu acides (pH>4,4) en raison de son fort pouvoir pathogène et de sa résistance à la chaleur. Les barèmes de stérilisation sont donc calculés pour réduire le risque de survie de ses spores à des niveaux infiniment faibles. En effet, les traitements de stérilisation permettent une réduction d'au moins mille milliard (10^{12}) de fois la population initiale.

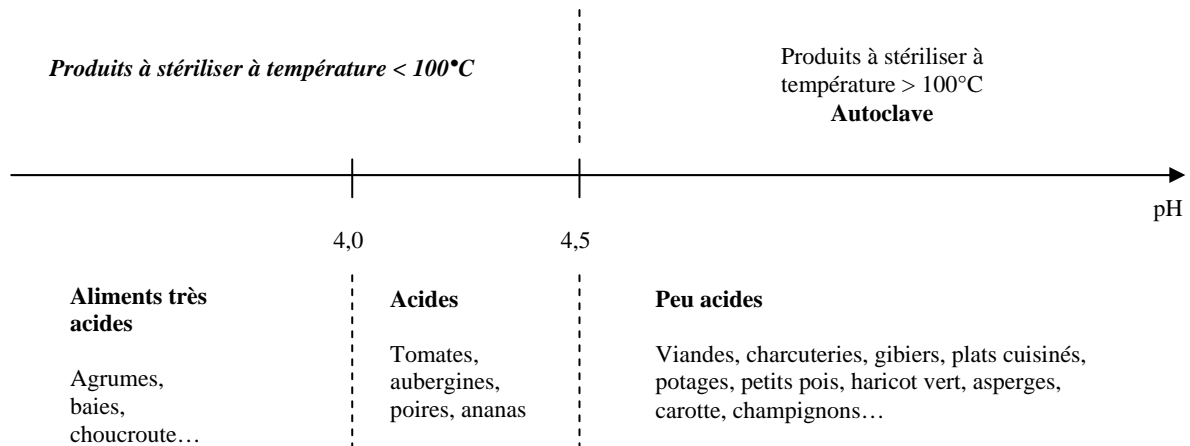
▪ Microorganismes et pH

En milieu acide, seuls quelques types de microorganismes se développent. Ceux-ci sont par ailleurs faciles à détruire par un chauffage modéré (inférieur à 100 °C). Ainsi l'acidité influe sur le barème que l'on imposera.

En effet, les aliments dont le pH est inférieur à 4,5 (tomates, agrumes, ananas...) ne présenteront pas de développement de bactéries thermo-résistantes. Les températures de stérilisation ne dépassent alors pas les 100 °C.

Par contre, les aliments ayant un pH supérieur à 4,5 (viande, produits carnés, haricots verts) sont susceptibles d'être contaminés par des microorganismes très résistants à la chaleur. Les températures de stérilisation des produits dépassent alors les 100°C et on utilise un autoclave pour les traiter.

On peut classer les aliments en trois grandes catégories suivant leur pH :



▪ Quelques mots sur le *Clostridium botulinum*

Le mot latin " botulus " signifie "saucisse". On a assimilé pendant longtemps cette maladie à la saucisse non cuite.

La neuro-toxine botulinique est le plus puissant poison connu. Un mg de cette toxine peut tuer plus de 33 milliards de souris. La dose minima mortelle est de l'ordre de 30 pg/kg. Il faut 10 fois plus de toxine tétanique et 40 000 000 de fois plus de cyanure pour atteindre une telle toxicité. Son poids moléculaire est très élevé (150 000 à 940 000).

Elle est de nature protéique et thermolabile en produisant des endospores résistantes à la chaleur. *C. botulinum* sporule tant en milieux de culture que dans la nature (saprophyte des eaux stagnantes, sol) ou les aliments. Il s'agit d'une intoxication alimentaire sensu-stricto, parfois désignée intoxication.

La toxine est thermolabile et résistante aux acides et aux sucs digestifs.

2.2.1.5 Les contraintes organoleptiques et nutritionnelles

Si la chaleur détruit les microorganismes, elle altère également le goût, la présentation, la texture et la valeur nutritionnelle (destruction des vitamines) des aliments. Les principales réactions résultantes de cette augmentation de température sont la réaction de Maillard¹, suivie d'une ou plusieurs réactions d'énolisations et de recombinaisons qui provoquent la formation d'arômes « brûlés » (pyrazines), « caramel » (maltol) ainsi que des pigments bruns (polymères) appelés mélanoides.

Ainsi le traitement thermique de stérilisation idéal est celui qui assure une bonne cuisson, la préservation des propriétés organoleptiques, des protéines et des vitamines tout en garantissant la qualité sanitaire de l'aliment.

La figure 1 donne quelques exemples de réactions qui peuvent se produire en fonction des paramètres Z et d'Energies d'activation (E_a) associées.

¹ La réaction de Maillard est une réaction de brunissement non enzymatique. Elle résulte de la réaction entre un sucre réducteur et une protéine ou un acide aminé.

Réaction	Z(°C)	E _a (kJ.mol ⁻¹)
Brunissement non enzymatique	17 à 39	100 à 250
Hydrolyse	25 à 50	60 à 110
Oxydation des graisses	30 à 75	40 à 100
Dénaturation des protéines	5 à 10	250 à 800
Destruction de colorants :		
chlorophylle	38 à 80	30 à 90
caroténoïdes	19	140
Destruction de la lysine	21	108 à 125

Figure 1 : Valeurs de Z et de E_a pour quelques classes de réactions chimiques. D'après Hallström et al. (1988)

Avec E_a : Energie d'activation qui s'exprime en fonction de la température par l'équation :

$$Ea = \frac{2,3 \times R \times T^2}{Z}$$

Avec : R, la constante des gaz parfait (en J.mol⁻¹.K⁻¹)

T, la température en K

Le paramètre Z caractérise l'incidence d'une variation de température sur la cinétique d'une réaction ou d'un phénomène induit par la chaleur, alors qu'un phénomène au Z plus grand sera peu ou pas affecté par cette variation. Or on remarque (au vu de la figure 1) que les réactions ont une valeur de Z (autour de 20-30°C) nettement plus élevée que celles correspondant à la destruction thermique des microorganismes (de l'ordre de 10°C). On peut donc par un choix judicieux de la température obtenir les effets souhaités d'un traitement thermique tout en limitant les contraintes de dégradation organoleptiques et nutritives.

2.2.2 Définitions

2.2.2.1 Origine des concepts Z, D, valeur stérilisatrice et valeur cuisatrice

- Z et D

Les deux concepts Z et D sont issus de la cinétique de destruction des microorganismes.

Voici quelques notions sur ce phénomène :

Soit N₀ le nombre de microorganismes initialement présents dans un aliment. Au cours d'un traitement thermique on a observé que le logarithme du nombre de microorganismes survivants en fonction du temps était linéaire. De plus, on a constaté que si on change le nombre initial de microorganismes, on obtient une droite parallèle à la première. Ainsi, il suffit simplement de savoir la pente de la droite log (N)=f(t) pour décrire la cinétique de

destruction d'une souche étudiée. Conventionnellement, c'est l'inverse de la pente qui est utilisée et on la nomme « temps de réduction décimale » (symbole D). En effet, ce temps correspond à la destruction de 90% de la population, c'est-à-dire à la division par 10 de son effectif.

On obtient donc l'équation suivante :

$$\text{Log}(N_0/N) = t/D = n \quad (1)$$

Avec

N_0	:	nombre de microorganismes initial
N	:	nombre de microorganismes survivants
t	:	temps
D	:	temps de réduction décimale
n	:	nombre de réduction décimale

Ainsi, au cours de la destruction d'une population, il faut autant de temps pour passer de 1 000 000 à 100 000 microorganismes que pour passer de 10 à 1. La vitesse de destruction diminue donc avec le nombre de microorganismes survivants, car on met autant de temps à éliminer 900 000 (10^6-10^5) qu'à éliminer 9 microorganismes (à la fin du traitement).

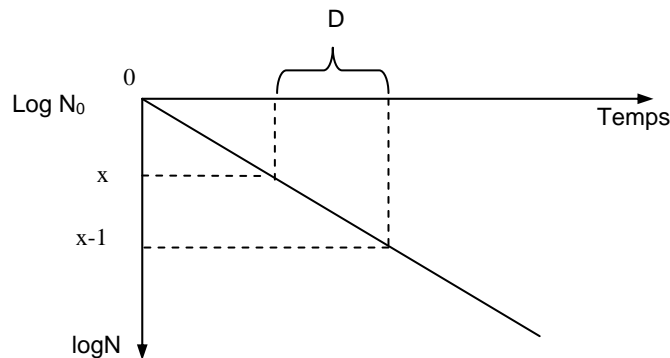


Figure 2 : Courbe de survie

Pour étudier l'influence de la température sur le temps de réduction décimal D, on trace le logarithme (base 10) de D en fonction de la température ($\log D = f(t)$). Les points obtenus forment une droite que l'on appelle « courbe fantôme TDT » (TDT = Temps de Destruction Thermique) caractérisée par l'inverse de sa pente (symbole Z).

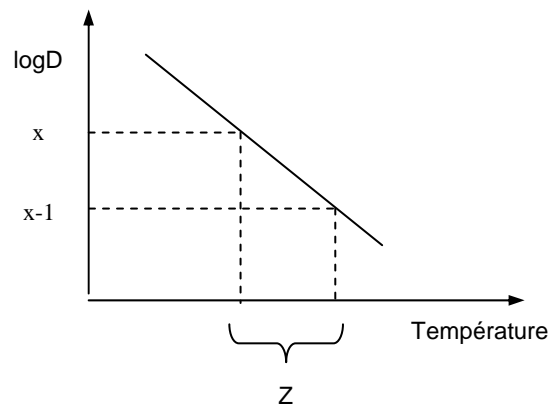


Figure 3 : Influence de la température sur la résistance

Z correspond à l'élévation de température nécessaire pour réduire à 1/10 la durée du traitement thermique standard en obtenant le même taux de destruction.

C'est un paramètre de thermorésistance caractéristique de chaque espèce de microorganisme. Ses valeurs sont moins fluctuantes que D et sont généralement de l'ordre de 4 à 7°C pour les formes végétatives et de l'ordre de 10°C pour les spores.

(Z = 10°C pour *Clostridium botulinum*).

On a donc $\log(D) = \frac{T}{Z}$

Soit $\log\left(\frac{D_{T1}}{D_{T2}}\right) = \frac{T_2 - T_1}{Z}$

$$\frac{D_{T1}}{D_{T2}} = 10^{\frac{T_2 - T_1}{Z}} \Rightarrow D_{T1} = D_{T2} \times 10^{\frac{T_2 - T_1}{Z}}$$

Ainsi, avec $T_1 = T$ et $T_2 = T_{réf}$ on peut exprimer D selon l'équation suivante :

$$D = D_{T_{réf}} \times 10^{\frac{T_{réf} - T}{z}} \quad (2)$$

▪ valeur stérilisatrice et cuisatrice

Des équations (1) et (2), on exprime n de la façon suivante :

$$n = \frac{t}{D_{T_{réf}} \times 10^{\frac{T - T_{réf}}{z}}} = \frac{t \times 10^{\frac{T - T_{réf}}{z}}}{D_{T_{réf}}}$$

Le numérateur pourrait être noté $t_{réf}$ dont la signification serait : « temps de traitement équivalent à celui pour lequel la température $T_{réf}$ provoquerait n réductions décimales »

Ce temps équivalent est appelé communément :

- Valeur stérilisatrice ($F_z^{121,1}$) si l'on utilise $Z=10^\circ\text{C}$ et $T_{réf}=121,1^\circ\text{C}$
- Valeur pasteurisatrice ($P_z^{121,1}$) si l'on utilise $Z=7^\circ\text{C}$ et $T_{réf}=70^\circ\text{C}$

- Valeur cuisatrice ($C_z^{121,1}$) si l'on utilise $Z=30^\circ\text{C}$ et $T_{\text{réf}}=100^\circ\text{C}$

Dans notre cas, ce qui nous intéresse c'est uniquement les $F_z^{121,1}$ et $C_z^{121,1}$.

Un traitement thermique peut être caractérisé par :

- la valeur de destruction biologique ou la létalité (L)
- son effet de cuisson d'un aliment, à l'aide d'une valeur cuisatrice ($C_Z^{\text{Tréf}}$),
- par son effet sur la destruction des microorganismes présents dans cet aliment, à l'aide d'une valeur stérilisatrice ($F_Z^{121,1^\circ\text{C}}$).

2.2.2.2 La définition de la létalité

La létalité est la valeur stérilisatrice obtenue à la température T pendant une minute. On la nomme également la valeur de destruction biologique (VDB) affectée à la température T. On la note L. Elle est définie par :

$$L=10^{\frac{T-T_{\text{réf}}}{Z}}$$

Avec $T_{\text{réf}}$, la température de référence

Z, écart de température permettant de réduire la durée du traitement thermique d'un facteur 10 pour la même efficacité

T, les températures relevées à des intervalles de temps Δt dans le produit

2.2.2.3 La définition de la valeur cuisatrice

La valeur cuisatrice ($C_Z^{\text{Tréf}}$) permet de quantifier l'effet du traitement sur la qualité du produit.

Elle se définit par :

$$C_Z^{\text{Tréf}} = \sum_i L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L=10^{\frac{T-T_{\text{réf}}}{Z}}$

Avec $T_{\text{réf}} = 100^\circ\text{C}$

$Z = 30^\circ\text{C}$

T les températures relevées à des intervalles de temps Δt dans le produit

2.2.2.4 *La définition de la valeur stérilisatrice*

La valeur stérilisatrice $F_Z^{121,1^\circ\text{C}}$ permet de quantifier l'efficacité d'un traitement thermique sur la destruction des microorganismes :

$$F_Z^{\text{Tréf}} = \sum_i L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L = 10^{\frac{T - T_{\text{réf}}}{Z}}$

Avec $T_{\text{réf}} = 121,1^\circ\text{C}$

$Z = 10^\circ\text{C}$

T les températures relevées à des intervalles de temps Δt dans le produit

2.2.2.5 *La définition du barème de stérilisation*

Le barème de stérilisation est défini par une température T_1 et un temps de palier t_p , nécessaires à l'obtention de la stabilité biologique du produit.

Pour déterminer ce barème il faut connaître les variations de température dans le produit au cours du temps. Dans la pratique, on suit la température au point le plus froid du produit appelé « point critique ».

Le barème s'établit également en fonction de :

- La nature du produit,
- L'emballage,
- Le nombre initial de microorganismes, contenus dans le produit avant stérilisation,
- Du type d'autoclave employé, du fluide chauffant (eau ou vapeur d'eau) et du délai de mise en régime de l'autoclave.

2.2.3 **Transfert de chaleur dans une boîte**

Le traitement thermique appliqué à un aliment en conserve consiste à mettre ce dernier en présence d'un fluide chaud pendant un certain temps puis à la refroidir par la mise en présence d'un fluide froid. Dans ces deux cas, on réalisera un échange de chaleur entre le fluide et le produit à travers la paroi les séparant, du plus chaud vers le plus froid. Cette chaleur devra également migrer au sein du produit. L'évolution thermique dans le produit résulte de ces deux phénomènes.

2.2.3.1 *La migration de la chaleur à travers une paroi*

La différence de température entre le fluide et le produit : elle sera l'élément moteur de l'échange. En effet, s'il n'y a pas de différence de température, il n'y aura pas d'échange de chaleur.

La paroi :

L'échange de chaleur sera d'autant meilleur que la paroi est fine et conductrice de la chaleur : il est plus facile de chauffer un produit conditionné dans une boîte métallique que dans un bocal en verre, car ce dernier est plus épais et moins conducteur.

Le fluide :

Il échange d'autant plus de chaleur avec la paroi qu'il est bon conducteur et bien agité. Pour comprendre cela, il faut imaginer la formation, au contact de la paroi, d'une mince couche de fluide parfaitement immobile. On appelle cette couche, une couche limite. Elle se comporte comme une paroi supplémentaire, et donc un obstacle supplémentaire pour le transfert de chaleur. L'agitation du fluide aura pour effet d'en diminuer l'épaisseur. La nature du fluide, quant à elle, jouera à deux niveaux :

- de conductivité élevée, elle améliorera les échanges,
- de viscosité élevée, elle les ralentira par l'accroissement de l'épaisseur de la couche limite.

2.2.3.2 *La migration de la chaleur dans le produit*

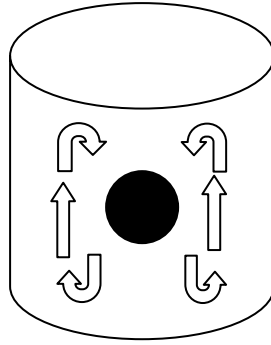
La chaleur peut migrer dans le produit pour deux raisons :

- Le produit est animé de mouvements ou de déplacements de matière qui véhiculent aussi la chaleur. On appelle ce mode de migration des « transferts par convection » ;
- Le produit n'est pas à température uniforme : s'il est conducteur de chaleur (même très peu), il est le lieu d'échanges entre les parties les plus chaudes et les plus froides qui sont appelées « transferts par conduction ».

2.2.3.2.1 *La convection*

On rencontre des transferts par convection dans les produits fluides (soupes), ou dans la partie fluide de produits constitués d'un jus et de morceaux de solides. Leur ampleur dépend de celle des mouvements de matière qui trouvent leur origine dans :

- Des différences de densité au sein de la partie fluide du produit, parfois elles-mêmes liées à des différences de températures : c'est la convection naturelle ;
- Une action mécanique telle que l'agitation (rotations, chocs...) du récipient contenant le produit : c'est la convection forcée. Ceci permet de réduire l'épaisseur de la couche limite et par conséquent de favoriser le transfert de chaleur.

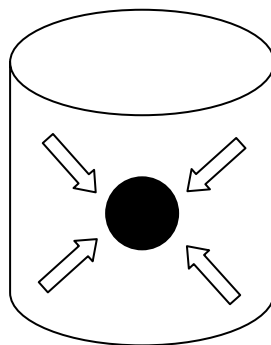


2.2.3.2.2 La conduction

Les transferts par conduction se rencontrent dans :

- les produits solides ou pâteux très épais (exemple : purées végétales concentrées, pâtés...),
- les produits associant un jus et des solides entravant complètement les mouvements du jus (exemples : épinards),
- la partie solide des mélanges jus + particules solides.

La propagation de la chaleur s'effectue d'atome en atome, de proche en proche, par transmission d'énergie d'agitation thermique. En milieu solide les atomes, dont les positions d'équilibre sont fixes dans l'espace, transfèrent de la chaleur sans transfert de matière.



2.2.3.2.3 Les deux modes coexistent toujours

Dans le cas des cuisses de canard cuisinées, on a des transferts par convection dans la sauce et par conduction dans les morceaux de viande. En fait, même au sein d'un produit, les deux modes de transferts coexistent et participent à l'uniformisation de la température par migration de la chaleur. Ainsi, dans les cas de purées fluides, de soupes, les mouvements de matière sont parfois insuffisants pour assurer l'uniformité de la température. Par conséquent, des transferts de chaleur par conduction naissent obligatoirement. On peut donc dire que ces modes de transfert coexistent toujours dans la réalité, simplement il y a des situations où l'un ou l'autre mode de transfert assure l'essentiel de la tâche. C'est ainsi que dans une boîte de

soupe soumise à une agitation, c'est la convection qui l'emporte. A l'opposé, pour un pâté en boîte, c'est la conduction qui domine largement même si l'on agite la boîte. L'absence de partie très mobile dans la boîte rend alors l'action mécanique peu efficace, voire parfaitement inutile.

2.2.3.3 Les facteurs liés à l'évolution thermique dans la boîte

L'évolution de la température dans la boîte sera d'autant plus rapide que :

- Les échanges à travers la paroi et l'emballage seront importants : bon coefficient de transfert de chaleur, surface de la paroi importante et différence de température de part et d'autre de la paroi importante,
- La migration de la chaleur à l'intérieur du produit sera aisée : existence de mouvements de convection naturelle ou forcée, ou bien conductivité thermique élevée,
- Le contenu de la boîte aura une faible inertie thermique : masse et capacité thermique massiques faibles.

2.2.3.3.1 Effet de la viscosité du fluide sur les transferts de chaleur

La viscosité du fluide n'a d'effet que sur la transmission de chaleur par convection.

L'augmentation de viscosité en ralentissant le mouvement du liquide au voisinage de la paroi, augmente la couche limite et ralentit le transfert de chaleur.

2.2.3.3.2 Effet de la conductibilité thermique sur les transferts de chaleur

La conductibilité thermique d'un fluide ou d'un matériau a un effet direct sur la transmission de chaleur par conduction. Dans ce cas, la transmission de chaleur est proportionnelle à la valeur de la conductibilité thermique.

Remarque : Le transfert de chaleur lors de la stérilisation de produits hétérogènes (comme les cuisses de canard cuisinées en sauce) ne peut pas s'identifier à des modèles : la phase liquide doit subir un sur-traitement notable afin de stériliser correctement à cœur les morceaux. Ceci diminue la qualité finale, organoleptique ou physico-chimique, du produit.

2.3 LE MATERIEL NECESSAIRE A UNE STERILISATION

2.3.1 L'emballage

2.3.1.1 Les bocaux en verre

2.3.1.1.1 Définition et propriétés

Les industries de la conserve utilisent des bocaux avec des capsules métalliques appelés *pots industriels*. Par définition, on entend par pot industriel (annexe 1), « un récipient en verre de large ouverture comportant une bague conçue pour l'application d'un bouchage étanche, l'ensemble permettant d'assurer le conditionnement de produits alimentaires et leur conservation² ». Très souvent les produits alimentaires à connotation « terroir, tradition, autrefois » sont emballés dans ce type de bocal dans la mesure où il confère aux produits une image traditionnelle, artisanale, ou rustique.

Les propriétés physico-chimiques des bocaux en verre :

- Neutralité et inertie chimique : tous les produits alimentaires, qu'ils soient liquides, solides, pâteux ou pulvérulents peuvent être emballés dans les bocaux en verre grâce à l'inertie du verre d'emballage silico-sodo-calcique,
- Inertie bactériologique : le verre ne peut ni fixer ni favoriser le développement de bactéries ou de microorganismes actifs à sa surface,
- Inertie organoleptique : le verre étant imperméable aux échanges avec le milieu extérieur, que ce soit les gaz, les liquides, les bactéries ou les odeurs, assure une inertie organoleptique du produit.

Les propriétés mécaniques des bocaux en verre :

- Résistance aux chocs thermiques : les bocaux en verre supportent des chocs thermiques modérés. De manière générale, l'écart thermique admis est de 45°C dans le sens chaud-froid. Cependant sous certaines conditions, il est possible d'appliquer des écarts plus importants,
- Résistance aux chocs mécaniques,
- Résistance à l'écrasement vertical : les bocaux en verre ont une paroi dont l'épaisseur varie entre 1 et 2 mm afin de pouvoir résister aux chocs pendant diverses phases telles que le remplissage ou l'empilage dans l'autoclave ou lors du stockage.

Bien que les bocaux en verre offrent de nombreux avantages, ils comportent quelques inconvénients à savoir :

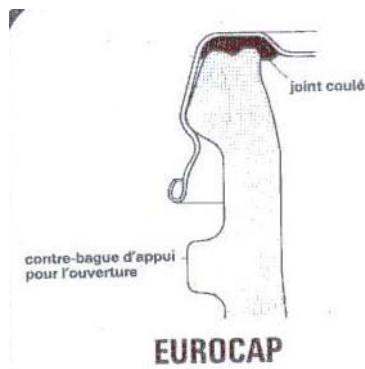
² LAROUSSE J., La conserve appertisée, , Edition Lavoisier Tec&Doc, 1991

- ce sont des emballages lourds, fragiles,
- ce sont des emballages qui ont une mauvaise conductibilité comparé aux bocaux métalliques,
- le contenu est plus facilement dégradé si le produit est photosensible : le verre n'étant pas un matériel opaque, il laisse par conséquent passer la lumière,
- ce sont des emballages qui coûtent chers

2.3.1.1.2 Systèmes de fermeture des bocaux en verre

Les fabricants ont à leur disposition plusieurs catégories de capsules pour fermer les bocaux en verre. Par définition, une capsule est « un couvercle comportant un joint d'étanchéité, adapté aux différentes bagues de verrerie, permettant d'assurer l'étanchéité du récipient nécessaire au conditionnement et à la conservation des produits emballés ». Les capsules les plus couramment utilisés par les conserveurs sont les capsules suivantes :

- les capsules TWIST-OFF,
- les capsules PRY-OFF,
- les capsules PRESS-TWIST,
- les capsules DEEP-PRESS (annexe 2),
- les capsules EUROCAP. Nous développerons les caractéristiques que de ces capsules dans la mesure où ce sont celles-ci qui sont utilisées par La Maison des Pâtures.



Métal : fer-blanc verni à l'intérieur

Nature et emplacement du joint : PVC coulé en contact avec le buvant du pot

Principe d'étanchéité : horizontale

Tenue de la capsule : par accrochage mécanique et par dépression interne³

Fermeture : verticale par sertissage, une infection de vapeur est recommandée

Résistance à la pression interne : existante

Ouverture : par levage à l'aide d'un décapsuleur

Aspect du bocal après la fermeture : dès la fermeture et après le traitement thermique, la capsule doit avoir une bonne concavité ou une bonne planéité

Avantages : haut degré de sécurité pendant le traitement thermique.

³ La dépression interne a pour but de : permettre l'opération de capsulage, garantir une bonne tenue de la capsule et de l'étanchéité du bocal, limiter la pression interne dans l'emballage lors du traitement thermique, limiter la quantité d'oxygène à l'intérieur de l'emballage (ce gaz peut en grande quantité dégrader les propriétés organoleptiques et nutritionnelles du produit et favoriser un processus de corrosion des capsules). Elle peut être obtenue soit un injection de vapeur soit par vide mécanique.

Inconvénients : ouverture difficile et oxydation possible de la capsule, pas d'étanchéité après l'ouverture.

2.3.1.2 Les boîtes en métal

2.3.1.2.1 Les différents types de métal

Les métaux utilisés par les industries pour former des boîtes de conserve sont de deux types : l'acier, l'aluminium.

- L'acier

L'acier est une base pour former deux types de boîtes métalliques les boîtes en fer-blanc et les boîtes en fer chromé.

Le fer-blanc est formé à partir de l'électrolyse d'une couche d'étain (variant de 1 à 15 g/m²) sur les deux faces de l'acier de base. Le dépôt d'étain appelé *taux d'étamage* peut être soit identique soit différent sur les deux faces de l'acier. Lorsque le fer-blanc est directement au contact avec des produits alimentaires, il peut être soit nu soit verni.

Le fer chromé est formé à partir de l'électrolyse de couches de chrome métallique ou d'oxydes de chrome sur la face interne de l'acier de base.

- L'aluminium

Pour fabriquer des boîtes de conserve, le fabricant peut utiliser des alliages d'aluminium. Ces alliages sont obtenus grâce à l'ajout de composants, en particulier le magnésium et le manganèse, à l'aluminium. L'utilisation d'alliages d'aluminium et non d'aluminium simple apporte des propriétés pour la fabrication des boîtes de conserve telles qu'une résistance mécanique et une résistance à la corrosion plus importante.

2.3.1.2.2 Les différents types de boîtes

Les industriels ont à leur disposition deux techniques pour la fabrication des boîtes de conserve. En effet, les boîtes sont composées soit de trois éléments « boîtes 3 pièces » soit de deux éléments « boîtes 2 pièces ou boîtes embouties ».

- Les « boîtes 3 pièces »

Ce type de boîtes est le principal type d'emballage métallique utilisé pour les conserves appertisées. Ces boîtes tel que le nom l'indique sont constituées de trois éléments : un flanc (de forme cylindrique, rectangulaire, ...) constitué de fer-blanc nu ou verni et de deux fonds. Un fond est serti sur le flanc par le fabricant de la boîte et l'autre fond, dit de fermeture, serti par le conserveur après remplissage de la boîte. Les deux fonds sont soit en fer-blanc soit en fer chromé.

- Les « boîtes 2 pièces »

Ces boîtes telles que le nom l'indique sont composées de deux éléments : le fond et le flanc. Le fond, dit de fermeture, est serti par les conserveur lors de la fermeture de la boîte.

2.3.1.2.3 Systèmes de fermeture des boîtes métalliques

On distingue les couvercles classiques et les couvercles à ouverture facile. Les premiers sont à base d'acier (fer-blanc ou fer chromé) revêtu sur les deux faces de verni sachant. Les seconds sont à base d'alliage d'aluminium ou d'acier possédant sur ses deux faces une couche de verni. De plus, quelque soit le type de couvercle la face extérieure peut être imprimée.

2.3.1.2.4 Choix des boîtes métalliques

Il existe de nombreuses formes géométriques différentes pour les boîtes métalliques telles que les boîtes cylindriques, les boîtes coniques, les boîtes rectangulaires, etc. Mais d'un point de vue sanitaire et nutritionnel, ce qui importe est la compatibilité entre le contenu de la boîte et le contenant (c'est-à-dire la matière du métal utilisé). Le revêtement intérieur des flancs, il peut être en fer-blanc nu riche en étain ou en fer-blanc vernis. Cependant, tous les produits alimentaires ne réagissent pas de la même manière lorsqu'ils sont en contact avec un matériau. En effet, selon la nature du matériau, les denrées alimentaires peuvent aller de la neutralité à « l'agressivité », ce qui entraîne des réactions de corrosion plus ou moins rapides. A titre d'exemple, les plats cuisinés ou les confitures ne montrent relativement aucune réaction au contact d'emballage en acier, tandis que les nitrates des légumes et des fruits sont des constituants qui interviennent dans le développement de la corrosion du fer-blanc.

2.3.1.3 Les boîtes en plastiques

Les matières plastiques utilisées pour la fabrication des boîtes sont des thermoplastiques⁴ telles que les polyamides, les polycarbonates, les polyesters saturés,... Les boîtes en plastiques sont formées à partir d'une structure multicouche qui comprend :

- à l'extérieur des matériaux dits *support* (tels que le polypropylène ou le polystyrène) qui ont la particularité d'être imperméables aux gaz et,
- à l'intérieur des matériaux dit *barrière* (tels que éthylène-alcool polyvinylique ou le chlorure de polyvinylidène) qui ont la particularité d'être imperméables à la vapeur d'eau, résistants au traitement thermique et mécanique,

Concernant ce type d'emballage, il existe deux systèmes de fermeture soit par sertissage avec un couvercle métallique soit par thermoscellage avec un film barrière à base de métal ou non.

A l'image des bocaux en verre, tous les autoclaves munis d'un système de contre-pression sont aptes à stériliser des boîtes en plastique. De plus, ces autoclaves doivent fonctionner en discontinu et être équipés d'un système rotatif.

2.3.2 Les autoclaves

Par définition les autoclaves sont des « enceintes fermées hermétiquement pour fonctionner sous des pressions relatives de 2 à 4 bars⁵ ». Il existe actuellement sur le marché deux types d'autoclaves : les autoclaves discontinus et les autoclaves continus. Cependant quelque soit le type d'autoclave utilisé par l'industriel, des données leur sont communes :

- **la contre-pression à l'air comprimé** : cet élément est devenu essentiel dans la mesure où elle permet d'éliminer les risques de décapsulages et des déformations compromettant l'étanchéité, voire la destruction, des emballages pendant le cycle de traitement thermique.
- **les fluides caloporteurs** : ce sont des « fluides qui permettent la transmission de la chaleur du milieu ambiant de l'appareil au cœur du produit enfermé dans son emballage ». Les fluides généralement utilisés dans les autoclaves sont l'eau, la vapeur et le mélange d'air et de vapeur.
- **la disposition de la coque** : de manière schématique, les autoclaves sont formés d'une coque cylindrique en acier, forme particulièrement adaptée à résister aux fortes pressions internes. Lorsque la coque est disposée verticalement sur le sol, on parle **d'autoclave vertical** et inversement lorsque la coque est disposée horizontalement sur le sol, on parle **d'autoclave horizontal**.

⁴ : Par définition des matières thermoplastiques sont des « matières qui selon la température présentent réversiblement l'état rigide, plasto-élastique ou caoutchoutique ».

⁵ Bimbenet J.J., Duquenoy A., Trystram G., Génie des procédés alimentaires, des bases aux applications, Dunod, 2002

- **le système de traitement** : ces deux types d'autoclaves peuvent être statiques ou rotatifs. Les autoclaves statiques sont des autoclaves dans lesquels les emballages ne subissent aucun mouvement lors des phases de chauffage et de refroidissement. Quant aux autoclaves rotatifs, ce sont des appareils dans lesquels les boîtes subissent des mouvements d'agitation. Autoclave statique ou rotatif, comment l'industriel fait son choix ? L'appareil à utiliser dépend des produits. En effet, les autoclaves statiques sont particulièrement adaptés à la stérilisation des produits alimentaires liquides et visqueux, où la chaleur se propage par conduction. Tandis que les autoclaves rotatifs sont spécialisés dans la stérilisation des crèmes dessert, des sauces tomates, etc, produits où la chaleur se propage par convection.

2.3.2.1 Les autoclaves discontinus

Les autoclaves discontinus sont des appareils qui nécessitent l'action du conserveur dans la mesure où il doit ouvrir et fermer l'enceinte de stérilisation pour mettre et enlever les produits alimentaires. Tous les autoclaves discontinus fonctionnent de la même manière à savoir : les produits alimentaires emballés sont disposés dans des paniers, cylindriques pour les autoclaves verticaux, et parallélépipédiques pour les autoclaves horizontaux, qui sont placés dans la coque. Selon le type d'emballage, la disposition dans les paniers varie. Lorsque les emballages sont des bocaux en verre ou des boîtes métalliques, des intercalaires sont placés entre eux pour que les fluides caloporteurs puissent correctement circuler. Lorsque les emballages sont souples, par exemple en plastique, ils sont posés à plat sur des clayettes. Le nombre de paniers introduits dans la coque peut varier entre 1 et 5.

Actuellement grâce au progrès et à l'innovation, il existe sur le marché de nombreux types d'autoclaves discontinus. Les plus typiques sont :

- l'autoclave horizontal statique ou rotatif « Rotomat »,
- l'autoclave statique horizontal « Steriflow »,
- l'autoclave statique horizontal « Lagarde » (annexe 3).

Cependant, il semble plus intéressant de développer le fonctionnement de l'autoclave de La Maison des Pâtures que l'ensemble des autoclaves discontinus cités ci-dessus. Cette description sera détaillée dans la seconde partie de ce rapport.

▪ Quels sont les avantages et les inconvénients des autoclaves discontinus ?

Avantages

- ils permettent la stérilisation de toutes sortes d'emballages : tous les formats, toutes les formes géométriques, tous les types de matériaux d'emballage.
- ils offrent une très bonne fiabilité
- ils sont faciles à nettoyer.

Inconvénients

- A chaque nouvelle stérilisation, le conserveur doit auparavant effectuer une purge et faire chauffer l'autoclave.

2.3.2.2 Les autoclaves continus

A l'image des autoclaves discontinus, les autoclaves continus ont tous le même mode de fonctionnement décrit de la manière suivante : les emballages, disposés les uns à côté des autres (ici il n'est pas possible de les superposer) dans des containers cylindriques et percés (afin de laisser les fluides caloporteurs circulés) voyagent de zone en zone. Chaque zone correspond à une étape du traitement thermique. Par ailleurs, lorsque les emballages passent d'une zone à une autre qui n'a pas la même pression, ils doivent obligatoirement passer par un sas qui est installé entre ces deux zones. Actuellement, deux types de sas existent : les sas mécaniques et les sas liquides.

Actuellement, il existe sur le marché de nombreux types d'autoclaves discontinus. Les plus typiques sont l'autoclave vertical statique « Carvallo », l'autoclave rotatif horizontal « Sterilmatic » ou l'autoclave rotatif horizontal « Stériflamme » (annexe 4). Cependant tel qu'il l'a été précisé auparavant, il semble plus intéressant de développer le fonctionnement de l'autoclave de La Maison des Pâtures que l'ensemble des autoclaves continus précédemment cités. Cette description est détaillée dans la seconde partie de ce rapport.

▪ Quels sont les avantages et les inconvénients des autoclaves discontinus ?

Avantages

- ils demandent une faible main d'œuvre
- ils consomment moins d'énergie que les autoclaves discontinus parce qu'ils sont thermiquement en état stationnaire, donc il n'y a pas besoin de les chauffer avant chaque stérilisation

Inconvénients

- ils peuvent occuper une place importante au sol (autoclave horizontal) ou en hauteur (autoclave vertical). Par exemple, l'autoclave « Carvallo » mesure 15 m de haut.
- ils ne peuvent pas stériliser des produits alimentaire emballés dans des boîtes en plastique souples ou fragiles parce qu'elles ne résisteraient pas face aux chocs lors des changements de zone. Par exemple, l'autoclave « Stériflamme » peut stériliser que des produits alimentaires emballés dans des boîtes en métal rondes à fonds renforcés.

Comment choisir entre un autoclave continu et un autoclave discontinu ? L'autoclave continu est plus adapté aux grandes industries de la conserve qui fabriquent en grande quantité une gamme limitée de produits. En effet, cet autoclave a été conçu pour stériliser beaucoup de produits en peu de temps (environ 200 à 600 emballages par minute). L'autoclave discontinu convient mieux à des petites entreprises qui stérilisent plusieurs types d'emballages différents.

2.3.2.3 Le fonctionnement d'un autoclave

La stérilisation de produits alimentaires à l'aide d'un autoclave se déroule en 4 étapes (cf. figure 4) à savoir :

- la purge,
- la montée en température,
- le palier de stérilisation,
- le refroidissement et la détente de la pression.

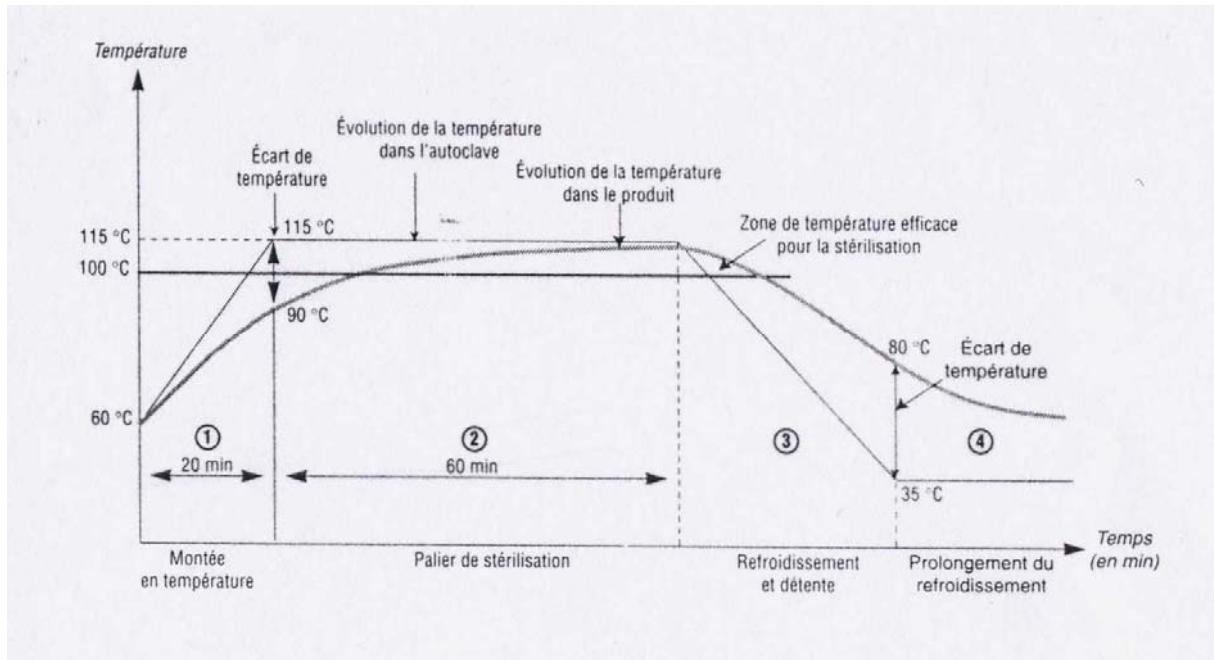


Figure 4 : Cycle d'un autoclave

▪ La purge

La purge consiste à enlever l'air présent initialement dans l'autoclave en introduisant de la vapeur tout en laissant ouverte une des purges. Cette démarche est obligatoire lorsque le conserveur utilise un autoclave discontinu. Si cette démarche n'est pas effectuée, elle peut engendrer des conséquences négatives. En effet :

- si l'autoclave fonctionne avec de la vapeur comme fluide caloporteur, la présence d'air peut d'une part diminuer la rapidité du transfert de chaleur et d'autre part augmenter la valeur stérilisatrice des boîtes situées en haut de l'autoclave par rapport aux boîtes situées au fond. En effet, l'eau étant plus lourde que la vapeur s'accumule au fond de l'autoclave ce qui entraîne une différence de traitement thermique entre les boîtes.
- si l'autoclave fonctionne avec de l'eau comme fluide caloporteur, la présence d'air peut déformer l'aspect des boîtes de conserve. En effet, l'air entraîne une pression supérieure à celle qui règne en présence de vapeur saturante pure. De ce fait il existe un déséquilibre entre la pression à l'intérieur et à l'extérieur des boîtes et celles-ci risquent ainsi s'écraser à cause de la surpression externe.

▪ La montée en température

A partir de cette étape, toutes les enceintes de l'autoclave sont complètement fermées. La température est contrôlée par une vanne régulée de vapeur. L'objectif est d'avoir une montée en température la plus rapide possible pour limiter la cuisson du produit. Pour cela, il est conseillé aux conserveurs de mettre des produits chauds dans l'autoclave plutôt que des produits froids. Les schémas ci-dessous montrent la différence entre une montée en température au cœur du produit avec des produits chauds et des produits froids.

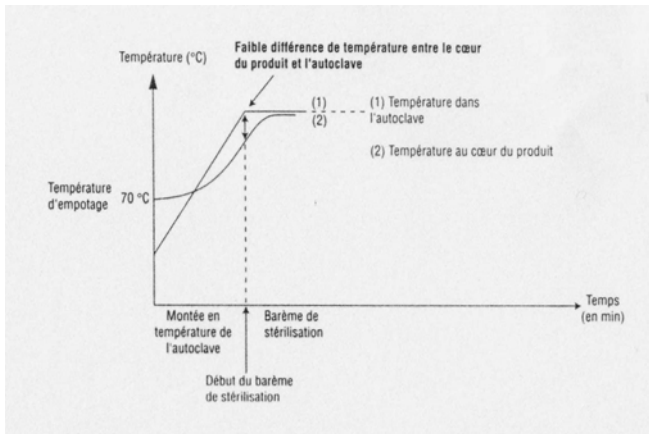


Figure 5 : Empotage des produits à chaud

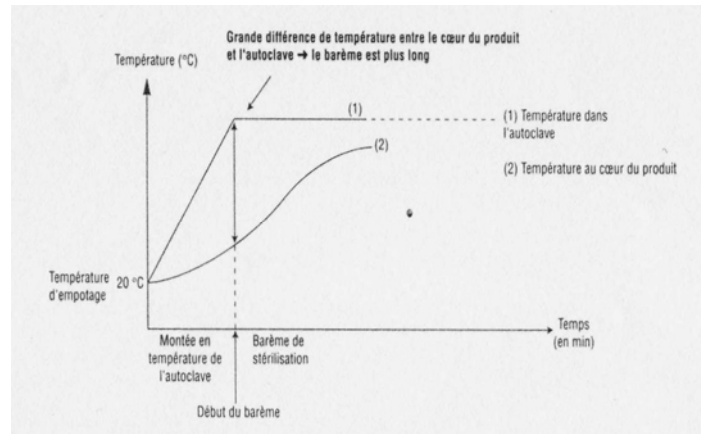


Figure 6 : Empotage des produits à froid

D'après la figure 4 , on remarque que la température au cœur du produit monte moins rapidement que la température dans l'autoclave. Cette situation s'explique par les transferts de chaleur qui sont progressifs. En effet, tel qu'il l'a été énoncé auparavant, le transfert de chaleur se déroule en deux étapes. Tout d'abord, il y a une migration de chaleur à travers la paroi de l'emballage puis une migration de la chaleur dans le produit.

- Le palier de stérilisation

Le palier de stérilisation se définit comme le maintien d'une température définie pendant un temps défini. Cette étape a pour but de détruire l'ensemble des formes végétatives et sporulées des microorganismes. Pour éviter les risques d'explosion des emballages fragiles tels que les boîtes en polyéthylène, il est nécessaire que la pression interne de l'autoclave soit légèrement supérieure à la pression vapeur saturante de l'autoclave. Par ailleurs, plus la température de stérilisation est élevée, plus la pression interne de l'autoclave l'est aussi. Cette surpression assure une bonne étanchéité des bouchons dans la mesure où elle plaque la capsule sur le bocal. A l'image de la situation pendant de la montée en température, lors de cette étape, la montée en température de l'autoclave est plus rapide que la montée en température au cœur du produit à cause des transferts de chaleur qui nécessitent plus de temps.

- Le refroidissement et la détente de la pression

L'objectif est de refroidir le produit le plus rapidement possible pour stopper la cuisson. Les transferts de chaleur étant toujours progressifs, il existe une différence entre la température dans l'autoclave et la température au cœur du produit. Cependant, au refroidissement, la température dans l'autoclave diminue plus rapidement que celle au cœur du produit.

Par ailleurs, à cette étape, dès l'arrivée d'eau froide, la pression de l'autoclave chute et devient inférieure à la pression dans la boîte tel qu'on peut le constater dans la figure 7 ci-dessous. Ceci peut entraîner des conséquences néfastes sur l'intégrité des emballages. Les capsules peuvent se détacher des bocaux, les boîtes métalliques peuvent se bomber et les bocaux en verre peuvent exploser. Pour maîtriser le refroidissement et la détente de la pression, une « contre-pression » d'air comprimé est administrée dans l'autoclave avant l'arrivée d'eau froide. Celle-ci fait contrepoids au déficit de la pression de l'autoclave.

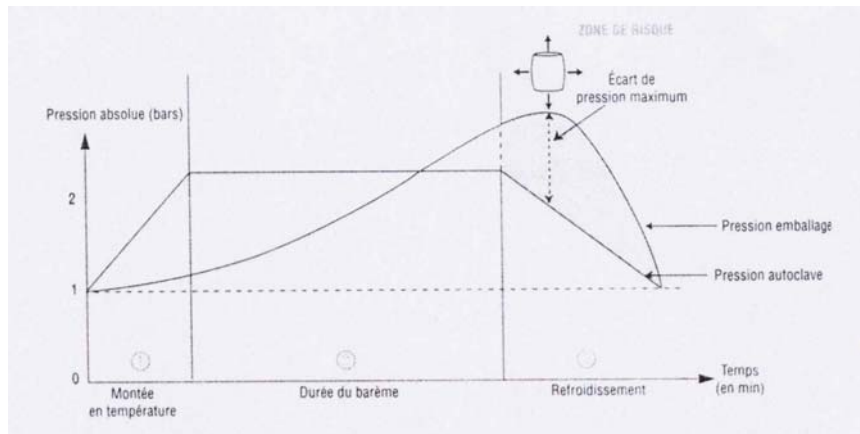


Figure 7 : Evolution des pressions dans l'autoclave et le produit au refroidissement

2.4 LES ORGANISMES DE VALIDATION

Afin de contrôler les barèmes de stérilisation et d'informer les conserveurs sur leurs droits et leurs devoirs, deux organismes ont été mis en place. En voici une description :

2.4.1 Les centres techniques

- Le Centre Technique de la Conservation des produits Agricoles (C.T.C.P.A)

Le C.T.C.P.A est un organisme technique au service des professionnels de l'agroalimentaire. Il a été créé en 1950 par les fabricants des produits appertisés de :

Fruits, légumes et champignons appertisés

Plats cuisinés appertisés,

Foie gras appertisés et pasteurisés,

Produits agricoles déshydratés et lyophilisés.

Le C.T.C.P.A effectue de nombreuses missions, qui se décomposent en des recherches menées sur des sujets d'utilité commune, la mise en place de la réglementation et de la normalisation, la disponibilité pour renseigner toutes entreprises ayant besoin d'information et la mise en place d'actions qualité en partenariat avec des acteurs locaux, régionaux,

nationaux et européens. A cela s'ajoute des activités contractuelles (recherches privées pour les entreprises, analyses des produits et analyses sensorielle...

Pour bénéficier de l'aide du C.T.C.P.A, les conserveurs doivent payer une cotisation. Le C.T.C.P.A propose :

- Des analyses de stabilité et de stérilité,
- Une assistance technologique : audit de conserverie avec risque hygiénique et validation de barèmes d'appertisation,
- La mise au point ou l'adaptation de barèmes vus au cas par cas,
- Des formations techniques sur l'autoclave, les barèmes d'appertisation et la méthode HACCP.

- Le Centre Technique de la Salaison, de la Charcuterie et des conserves de Viandes (C.T.S.C.C.V)

Tout comme le C.T.C.P.A, le C.T.S.C.C.V est un organisme technique au service des professionnels de l'agroalimentaire. Créé en 1954, le C.T.S.C.C.V intervient sur les produits de charcuterie, salaisons, conserves de viandes et d'abat (à l'exclusion des foies gras, gibiers et plats cuisinés .)

Tout comme le C.T.C.P.A, le C.T.S.C.C.V conduit à des travaux d'intérêt collectif de recherche et développement. Il apporte également son appui technique aux organisations professionnelles, notamment en matière de normalisation et de réglementation. Il est le rédacteur et le garant du « Code des usages de la Charcuterie » qui définit les produits, leur composition et leur moyen de contrôle. Il répond par ailleurs, à titre individuel, aux besoins des entreprises.

Pour bénéficier de l'aide du C.T.S.C.C.V, les conserveurs doivent payer une cotisation. Le C.T.S.C.C.V propose :

- Des conseils et informations techniques gratuites ou réglementaires.
- Tout type d'analyses
- Assistance technologique
- Mise au point ou adaptation de barèmes de stérilisation au cas par cas.
- Formation à la carte (technologie, hygiène, HACCP,...)

A côté de ces centres techniques, des interlocuteurs institutionnels ont été conçus afin de contrôler le respect du consommateur (hygiène, appareils utilisés...) ainsi que le respect des lois (de la fabrication à la vente).

2.4.2 Les interlocuteurs institutionnels

- Les Directions des services Vétérinaires (D.S.V)

Sous l'autorité de la Direction générale de l'alimentation (sous direction de l'hygiène alimentaire), les D.S.V sont chargées d'appliquer la politique de l'alimentation protégeant les

consommateurs. Elles s'occupent des problèmes hygiéniques et sanitaires à tous stades : depuis le cheptel jusqu'aux points de vente.

- La Direction Générale de la Consommation, de la Concurrence et de la Répression des Fraudes (D.G.C.C.R.F)

La DGCCRF a pour mission générale de veiller au bon fonctionnement du marché. Elle assure la sécurité du consommateur par des contrôles des produits et veille au respect des transactions et de l'information des consommateurs (utilisation d'additifs, auxiliaires technologiques, vérification de la composition par rapport aux dénominations des produits, etc.)

Elle contrôle les réglementations à tous les stades de la production jusqu'à la commercialisation. Elle contrôle la bonne utilisation des signes de qualité et surveille les pratiques commerciales.

Les contrôles à mettre en place sur le produit fini servent à vérifier que le produit aux spécifications spécifiées au préalable. Celles-ci pouvant être soit des exigences réglementaires, soit contractuelles comme par exemple le contrôle des caractéristiques de la qualité.

- Les contrôles de stabilité

Parmi les contrôles effectués par les organismes (C.T.C.P.A et C.T.S.C.C.V) sont effectués les tests de stabilité.

La méthode de référence réglementaire⁶ pour les produits de pH supérieur à 4,5 fixe une incubation à 32°C ± 1 pendant 20 jours et à 55°C pendant 7 jours.

Cependant des contrôles peuvent être effectués par le fabricant lui-même. Dans ce cas, il doit appliquer un étuvage de ses produits pendant sept jours à 32°C ± 1 et pendant sept jours à 55°C ± 2. Le défaut de stabilité biologique à la température de 37°C doit entraîner la consignation du lot correspondant. Quant au défaut de stabilité à 55°C doit conduire le responsable de la fabrication à prendre les mesures nécessaires afin d'améliorer les conditions hygiéniques de fabrication.

A l'issue de ces deux contrôles, aucun bombage ou fuite ne doit être constaté sur la conserve. De plus la variation de pH entre les produits étuvés et les produits non étuvés témoins (laissés à la température ambiante du laboratoire inférieure à 25°C) doit être en dessous de 0,5 unités. Si un écart est observé, un examen microscopique de la flore microbienne est effectué.

⁶ Arrêté du 26 Septembre 1985 modifié relatif au contrôle de la stabilité des conserves (*JORF* du 4 octobre 1985)

- contrôle de la stabilité biologique des conserves de pH 4,5 AFNOR NF V 08-401-1976.
- contrôle de la stabilité biologique des conserves de pH 4,5 AFNOR NF V 08-402-1977.

Il existe cependant d'autres contrôles qui sont mis en place dans des cas spécifiques (recherche de la relation barème de stérilisation qualité organoleptique du produit par exemple). Parmi ceux-ci il y a :

- Mesure du pH pour les produits non acides-acidifiés,
- Mesure de la viscosité,
- Mesure du rapport solide-liquide,
- Mesure de la matière sèche soluble.

Tout autre paramètre susceptible de révéler un risque non maîtrisé fera l'objet des contrôles nécessaires.

3 OPTIMISATION DU BAREME D'APPERTISATION DE L'AUTOCLAVE DE LA MAISON DES PATURES

3.1 RAPPEL DU PROBLEME ET DE NOTRE OBJECTIF

Avant de déterminer le barème temps/température que nous avons retenu, rappelons en quelques mots le problème de La Maison des Pâtures ainsi que notre objectif. A quelques reprises des clients de La Maison des Pâtures ont signalé que les cuisses de canard cuisinées se démêlaient trop lorsqu'ils faisaient réchauffer leur plat, c'est-à-dire que la viande se détachait de l'os. Bien que cela n'altère en rien les qualités organoleptiques et sanitaires du produit, cela engendre quelques désagréments. En effet, les cuisses de canard baignent dans une sauce, de ce fait en se détachant de l'os en plusieurs petits morceaux, la viande s'imbibe plus facilement et plus rapidement de sauce. Par conséquent, elle devient moins présentable.

La Maison des Pâtures conditionne ses produits appertisés dans des bocaux en verre sous deux types de formats à savoir 360g et 720g. Ces bocaux en verre sont fermés par des bagues EUROCAP (les caractéristiques de ces bagues se trouvent à la page 17). Cependant pour des raisons de coûts et de production, l'entreprise ne peut pas se permettre de faire un autoclave pour chaque type de format ce qui signifie que les deux formats subissent le même barème de stérilisation. Ainsi, le problème que nous venons de citer est d'autant plus important que le format du bocal est petit.

Comment expliquer ce problème ? La Maison des Pâtures applique un barème de stérilisation lourd à savoir de 115°C pendant 80 minutes, les produits sont donc surcuits.

Notre objectif vise à proposer un nouveau barème de stérilisation qui améliorerait la texture du produit, c'est-à-dire obtenir un produit cuit mais où la viande reste attachée à l'os. Pour cela, il nous faut « jouer » sur les deux données qui sont à notre disposition : la température et le temps.

Par ailleurs, d'après une note de la DGAL (annexe 5) parue le 1^{er} Avril 2003, le fabricant a le choix entre deux options pour établir le barème de stérilisation qu'il souhaite adapter à son autoclave soit il se réfère aux barèmes issus du recueil du C.T.C.P.A soit il adopte son propre barème qu'il fera valider par des experts du C.T.S.C.C.V. En effet, depuis la directive 95/68/CEE du conseil du 22 décembre 1995, l'obligation d'atteindre au cœur du produit une valeur stérilisatrice minimale de 3 minutes à 121,1°C fut abrogée. Ainsi, le fabricant n'est plus soumis à une obligation de moyen mais à une obligation de résultat. Cette loi appliquée à La Maison des Pâtures signifie qu'elle est entièrement responsable de son mode de stérilisation. C'est pourquoi, il est vivement recommandé d'effectuer des autocontrôles, des tests de stabilité et des tests microbiologiques parce que ce sont les seuls documents qui font

office de preuve en cas de litige. Cependant, à l'heure actuelle, la valeur stérilisatrice de 3 minutes reste tout de même une donnée de référence pour les conserveurs. Ainsi, en ce qui nous concerne, nous avons le libre arbitre pour optimiser le barème d'appertisation des cuisses de canard dans la mesure où nous commercialisons un produit sans aucun danger pour les consommateurs.

3.2 MATERIEL A NOTRE DISPOSITION

3.2.1 Le matériel d'analyse

Pour mener à bien notre objectif, nous avons besoin de matériel. Plusieurs possibilités s'offraient à nous :

Tout d'abord, nous avons pris contact avec le C.T.C.P.A pour optimiser les barèmes de stérilisation appliqués aux cuisses de canard cuisinées. Or, étant donné que cet organisme mettait à notre disposition un expert ainsi que du matériel informatique d'analyse, nous n'aurions pas pu entreprendre les démarches d'optimisation nous-mêmes. Ainsi nous avons décidé d'un commun accord avec La Maison des Pâtures de ne pas travailler en collaboration avec cet organisme parce qu'il travaille seul.

Ensuite, nous avons pris contact avec Mr Fertin, professeur en Génie Industriel Alimentaire à l'IUT de la cité scientifique de Villeneuve d'Ascq. L'IUT disposant d'un autoclave, deux techniques de travail s'offraient à nous :

- nous aurions pu travailler à l'IUT : il aurait fallu ramener des bocaux de La Maison des Pâtures et les analyser à l'IUT,
- nous aurions déplacé le matériel, soit l'autoclave, les sondes, le système d'acquisition des données, etc., afin de l'installer à La Maison des Pâtures.

La proposition semblait intéressante, cependant La Maison des Pâtures refusa cette option pour deux raisons :

- Le dirigeant préfère optimiser le barème d'appertisation à partir de son autoclave parce que nous n'aurions pas pu reproduire à l'identique les conditions expérimentales de l'autoclave de La Maison des Pâtures dans l'autoclave de l'IUT. En effet, dans l'autoclave de La Maison des Pâtures, la phase de la montée en température s'effectue de 1°C par minute tandis que dans l'autoclave de l'IUT nous n'aurions pu obtenir au minimum 3°C par minute.
- Par ailleurs, il est plus intéressant de travailler directement avec l'autoclave de La Maison des Pâtures parce que nous sommes en condition réelle. De plus, cette option est plus avantageuse pour notre artisan parce que s'il souhaite un jour à nouveau changer son barème d'appertisation, il aura acquis le savoir-faire nécessaire pour effectuer cette démarche.

Enfin, nous avons pris contact avec la société ELLAB, société spécialisée dans la vente et la location de sondes embarquées ou « logger ». Ces sondes sont conçues pour travailler dans

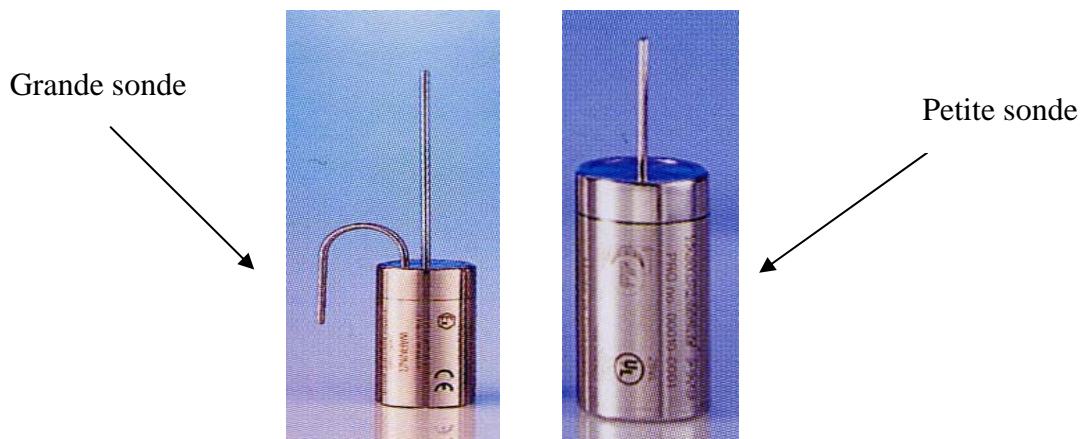
des conditions extrêmes. Chaque sonde est équipée de canaux multiples ayant une capacité de stockage de 30 000 points d'enregistrement.

Bien que dans un avenir proche, La Maison des Pâtures ne souhaite pas faire un autoclave pour chaque type de format, nous avons pris l'initiative de déterminer le barème de stérilisation à appliquer pour améliorer la texture des cuisses de canard cuisinées pour chaque type de format. Nous avons décidé d'effectuer ce travail supplémentaire afin d'évaluer la différence de cuisson entre un bocal de grand format et celui de petit format. Cependant, lors de notre démarche expérimentale dans l'autoclave, nous n'appliquerons que le barème calculé pour la grande boîte. De ce fait, nous sommes conscientes que ce barème ne sera pas adapté aux bocaux de petit format : les petits bocaux seront encore surcuits par rapport aux grands bocaux.

Travailler avec la société ELLAB était de loin la solution la plus adaptée à notre cas, c'est pourquoi nous avons décidé de lui louer deux types de sondes embarquées à savoir :

- une sonde de petite taille destinée à être empotée dans un bocal de 360 g. Cette sonde enregistre la température au cœur du produit durant tout le cycle de l'autoclave.
- une sonde de grande taille à deux capteurs destinée à être empotée dans un bocal de 720 g. Cette sonde enregistre deux paramètres soit :
 - Un capteur qui enregistre la température au cœur du produit
 - Un capteur qui enregistre la température de l'autoclave

Les caractéristiques de ces deux sondes sont décrites ci-dessous :



Gamme de mesure : 0°C à 140°C

Précision : ±0,1°C

Echantillonnage : de 1 sec à 24 heures

Démarrage : manuel ou automatique

Le fait que ces sondes embarquées peuvent être programmées à distance pour leur démarrage et leur arrêt est intéressant et pratique, dans la mesure où cela évite à un expert de la société de se déplacer pour les mettre en marche.

3.2.2 L'autoclave de La Maison des Pâtures

L'autoclave de La Maison des Pâtures est un autoclave discontinu statique vertical (cf. schéma 8 ci-contre). Les fluides caloporteurs sont l'eau et la vapeur. Seul Monsieur Pierchon, dirigeant de l'entreprise, qui a suivi une formation chez la société Auriol (fabricant de cet autoclave) est habilité à faire fonctionner l'autoclave. Ainsi pour chaque autoclavage, Mr Pierchon suit la démarche suivante :

- **1^{ère} Etape** : afin de gagner du temps, pendant le capsulage des bocaux, Mr Pierchon met l'autoclave en marche ce qui signifie qu'il remplit le fond de la cuve d'eau, met le brûleur en marche et règle le barème de stérilisation qu'il souhaite adopter. La température de l'eau est toujours entre 50°C et 60°C. Monsieur Pierchon prend garde à ce qu'elle ne soit pas plus élevée parce que les bocaux pourraient se casser lorsqu'ils seraient introduit dans l'autoclave. Ceci à cause du choc thermique soit une trop grande différence entre la température des bocaux et la température de l'eau dans l'autoclave.
- **2nde Etape** : au fur et à mesure que Mr Pierchon met les bocaux dans la cuve de l'autoclave, il fait monter progressivement le niveau d'eau afin d'avoir une température d'eau constante. Normalement tel que nous l'avons décrit à la page 21, dans les autoclaves discontinus, les produits alimentaires emballés sont disposés dans des paniers qui sont placés dans l'autoclave. Cependant l'autoclave de La Maison des Pâtures ne possède pas de paniers, les bocaux sont directement placés dans la cuve. Seuls des intercalaires troués sont placés entre chaque rangée de bocaux afin de laisser placer les fluides caloporteurs.
- **3^{ème} Etape** : Mr Pierchon recouvre les bocaux d'eau (le niveau d'eau est d'au moins 5 cm au-dessus de la plus haute rangée de bocaux), ferme l'autoclave, les purgeurs et règle la contre-pression. La décharge pour la contre-pression à régler est égale à la pression obtenue lors de la température de stérilisation plus 0,500 bar. Ainsi sachant qu'à la température de stérilisation soit 116°C, la pression est de 0,750 bar, Mr Pierchon règle la décharge à 1,250 bar (0,500+0,750).
- **4^{ème} Etape** : l'autoclave fait son cycle en deux étapes à savoir :
 - Lorsque la température de consigne est atteinte, la minuterie se déclenche et décompte le temps. La flamme se met périodiquement au ralenti et se rallume.
 - Lorsque la minuterie atteint zéro, le voyant de stérilisation s'éteint.
- **5^{ème} Etape** : cette étape est celle du refroidissement. L'eau froide est introduite par le haut de l'autoclave avec un déflecteur pour éviter les chocs thermiques sur les bocaux. L'autoclave se refroidit progressivement, la pression interne de l'autoclave reste la même. Dès que la température de l'autoclave est en dessous de 30°C, Mr Pierchon effectue une première vidange. Puis il ouvre le couvercle de l'autoclave et remet aussitôt de l'eau froide

pour terminer le refroidissement total. Enfin il fait une vidange totale de l'autoclave et sort les bocaux.

3.3 DEMARCHE EXPERIMENTALE

3.3.1 Produits analysés

Lors de notre premier essai nous avons analysé des cuisses de canard cuisinées à l'orange. Cette recette est établie de la façon suivante : les cuisses de canard sont dégraissées et braisées (3h00 à 4h00 à 100°C dans le chaudron) la veille de l'autoclavage et introduites dans une chambre froide à 4°C pendant une journée.

Le fond cuisiné est réalisé le jour même de la stérilisation. Il est réalisé par l'intermédiaire de carcasses ainsi que de divers légumes. La sauce est ensuite portée pendant une heure à ébullition puis filtrée. On l'assemble avec les fruits (ici des oranges) que l'on cuit. Le tout est mixé et épaissi avec de l'amidon modifié ajouté avant jutage sur les cuisses de canard et les fruits. Lors de cette dernière étape, la sauce doit être la plus chaude possible. La préparation est ensuite capsulée et stérilisée.

Mr Pierchon a fabriqué les produits utilisés lors de notre essai dans des conditions extrêmes. En effet, il est important d'appliquer des barèmes sûrs qui puissent être utilisables dans toutes les situations. Ainsi, les canards utilisés pour la préparation de notre recette ont été abattus 10 jours auparavant, alors que habituellement les canards sont abattus 4-5 jours avant.

Notre premier essai à été effectué le 28 Janvier 2004

Température initiale de la grande boîte : 14,52°C

Température initiale de la petite boîte : 19,46°C

pH= 4,4

Variabilité de contenance : ±20%

Contenance d'une grande boîte (poids brut) : environ 1 200g

Contenance d'une petite boîte (poids brut) : environ 600 g

Poids moyen d'une cuisse de canard : 200 g

3.3.2 Description de la démarche

L'optimisation des barèmes d'appertisation passent tout d'abord par l'étude du cycle de stérilisation utilisé habituellement. Ensuite, après avoir déterminé toutes les caractéristiques nécessaires du produit, nous envisagerons l'optimisation à travers des modèles prédictifs. Un essai en autoclave sera enfin réalisé afin de valider les barèmes prévisionnels.

Pour mener à bien notre objectif, nous avons adopté une démarche qui se déroule en plusieurs étapes décrites ci-dessous :

- **1^{ère} ETAPE** : nous avons effectué un premier « autoclavage » de cuisses de canard cuisinées conditionnées dans des bocaux en verre de 360 g et de 720 g avec le barème de stérilisation que La Maison des Pâtures utilise depuis 20 ans. Pour chacun des formats, il y a un bocal témoin c'est-à-dire un de 360 g qui contient la petite sonde et un de 720 g qui contient la grande sonde. Pour être sûr d'obtenir la température au cœur du produit, nous avons planté la sonde au centre de la cuisse soit le point le plus froid de la boîte. Lors de cette première étape, un expert de la société ELLAB est venu installer les sondes embarquées. Elles ont donc commencé à enregistrer les données quand nous les avons mises dans l'autoclave.
- **2^{ème} ETAPE** : à la fin du cycle de l'autoclave, nous avons envoyé les sondes embarquées à la société ELLAB pour qu'elle nous renvoie les résultats. Nous avons reçu un fichier représentant de manière graphique et écrite, l'évolution de la température en fonction du temps ainsi que la valeur stérilisatrice (annexe 6). Nous avons programmé les sondes pour qu'elles enregistrent l'évolution toutes les 30 secondes. Grâce à ces données, nous avons pu effectuer les calculs nécessaires pour déterminer la valeur stérilisatrice et les caractéristiques de transferts de chaleur à travers le produit. Nous en avons alors déduit le nouveau barème d'appertisation à l'aide d'un calcul prédictif.
- **3^{ème} ETAPE** : nous avons effectué un second « autoclavage » de cuisses de canard cuisinées conditionnées dans des bocaux en verre de 360 g et de 720 g avec le barème de stérilisation que nous avons obtenu suite à nos calculs prédictifs. Lors de cette étape, nous avons aussi deux bocaux témoins : un de 360 g qui contenait la petite sonde et un de 720 g qui contenait la grande sonde. Au cours de cet « autoclavage », les sondes embarquées ont été préprogrammées pour leur démarrage et leur arrêt à distance.
- **4^{ème} ETAPE** : à la fin de « l'autoclavage », nous avons envoyé les sondes embarquées à la société ELLAB pour qu'elle nous transmette les résultats (annexe 7) avec le barème obtenu grâce aux calculs prédictifs. Nous avons à l'image de la première fois reçu un fichier avec un graphe et un fichier écrit décrivant l'évolution de la température en fonction du temps pour chacune des bocaux témoins.
- **5^{ème} ETAPE** : à la réception de ces fichiers, nous avons effectué des calculs pour déterminer la nouvelle valeur stérilisatrice, la valeur cuisatrice du produit. De plus nous voulions vérifier que les transferts de chaleur s'effectuaient bien de la même manière par rapport au premier autoclavage.
- **6^{ème} ETAPE** : La Maison des Pâtures a envoyé quelques bocaux de deux formats au C.T.C.P.A afin d'effectuer des tests de stabilité. A l'heure actuelle, nous n'avons toujours pas reçu les résultats c'est pourquoi nous ne pouvons pas les mettre dans le présent rapport.

- **7^{ème} ETAPE** : pour savoir si nous avons atteint notre objectif à savoir améliorer la texture des cuisses de canard cuisinées, il aurait fallu effectuer un test d'analyse sensorielle suite à nos essais. Ces tests auraient pu être de deux formes soit un test triangulaire soit un test duo-trio en comparant un échantillon des cuisses de canard cuisinées issu du second « autoclavage » avec un échantillon de cuisses de canard cuisinées issu d'un « autoclavage » précédent. Le critère que nous aurions pu comparer aurait été celui de la tendreté. A cette analyse sensorielle, il aurait pu être effectué des mesures physiques sur ce même critère à l'aide d'un pénétromètre. Cependant, il existe un écart entre ce qu'il est possible de faire et ce qu'il était conseillé de faire. Ainsi Mr Pierchon n'était pas intéressé pour effectuer des tests d'analyse sensorielle parce qu'il préfère estimer lui-même la qualité organoleptique de ses produits. Au niveau des mesures physiques, il nous était impossible de les effectuer principalement par manque de temps. Cependant La Maison des Pâtures nous a proposé de comparer les cuisses de canards cuisinées provenant du premier « autoclavage » avec celles issues du second « autoclavage ».

3.4 ANALYSE DES RESULTATS

3.4.1 Etude du cycle de stérilisation utilisé

Le calcul de valeurs stérilisatrices et du barème de stérilisation nécessite la réalisation d'un essai durant lequel on enregistre la température au point le plus froid, dans notre cas les cuisses de canard, pendant toute la durée du traitement thermique.

Suite à l'essai réalisé, on dispose de 3 méthodes.

- La méthode de Bigelow (1920) est basée sur la courbe d'évolution obtenue de la température en fonction du temps. Elle ne nécessite pas de connaître les facteurs f et j , caractéristiques du transfert de chaleur dans le produit.
- La seconde est basée sur ces facteurs et requiert l'usage de tables calculées par Ball et Olson (1957) : c'est la méthode « de la formule » ou méthode de Ball.
- La troisième est une variante de la méthode de Ball. Cette méthode est la méthode de Stumbo (1966) qui inclut des tables prenant en compte les différentes valeurs de j_c .

Que l'on emploie l'une ou l'autre des méthodes, il faudra de toute façon valider l'estimation du temps de barème par un nouvel essai, car ces méthodes sont basées sur des modèles mathématiques qui ne reflètent pas à 100% notre produit. Ces méthodes permettent donc de réduire le nombre d'essai, mais pas de s'en passer.

3.4.1.1 Calcul de la valeur cuisatrice

A titre de rappel, la valeur cuisatrice s'exprime par :

$$C_Z^{\text{Tréf}} = \sum L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L = 10^{\frac{T - T_{\text{réf}}}{Z}}$

Avec $T_{\text{réf}} = 100^\circ\text{C}$

$Z = 30^\circ\text{C}$

T les températures relevées à des intervalles de temps Δt dans le produit

En pratique, cela revient à tracer la courbe $L(T) = f(t)$ et à faire la somme des traitements élémentaires à la température T pendant la durée Δt pour toute la montée en température, et le refroidissement.

Application à notre cas :

Les températures ont été mesurées avec une fréquence de 30 secondes. Ainsi, notre Δt correspond à 30 s, soit 0,5 minute.

Après avoir calculé les L_i correspondant aux températures, on applique la formule $\sum_i L_i \cdot \Delta t$ pour chaque prise de température ($\Delta t = 0,5 \text{ min}$).

On en déduit les résultats suivants :

- **Pour la grande boîte :** $C_Z^{\text{Tréf}} = 154,20 \text{ min}$
- **Pour la petite boîte :** $C_Z^{\text{Tréf}} = 335,74 \text{ min}$

3.4.1.2 Calcul de la valeur stérilisatrice selon la méthode de Bigelow

3.4.1.2.1 Définition

Cette méthode doit être considérée comme la méthode de référence car elle s'appuie sur la courbe expérimentale $L(\text{Température}) = f(\text{temps})$ et ne fait appel à aucun modèle mathématique ni à la moindre hypothèse de départ.

Elle consiste en la résolution graphique (faite à partir de l'enregistrement de l'évolution de la température à cœur du produit) de la somme :

$$F_Z^{T_{réf}} = \sum_i L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L = 10^{\frac{T_1 - T_{réf}}{Z}}$

Avec : T_1 , la température de palier
 $T_{réf} = 121,1^\circ\text{C}$
 $Z = 10^\circ\text{C}$

Remarque : Il existe de nos jours des enregistreurs-intégrateurs qui calculent automatiquement l'aire d'intégration pour n'importe quelle valeur de Z : c'est le cas des sondes embarquées Ellab.

On peut noter que la « Table de Bigelow » n'est qu'un outil puisque la température T et le facteur de létalité L sont liés par la fonction mathématique ci-dessus.

Seules sont considérées comme létales les températures supérieures ou égales à 100°C (figure 9).

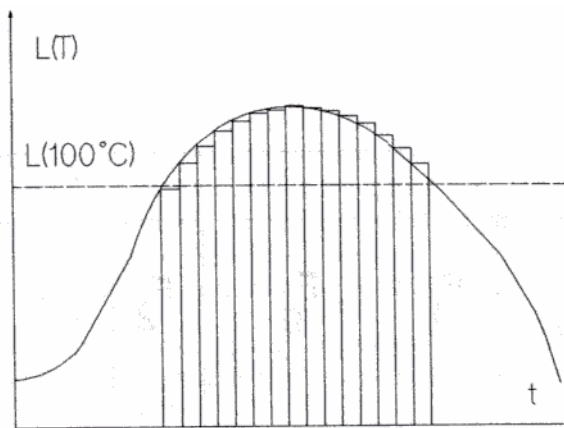


Figure 9 : Aire d'intégration permettant de calculer une valeur stérilisatrice selon la méthode de Bigelow

En pratique, cela revient à tracer la courbe $L(T) = f(t)$ et à faire la somme des traitements élémentaires à la température T pendant la durée Δt depuis 100°C lors de la montée en température, et jusqu'à 100°C lors du refroidissement.

Application à notre cas :

Les températures ont été mesurées avec une fréquence de 30 secondes. Ainsi, notre Δt correspond à 30 s, soit 0,5 minute.

Après avoir calculé les L_i correspondant à une température supérieure ou égale à 100°C, on applique la formule $\sum_i L_i \cdot \Delta t$ pour chaque prise de température ($\Delta t = 0,5$ min).

On en déduit les résultats suivants :

- Pour la grande boîte : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 3,42$ min
- Pour la petite boîte : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 10,85$ min

Le détail des calculs peut être vérifié dans le fichier Excel, associé à notre rapport.

Remarque : Bien que cette méthode soit la plus juste au niveau de la détermination de la valeur stérilisatrice, elle aura pour contre partie une absence totale d'extrapolation. La méthode de Bigelow ne permet d'orienter les essais que dans des conditions fixes : de température initiale, du milieu chauffant, de nature du produit, de géométrie de format, etc. Dès que l'un de ces facteurs varie, Bigelow n'est plus valable. Cet inconvénient majeur explique pourquoi la méthode de Ball est préconisée lorsque l'on recherche un nouveau barème de stérilisation.

3.4.1.3 Calcul de la valeur stérilisatrice selon la méthode de Ball

Il s'agit d'une méthode semi-analytique qui consiste à calculer $F_Z^{121,1^\circ\text{C}}$ à l'aide de la formule suivante :

$$\log \frac{T_1 - T_0}{T_1 - T} = \frac{1}{f_h} t - \log j \quad (3)$$

- Avec :
- T_1 , la température de palier (en °C)
 - T_0 , la température initiale du produit (en °C)
 - f_h , le taux de chauffage (en minutes)
 - j , le facteur de retard au chauffage

Cependant, le calcul de la valeur stérilisatrice à l'aide de la méthode de Ball nécessite la connaissance préalable de plusieurs paramètres :

- Le « Coming Up Time » (CUT), noté t_c (cf. page 39)
- Le temps de palier t_p (cf. page 40)
- Le temps de barème modifié selon Ball t_B (cf. page 40)
- f_h et j_h , f_c et j_c , paramètres intrinsèques de chaque format de boîte de conserve (cf. page 41)
- Le facteur de létalité L (cf. page 48)

3.4.1.3.1 Détermination du CUT

Le CUT se définit par le temps de mise en régime de l'autoclave. En pratique, il est déterminé à partir de la courbe « Température autoclave = f (temps) ». Il représente le temps de montée à la température de barème de l'autoclave et est symbolisé par t_c (figure 10).

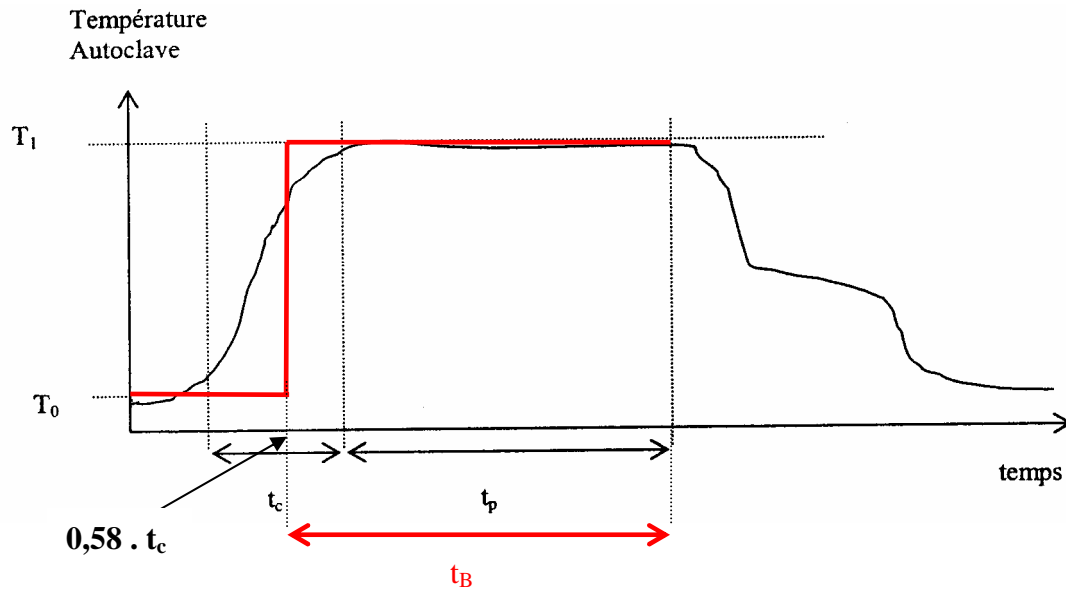


Figure 10 : Détermination graphique de t_c et de t_p

Application à notre cas :

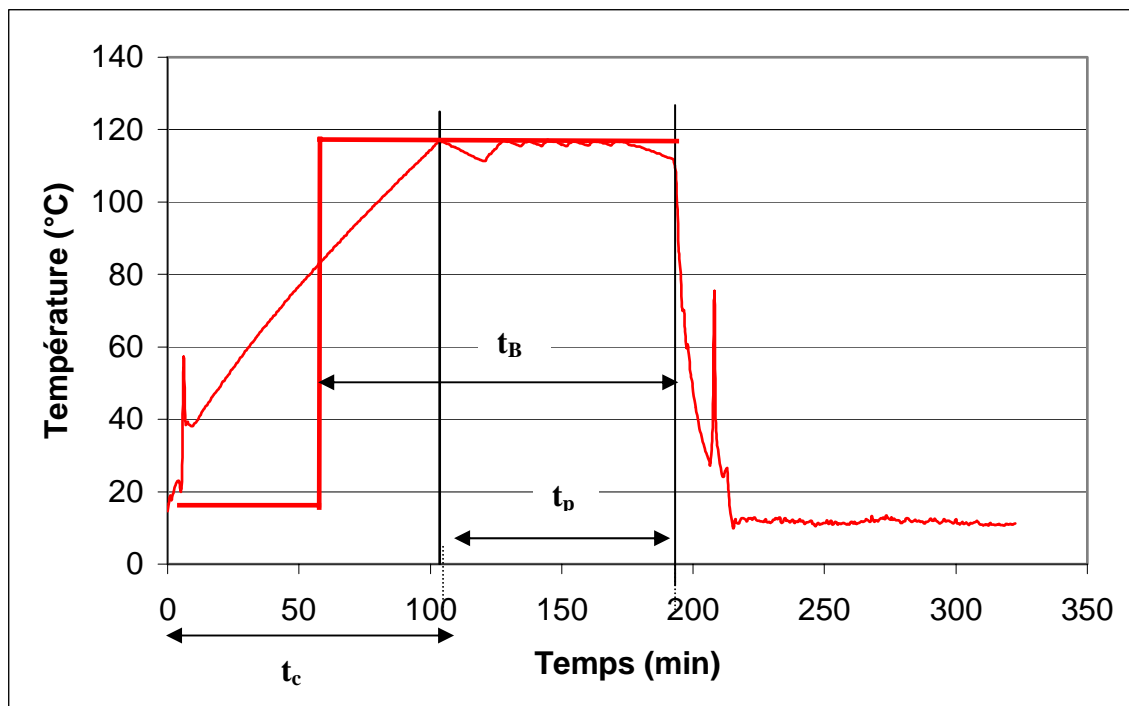


Figure 11 : Evolution de la température de l'autoclave de La Maison des Pâtures en fonction du temps

L'autoclave atteint sa température de palier (116°C) au bout de 103,5 minutes. Ainsi, on trouve dans notre cas, $t_c = 103,5$ min (cf. figure 11).

3.4.1.3.2 Détermination du temps de palier t_p

De la même manière, le temps de palier est déterminé graphiquement.

La température d'ambiance de l'autoclave atteint la température consigne du barème au bout de $t = 103,5$ min.

La phase de refroidissement débute à $t = 182,5$ min.

Donc, dans notre cas, on trouve $t_p = 182,5 - 103,5 = 79$ min

3.4.1.3.3 Calcul du temps de barème modifié selon Ball t_B

Les calculs utilisés par la méthode de Ball supposent que la température du palier de l'autoclave soit atteinte dès le début de la phase de chauffage. Lorsque le délai de mise en régime, ou Coming Up Time (CUT) n'est pas négligeable, il convient d'apporter une correction aux calculs futurs. S'appuyant sur un certain nombre d'expériences, Ball constate que la phase transitoire de mise en régime équivaut à un palier de température constant dont la durée serait égale à 42% du CUT. Tout se passe comme si le chauffage efficace commençait à zéro + 0,58 CUT, c'est-à-dire que l'autoclave atteignait immédiatement la température de palier (116°C) au bout de t_B .

Selon Ball, t_B correspond au temps de chauffage efficace, c'est-à-dire au temps de palier plus la durée égale à 0,42% du CUT.

$$t_B = 0,42. t_c + t_p$$

$$t_B = 0,42.103,5 + 79$$

$$t_B = 122,47 \text{ min}$$

3.4.1.3.4 Détermination de f_h et de j_h

Les valeurs de f et de j caractérisent les évolutions de température dans nos deux types de bocal. Ils vont nous permettre dans un premier temps de calculer la valeur stérilisatrice dans notre produit, et dans un second temps, de faire des calculs prédictifs afin de prévoir le barème de température à appliquer si l'on change les conditions de traitement thermique (température initiale du produit, température de palier de l'autoclave, valeur stérilisatrice à atteindre).

Afin de déterminer les facteurs f et j , les températures T_1 , T_0 , T_a , T_g et T_C doivent être définies (cf. figure 12) :

- T_1 est la température de palier de l'autoclave. Elle est exprimée en °C.
- T_0 est la température initiale de chaque format de boîte de conserve. Elle est exprimée en °C.
- T_a est la température des boîtes au temps correspondant à $0,58 \cdot t_c$. Elle correspond à la température des boîtes de conserve au début du chauffage efficace. Elle peut être nommée température pseudo-initiale. Elle est exprimée en °C.
- T_C est la température de refroidissement, c'est-à-dire celle de l'eau froide. Elle est exprimée en °C.
- T_g est la température à cœur des boîtes au moment où on arrête le chauffage, juste avant le début du refroidissement. Elle est exprimée en °C.

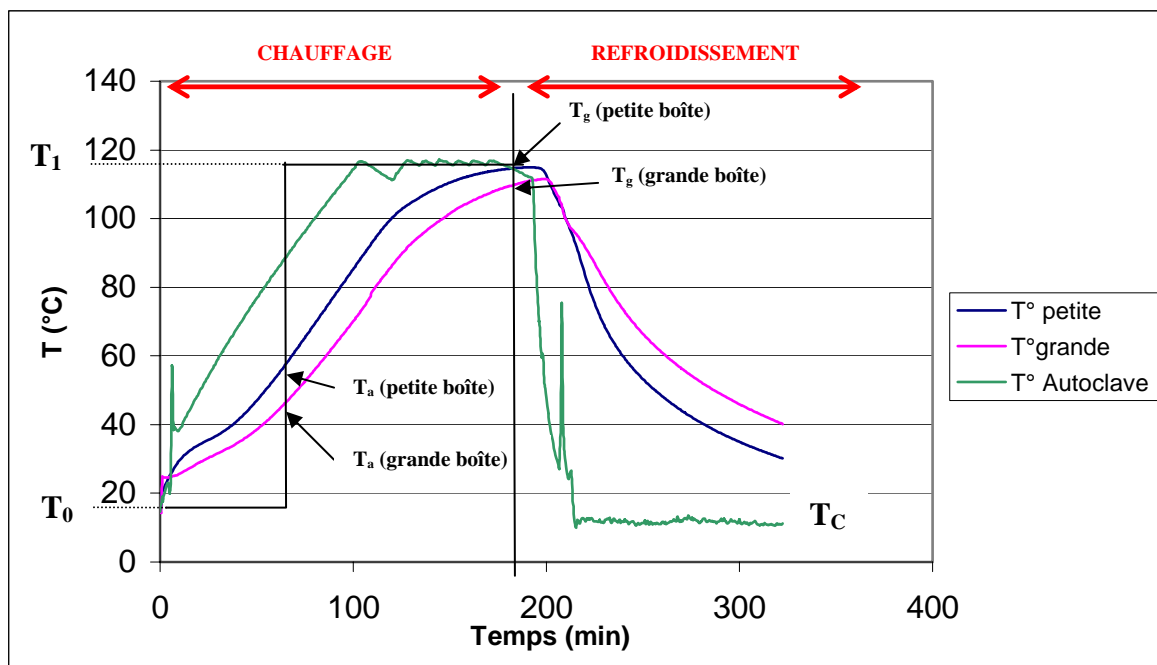


Figure 12 : Evolution des températures au cours d'un traitement thermique

On observe qu'après un temps de latence, la température T du produit à un instant t , évolue d'autant plus vite vers la température T_1 (température de palier de l'autoclave) qu'elle en est éloignée.

Ce type d'évolution vers un équilibre est très courant et est caractérisé par une réduction exponentielle de l'écart à l'équilibre ($T_1 - T$) lorsque T_1 est constante, comme pour notre palier de stérilisation. Ainsi, si on représente $\log(T_1 - T) = f(t)$, on obtient une droite linéaire.

Si on trace $\log(T_1 - T)$ en fonction du temps, on obtient une courbe présentant une allure linéaire (figure 13, ci-après).

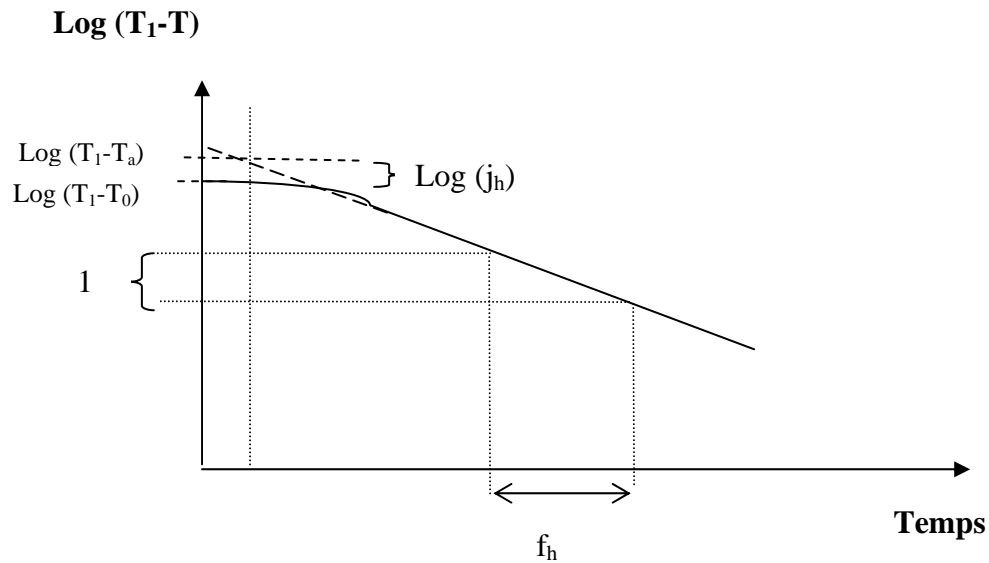


Figure 13 : Evolution de $\log (T_1-T)$ en fonction du temps

Il faut noter que la véritable origine de la courbe est $\log (T_1-T_0)$ et non pas $\log (T_1-T_a)$. Ce décalage noté j , traduit le retard de l'évolution linéaire $\log (T_1-T)$. Il est appelé « effet retard ».

L'effet de retard au chauffage se définit par :

$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

L'effet de retard au refroidissement se définit par :

$$j_c = \frac{T - T_c}{T_g - T_c}$$

- Détermination de f_h

f_h représente le temps nécessaire pour réduire l'écart (T_1-T_a) d'un facteur 10. Il est donné par l'inverse de la pente de la régression linéaire faite sur la partie linéaire de la courbe.

D'après l'équation (3) page 39, on peut déduire que :

$$\log (T_1-T) = \log (T_1-T_0) \cdot j - \frac{t}{f_h}$$

On retrouve une équation de la forme $Y = a X + b$ avec $a = -\frac{1}{f_h}$

$$b = \log (T_1 - T_0) \cdot j$$

La partie linéaire de la courbe est caractérisée par son ordonnée à l'origine qui représente l'écart $\log (T_1 - T_a)$ et sa pente $a = -\frac{1}{f_h}$.

La figure 14, ci-dessous représente les résultats obtenus pour les deux formats de boîtes de conserve.

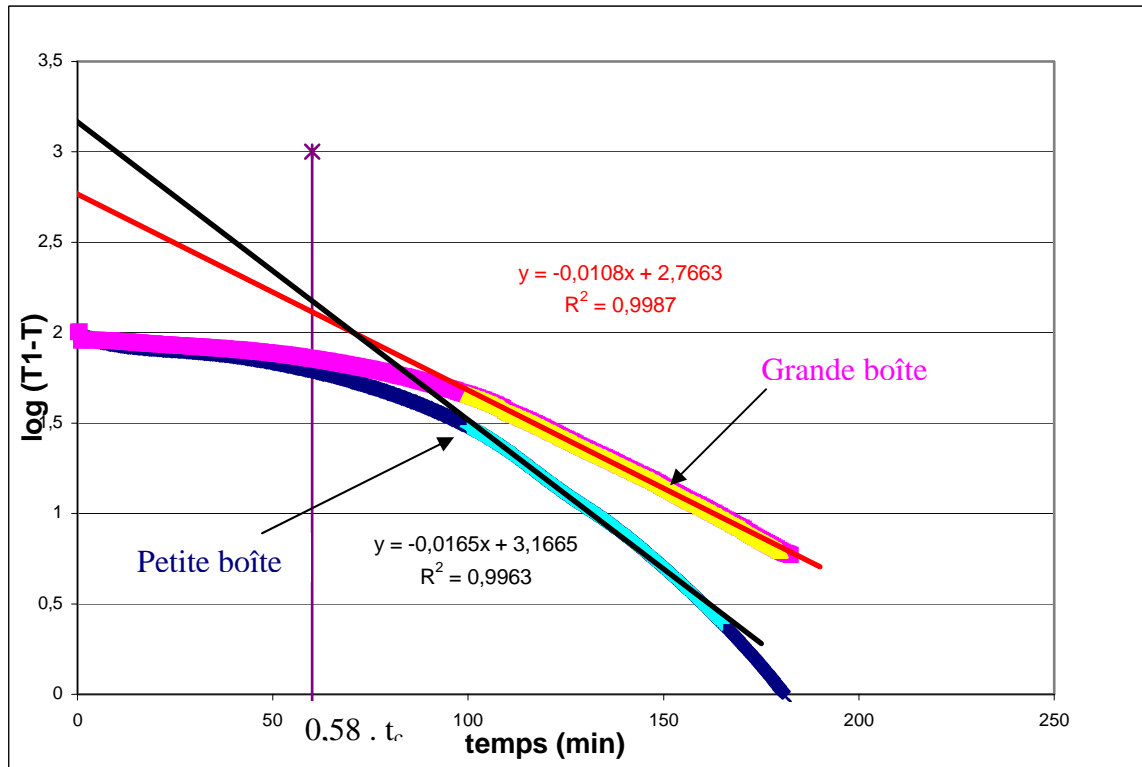


Figure 14 : Evolution de $\log (T_1 - T)$ en fonction du temps

Ainsi, dans notre cas, on trouve :

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,0108x + 2,7663$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_h}$$

$$\text{Donc, } f_h = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_h = -\frac{1}{-0,0108} = 92,6 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0165x + 3,1665$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_h}$$

$$\text{Donc, } f_h = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_h = -\frac{1}{-0,0165} = 60,6 \text{ min}$$

3.4.1.3.5 Calcul de j_h

D'après la définition :
$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

Le facteur j_h se définit en 2 étapes : tout d'abord, on calcule $(T_1 - T_a)$, puis on détermine j_h à l'aide T_1 et T_0 .

- Calcul de $T_1 - T_a$

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,0108x + 2,7663$$

$$\text{Pour } x = 0,58.t_c = 0,58 \times 103,5 = 60,03$$

$$y = -0,0108 \times 60,03 + 2,7663 = 2,118$$

Or, $y = \log(T_1 - T_a)$

$$\text{Ainsi, } T_1 - T_a = 10^{2,118} = 131,21^\circ\text{C}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0165x + 3,1665$$

$$\text{Pour } x = 0,58.t_c = 0,58 \times 103,5 = 60,03$$

$$y = -0,0165 \times 60,03 + 3,1665 = 2,18$$

Or, $y = \log(T_1 - T_a)$

$$\text{Ainsi, } T_1 - T_a = 10^{2,18} = 149,97^\circ\text{C}$$

- Calcul de j_h

La température de barème T_1 est calculée en faisant la moyenne de l'ensemble des températures au palier. On obtient $T_1 = 115,55^\circ\text{C}$

Pour la grande boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $14,52^\circ\text{C}$.

$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

$$\text{Ainsi, } j_h = \frac{131,21}{115,55 - 14,52} = 1,299$$

Pour la petite boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $19,46^\circ\text{C}$.

$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

$$\text{Ainsi, } j_h = \frac{149,97}{115,55 - 19,46} = 1,566$$

Remarque : En théorie, j est compris entre 1,00 (dans le cas de la convection pure) et 2,04 (dans le cas de la conduction pure). En pratique, on observe plutôt une variation entre 0,2 et 2,8 dans le cas dans les cas de phénomènes complexes.

3.4.1.3.6 Calcul de f_c

f_c représente le temps nécessaire pour réduire l'écart $(T - T_c)$ d'un facteur 10. Il est donné par l'inverse de la pente de la régression linéaire, faite sur la partie linéaire de la courbe.

Lors de la phase de refroidissement, la température de la boîte de conserve s'équilibre avec la température extérieure, c'est-à-dire celle de l'eau froide. Cette mise en équilibre progressive est caractérisée par une réduction exponentielle de l'écart $(T-T_c)$ lorsque T_c est constante, comme pour notre palier de refroidissement.

L'évolution thermique à la fin de la phase de refroidissement peut s'écrire :

$$T-T_c=(T_g-T_c).j_c \cdot 10^{-\frac{t-t_g}{f_c}}$$

Avec : j_c , l'effet retard lors de la phase de refroidissement
 t_g , le temps correspondant à la fin de la phase de chauffage

On peut en déduire que : $\log (T-T_c)=\log (T_g-T_c) \cdot j_c - \frac{t+t_g}{f_c}$

On retrouve une équation de la forme $Y = a X + b$ avec $a = -\frac{1}{f_c}$
 $b = \log (T_g-T_c) \cdot j_c$

Ainsi, si on trace $\log (T-T_c)$ en fonction du temps, on obtient une courbe présentant une allure linéaire (figure 15, ci-dessous).

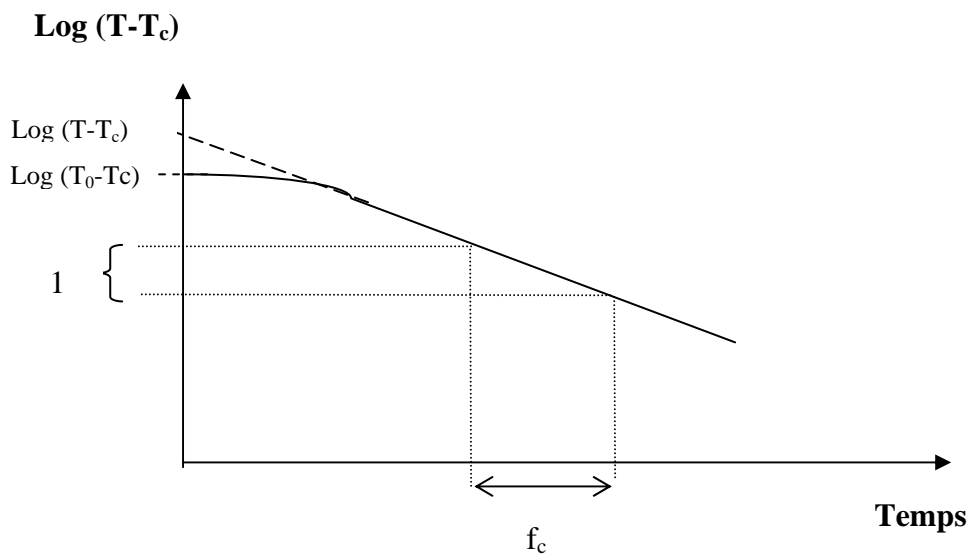


Figure 15 : Evolution de log (T-T_c) en fonction du temps

La partie droite de la courbe est caractérisée par son ordonnée à l'origine qui représente l'écart $\log (T-T_c)$ et sa pente $a = -\frac{1}{f_c}$.

La figure 16, ci-après représente les résultats obtenus pour les deux formats de boîtes de conserve.

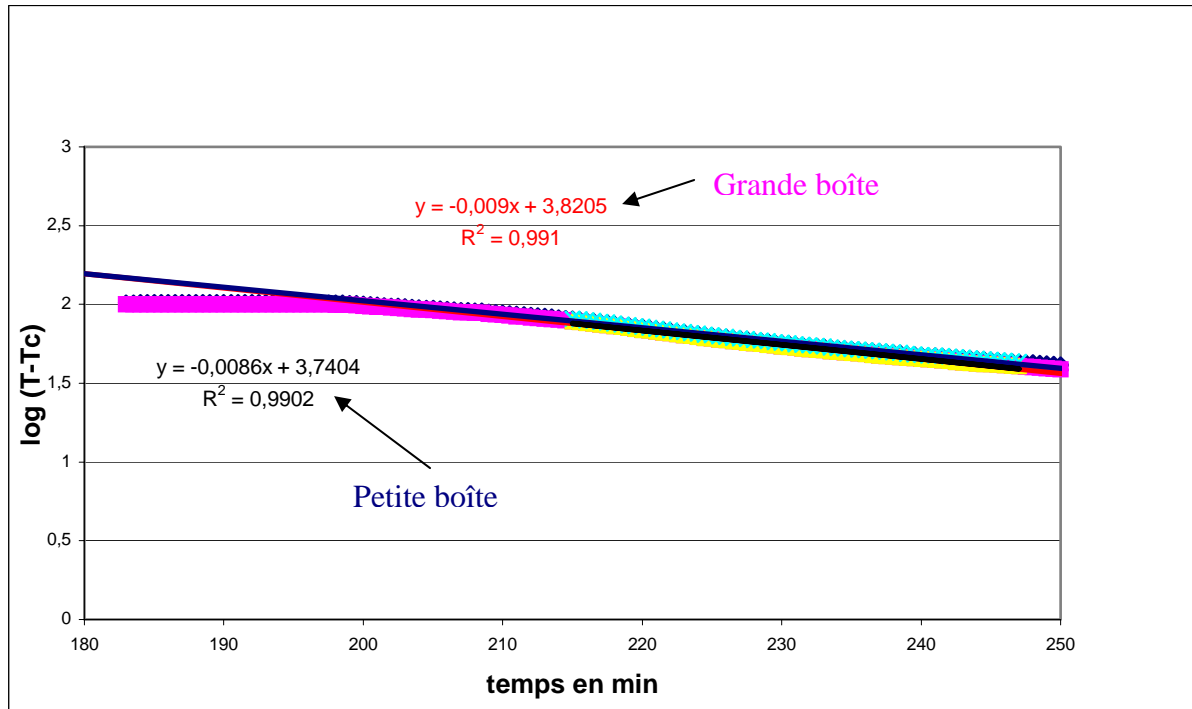


Figure 16 : Evolution de $\log(T-T_c)$ en fonction du temps

Dans notre cas, on trouve :

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,009x + 3,8205$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_c}$$

$$\text{Donc, } f_c = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_c = -\frac{1}{-0,009} = 111,11 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0086x + 3,7404$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_c}$$

$$\text{Donc, } f_c = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_c = -\frac{1}{-0,0086} = 116,28 \text{ min}$$

3.4.1.3.7 Calcul de j_c

D'après la définition :
$$j_c = \frac{T - T_c}{T_g - T_c}$$

Où T est la température à laquelle la droite extrapolée à partir de la zone linéaire, coupe l'axe des ordonnées.

Le facteur j_c se définit en 2 étapes : tout d'abord, on calcule $(T-T_c)$, puis on détermine j_c à l'aide T_g et T_c .

▪ Calcul de $T-T_c$

La phase de refroidissement débute à $t = 183$ min. C'est le point d'intersection entre la température de l'autoclave et celle au cœur de la petite boîte de conserve.

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,009x + 3,8205$$

Pour $x = 183$ min

$$y = -0,009 \times 183 + 3,8205 = 2,17$$

Or, $y = \log(T-T_c)$

$$\text{Ainsi, } T-T_c = 10^{2,17} = 149,1^\circ\text{C}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0086x + 3,7404$$

Pour $x = 183$ min

$$y = -0,0086 \times 183 + 3,7404 = 2,16$$

Or, $y = \log(T-T_c)$

$$\text{Ainsi, } T-T_c = 10^{2,16} = 146,7^\circ\text{C}$$

▪ Calcul de j_c

La température de refroidissement T_c est calculée en faisant la moyenne de l'ensemble des températures au palier de refroidissement. On obtient $T_c = 11,69^\circ\text{C}$

Pour la grande boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $109,75^\circ\text{C}$.

$$j_c = \frac{T-T_c}{T_g-T_c}$$

$$\text{Ainsi, } j_c = \frac{149,1}{109,75 - 11,69} = 1,52$$

Pour la petite boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $114,67^\circ\text{C}$.

$$j_c = \frac{T-T_c}{T_g-T_c}$$

$$\text{Ainsi, } j_c = \frac{146,7}{114,67 - 11,69} = 1,42$$

3.4.1.3.8 Calcul du facteur de létalité L obtenu par l'autoclave

D'après la définition, L est déterminé par :

$$L = 10^{\frac{T_1 - T_{\text{réf}}}{Z}}$$

Avec $T_{\text{réf}} = 121,1^\circ\text{C}$

$Z = 10^\circ\text{C}$

$$\text{Ainsi, } L = 10^{\frac{115,55 - 121,1}{10}} = 0,278$$

3.4.1.3.9 Calcul de la valeur stérilisatrice

Ainsi, f_h et j_h vont nous permettre de calculer la valeur stérilisatrice de notre produit pendant la partie chauffage, et f_c et j_c , pendant la partie refroidissement. La valeur stérilisatrice globale

de l'autoclave correspondra à la somme de la valeur stérilisatrice pendant la phase de chauffage et à celle du refroidissement.

- Calcul de la valeur stérilisatrice F_H pendant la phase de chauffage

Pour un traitement thermique à un palier de chauffage, caractérisé par une température de palier T_1 , on peut décrire la fin de l'évolution thermique au chauffage à partir de l'équation (3) page 39 :

$$T_1 - T = (T_1 - T_0) \cdot j_h \cdot 10^{\frac{-t}{f_h}} \quad (4)$$

Sachant que t_g et T_g correspondent au temps et à la température à la fin du chauffage, l'équation (4) permet de déduire que :

$$T_g = T_1 - (T_1 - T_0) \cdot j_h \cdot 10^{\frac{-t_g}{f_h}} \quad (5)$$

On calcule g tel que $g = T_1 - T_g$.

On peut déduire de (5) que :

$$\text{Log}(g) = \log [j_h \cdot (T_1 - T_0)] - \frac{t_g}{f_h} \quad (6)$$

La table de Ball sera ensuite utilisée pour trouver la corrélation entre $\log(g)$ et f_h/U . Or, comme g est exprimé en degré Fahrenheit dans la table de Ball, il faut exprimer T_1 et T_0 en degré Fahrenheit.

La relation entre les degrés Celsius et les degrés Fahrenheit est la suivante :

$$^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$$

Ainsi, dans notre cas, on trouve :

Pour la grande boîte de conserve :

$$T_1 = 115,55^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 14,52^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = (1,8 \times 115,55) + 32 = 239,99^{\circ}\text{F}$$

$$T_0 = (1,8 \times 14,52) + 32 = 58,14^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Log}(g) = \log [j_h \cdot (T_1 - T_0)] - \frac{t_g}{f_h}$$

$$\text{Log}(g) = \log [1,299 \cdot (239,99 - 58,14)] - \frac{122,47}{92,6}$$

$$\text{Ainsi, } \text{Log}(g) = 1,050$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$T_1 = 115,55^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 19,46^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 239,99^{\circ}\text{F}$$

$$T_0 = (1,8 \times 19,46) + 32 = 67,03^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Log}(g) = \log [j_h \cdot (T_1 - T_0)] - \frac{t_g}{f_h}$$

$$\text{Log}(g) = \log [1,566 \cdot (239,99 - 67,03)] - \frac{122,47}{60,6}$$

$$\text{Ainsi, } \text{Log}(g) = 0,412$$

Grâce à la table de Ball (cf. annexe 8), où $\log(g)$ est exprimé en degré Fahrenheit, on trouve le rapport f_h/U correspondant au $\log(g)$.

Pour la grande boîte de conserve :

$$\text{Log}(g) = 1,050$$

$$\text{Ainsi, } f_h/U = 14,9$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$\text{Log}(g) = 0,412$$

$$\text{Ainsi, } f_h/U = 2,42$$

La valeur stérilisatrice F_H , pendant la phase de chauffage, est définie par :

$$F_H = L \cdot U = \frac{f_h \cdot L}{f_h/U}$$

Avec : U , le coefficient global de transfert de chaleur, exprimé en minutes

Rappelons que $L = 0,278$ et que $f_h = 92,6$ min pour la grande boîte et $f_h = 60,6$ min pour la petite boîte

Nous pouvons donc calculer la valeur stérilisatrice F_H de nos deux formats de boîtes de conserve :

Pour la grande boîte de conserve :

$$F_H = \frac{f_h \cdot L}{f_h/U} = \frac{92,6 \cdot 0,278}{14,9} = 1,73 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$F_H = \frac{f_h \cdot L}{f_h/U} = \frac{60,6 \cdot 0,278}{2,42} = 6,96 \text{ min}$$

Remarque :

Ces valeurs stérilisatrices peuvent être comparées à celles obtenues par Bigelow, à la fin de la phase de chauffage, c'est-à-dire à 182,5 minutes :

Pour la grande boîte : $F_H = 1,32$

Pour la petite boîte : $F_H = 6,48$

Ainsi, les valeurs stérilisatrices, obtenues à la fin du chauffage, par la méthode de Ball, sont de 1,32 pour la grande boîte de conserve, et de 6,48 pour la petite boîte de conserve.

- Calcul de la valeur stérilisatrice pendant la phase de refroidissement

La valeur de f_h/U ne tient pas compte de l'évolution de la température au cours du refroidissement. Mais, Ball a considéré que la température tend exponentiellement vers la température de refroidissement T_c . Il a supposé que f_h était égal à f_c et a construit des tables pour quelques valeurs de j_c .

Cependant, certaines tables permettent de différencier le chauffage du refroidissement, comme celle sur la figure 17 ci-dessous. On trouve une colonne (*frac*) donnant la part de U réalisée pendant le chauffage, et le complément (1-U) réalisé pendant le refroidissement. Ainsi, g peut être calculé, même si $f_c \neq f_h$, ce qui est notre cas.

<i>f/U</i>	<i>g</i>	<i>frac</i>	<i>f/U</i>	<i>g</i>	<i>frac</i>
0,60	0,06	0,946	7,50	4,14	0,766
0,65	0,08	0,943	8,00	4,33	0,761
0,70	0,10	0,940	9,00	4,69	0,752
0,75	0,13	0,935	10,00	5,02	0,744
0,80	0,16	0,932	12,50	5,71	0,726
0,85	0,19	0,929	15,00	6,26	0,714
0,90	0,22	0,925	17,50	6,74	0,703
0,95	0,26	0,921	20,00	7,19	0,693
1,00	0,30	0,919	25,00	7,94	0,676
1,25	0,49	0,905	30,00	8,57	0,663
1,50	0,69	0,893	35,00	9,09	0,653
1,75	0,90	0,882	40,00	9,56	0,643
2,00	1,10	0,871	45,00	9,98	0,635
2,25	1,30	0,862	50,00	10,35	0,628
2,50	1,50	0,851	60,00	11,02	0,626
2,75	1,69	0,846	70,00	11,59	0,606
3,00	1,87	0,838	80,00	12,06	0,597
3,25	2,04	0,831	90,00	12,47	0,590
3,50	2,21	0,825	100,00	12,83	0,585
3,75	2,37	0,820	150,00	14,42	0,560
4,00	2,53	0,815	200,00	15,54	0,544
4,50	2,81	0,805	250,00	16,42	0,531
5,00	3,07	0,797	300,00	17,14	0,521
5,50	3,31	0,789	350,00	17,76	0,512
6,00	3,53	0,783	400,00	18,30	0,504
6,50	3,74	0,777	500,00	19,25	0,491
7,00	3,94	0,772			

Figure 17 : Table de Ball pour $Z = 10^\circ\text{C}$, $T_1 = 100^\circ\text{C}$ et $j_c = 1,41$ (valeur que Ball recommande par défaut). *frac* est la fraction de U réalisée pendant le chauffage.

Dans notre cas, les valeurs de g sont les suivantes :

Pour la grande boîte de conserve :

$$\text{Log}(g) = 1,050$$

$$\text{Donc } g = 10^{1,050} = 11,22^\circ\text{F}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$\text{Log}(g) = 0,412$$

$$\text{Donc } g = 10^{0,412} = 2,58^\circ\text{F}$$

On lit dans la table les valeurs *f/U* et *frac* correspondantes.

Pour la grande boîte de conserve :

$$g = 11,22^\circ\text{C}$$

$$f/U = 63,50$$

$$\text{frac} = 0,619$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$g = 2,58^\circ\text{C}$$

$$f/U = 4,089$$

$$\text{frac} = 0,813$$

Les valeurs de frac et de f/U sont déterminées par interpolation entre deux points (cf. annexe 9).

On calcule ensuite la contribution du refroidissement U_c par la formule suivante :

$$U_c = \frac{f_c}{f/U} \cdot (1 - \text{frac})$$

Pour la grande boîte de conserve :

$$U_c = \frac{f_c}{f/U} \cdot (1 - \text{frac}) = \frac{111,11}{63,50} \cdot (1 - 0,619) \\ = 0,66 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$U_c = \frac{f_c}{f/U} \cdot (1 - \text{frac}) = \frac{116,28}{4,089} \cdot (1 - 0,813) \\ = 5,32 \text{ min}$$

On peut ainsi en déduire la valeur stérilisatrice pendant la phase de refroidissement par :

$$F_c = L \cdot U_c$$

Ainsi, on obtient :

Pour la grande boîte de conserve : $F_c = L \cdot U_c = 0,278 \times 0,66 = 0,185 \text{ min}$

Pour la petite boîte de conserve : $F_c = L \cdot U_c = 0,278 \times 5,32 = 1,478 \text{ min}$

- Calcul de la valeur stérilisatrice pendant toute la durée du traitement thermique

$$F_z^{121,1^\circ C} = F_H + F_c$$

Pour la grande boîte de conserve : $F_z^{121,1^\circ C} = 1,73 + 0,185 = 1,915$

Pour la petite boîte de conserve : $F_z^{121,1^\circ C} = 6,96 + 1,478 = 8,438$

- Comparaison des 2 méthodes

Les valeurs stérilisatrices obtenues par la méthode de Ball sont inférieures à celles obtenues par Bigelow. En effet, la méthode de Ball est un modèle mathématique qui sous-estime la phase de refroidissement. C'est pourquoi, on trouve des valeurs stérilisatrices calculées inférieures.

3.4.1.4 Calcul de la valeur stérilisatrice selon la méthode de Stumbo

Les faibles résultats obtenus pour les valeurs stérilisatrices pendant la phase de chauffage de la grande boîte et de la petite boîte suivant la méthode de Ball (respectivement 1,71 min et 6,96 min) par rapport à ceux obtenus avec la méthode de Bigelow (respectivement 3,42 min et 10,85 min), seraient dus à une phase de refroidissement non négligeable.

En effet, dans la méthode de la formule (méthode de Ball), Ball émet trois hypothèses :

Le facteur de latence de refroidissement $j_c = 1,41$

f_h est constant et égal à f_c (inverse de la pente de $T = f(t)$ au refroidissement)

Le palier de l'autoclave est atteint immédiatement. Au temps $t=0$, la température de l'autoclave est T_1 .

Les deux premières hypothèses supposent que la température de refroidissement soit établie le plus rapidement possible.

Or, dans notre cas on obtient un $j_c = 1,4251$ pour la petite boîte et un $j_c = 1,52$ pour la grande boîte. Ainsi, la première hypothèse de Ball est applicable pour la petite boîte mais pas pour la grande boîte.

De plus, on obtient par calcul un $f_c = 111,11$ min pour la grande boîte de conserve, et un $f_c = 116,28$ min pour la petite boîte, alors que les f_h sont respectivement pour la grande et la petite boîte de 92,6 et 60,6 min. Ainsi la deuxième hypothèse n'est pas applicable dans notre cas.

Nous avons donc décidé d'effectuer les calculs de la valeur stérilisatrice, ainsi que les calculs prédictifs en vue de l'optimisation des barèmes avec la méthode de Stumbo et Longley qui prend en compte le j_c de la phase de refroidissement.

En effet, Stumbo a mis en place une table mettant en relation f_h/U avec g et j_c comme paramètre. Cette méthode est une variante de la méthode de Ball.

Remarque : Il existe d'autres méthodes variantes de la méthode de Ball, dont la méthode de Steele et Board (1979) qui envisage le cas où la valeur de f_c est différente de f_h . Et la méthode d'Hayakawa (1970) qui tient compte de la phase curviligne de chauffage ainsi que celle de refroidissement. Il remplace l'ajustement hyperbolique de Ball par des fonctions circulaires.

3.4.1.4.1 Détermination de la table à utiliser

Pour effectuer nos calculs nous avons plusieurs tables à dispositions (annexe 10) : tables pour un $Z=14^\circ\text{F}$, $Z=18^\circ\text{F}$ et $Z=22^\circ\text{F}$.

Dans notre cas, on utilise la table correspondant à $Z=10^{\circ}\text{C}$. Z correspond à l'élévation de température nécessaire pour réduire à 1/10 la durée du traitement thermique standard en obtenant le même taux de destruction. Il correspond donc à un écart de température. Faisons la relation en degré Celsius et en degré Fahrenheit :

Avec $^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$

$$10^{\circ}\text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} 10^{\circ}\text{C} \longrightarrow 50^{\circ}\text{F} \\ 20^{\circ}\text{C} \longrightarrow 68^{\circ}\text{F} \end{array} \right\} 18^{\circ}\text{F}$$

Ainsi, les tables utilisées pour la stérilisation seront donc celle pour un $Z=18^{\circ}\text{F}$

Les calculs qui suivent sont effectués suivant la méthode décrite en annexe 11.

3.4.1.4.2 Rappel de nos valeurs calculées par la méthode de Ball

$$T_{\text{réf}} = 121,1^{\circ}\text{C} \rightarrow 250^{\circ}\text{F}$$

$$T_1 = 115,55^{\circ}\text{C} \rightarrow 240^{\circ}\text{F}$$

$$t_B = 122,47 \text{ min}$$

Pour la grande boîte de conserve :

$$T_0 = 14,52^{\circ}\text{C} \rightarrow 58,14^{\circ}\text{F}$$

$$T_1 - T_a = 131,21^{\circ}\text{C}$$

$$f_h = 92,6 \text{ min}$$

$$j_h = 1,299$$

$$f_c = 111,11 \text{ min}$$

$$j_c = 1,52$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$T_0 = 19,46^{\circ}\text{C} \rightarrow 67,03^{\circ}\text{F}$$

$$T_1 - T_a = 149,97^{\circ}\text{C}$$

$$f_h = 60,6 \text{ min}$$

$$j_h = 1,566$$

$$f_c = 116,28 \text{ min}$$

$$j_c = 1,42$$

3.4.1.4.3 Détermination de la valeur stérilisatrice

- Calcul de T_g

T_g est la température à cœur du produit à la fin du chauffage. On détermine T_g par l'intermédiaire de la formule suivante :

$$T_g = T_1 - (T_1 - T_a) \times [10]^{-t_B / f_h}$$

Pour la grande boîte de conserve :

$$T_g = 115,55 - 131,21 \times 10^{-122,47 / 92,6}$$

$$T_g = 109,30^{\circ}\text{C} \rightarrow 228,75^{\circ}\text{F}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$T_g = 115,55 - 149,91 \times 10^{-122,47 / 60,60}$$

$$T_g = 114,14^{\circ}\text{C} \rightarrow 237,453^{\circ}\text{F}$$

▪ Calcul de g

Le calcul de g se fait en Fahrenheit. On détermine g d'après l'équation suivante :

$$g = T_1 - T_g$$

Pour la grande boîte de conserve :

$$g = 240 - 228,75$$

$$g = 11,15 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$g = 240 - 237,453$$

$$g = 2,447 \text{ } ^\circ\text{F}$$

▪ Calcul de f_h/U

Afin de déterminer f_h/U pour la petite et la grande boîte de conserve, on utilise la table 9.12 en annexe 10.

Cependant, il est nécessaire d'interpoler les valeurs des tables à nos valeurs. En effet, les valeurs de g et de f_h/U correspondent à un $j_c=1$.

Pour utiliser des valeurs de $j_c \neq 1$ on doit résoudre l'équation suivante :

$$g_j = g_{j-1} + (j-1)(\Delta g/\Delta j)$$

Après avoir trouvé le g de notre j_c correspondant, on trouve f_h/U par régression en résolvant l'équation suivante :

$$\frac{f_h}{U} = \frac{f_h}{U_{\text{inf}}} + \left(\frac{f_h}{U_{\text{sup}}} - \frac{f_h}{U_{\text{inf}}} \right) \times \left(\frac{g_{j=1,52} - g_{j=1,52_{\text{inf}}}}{g_{j=1,52_{\text{sup}}} - g_{j=1,52_{\text{inf}}}} \right)$$

Avec : $g_{j=1,52_{\text{inf}}}$ lue dans les tables qui correspond à la valeur inférieure à 11,15°F (grande boîte) et 2,447°F (petite boîte)

$g_{j=1,52_{\text{sup}}}$ lue dans les tables qui correspond à la valeur supérieure à 11,15°F (g grande boîte) et 2,447°F (g petite boîte)

$\frac{f_h}{U_{\text{inf}}}$ lue dans les tables, valeur correspondant à $g_{j=1,52_{\text{inf}}}$

$\frac{f_h}{U_{\text{sup}}}$ lue dans les tables, valeur correspondant à $g_{j=1,52_{\text{sup}}}$

Pour la grande boîte de conserve :

$$g = 11,15 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$j_c = 1,52$$

Valeur inférieure de notre g :

Dans les tables on trouve :

$$g_{j=1} = 8,78 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta g/\Delta j = 2,69$$

$$f_h/U = 10$$

On a donc pour $j_c=1,52$:

$$g_{j=1,52} = 8,78 + (1,52 - 1) \times 2,69 = 9,9788 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Valeur supérieure de notre g :

Dans les tables on trouve :

$$g_{j=1} = 10,88 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta g/\Delta j = 3,57$$

$$f_h/U = 15$$

On a donc pour $j_c = 1,52$:

$$g_{j=1,52} = 10,88 + (1,52 - 1) \times 3,57 = 12,7364 \text{ } ^\circ\text{F}$$

On en déduit par régression la valeur de f_h/U pour $j_c = 1,52$:

$$f_h/U = 10 + (15 - 10) \times \left(\frac{11,15 - 9,98}{12,74 - 9,98} \right)$$

$$f_h/U = 12,12$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$g = 2,447 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$j_c = 1,42$$

Valeur inférieure de notre g :

Dans les tables on trouve :

$$g_{j=1} = 1,93 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta g/\Delta j = 0,68$$

$$f_h/U = 2$$

On a donc pour $j_c=1,42$:

$$g_{j=1,42} = 1,93 + (1,42 - 1) \times 0,68 = 2,2156 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Valeur supérieure de notre g :

Dans les tables on trouve :

$$g_{j=1} = 3,26 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta g/\Delta j = 1,05$$

$$f_h/U = 3$$

On a donc pour $j_c = 1,42$:

$$g_{j=1,42} = 3,26 + (1,42 - 1) \times 1,05 = 3,701 \text{ } ^\circ\text{F}$$

On en déduit par régression la valeur de f_h/U pour $j_c = 1,42$:

$$f_h/U = 2 + (3 - 2) \times \left(\frac{2,447 - 2,22}{3,71 - 2,22} \right)$$

$$f_h/U = 2,1557$$

▪ Calcul de la valeur stérilisatrice

Comme nous l'avons vu dans la méthode de Ball la valeur stérilisatrice s'exprime selon la formule suivante :

$$F_z^{121,1^\circ\text{C}} = L \cdot U = \frac{f_h \times L}{f_h/U}$$

Nous pouvons donc calculer la valeur stérilisatrice de nos deux formats de boîtes de conserve :

Pour la grande boîte de conserve :

L = 0,278 (résolu dans la méthode de Ball)

$$F_z^{121,1^\circ\text{C}} = \frac{f_h \times L}{f_h/U} = \frac{92,6 \times 0,278}{12,12} = 2,14 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

L = 0,278

$$F_z^{121,1^\circ\text{C}} = \frac{f_h \times L}{f_h/U} = \frac{60,6 \times 0,278}{2,15} = 7,87 \text{ min}$$

On obtient donc pour chacune des deux boîtes des valeurs stérilisatrices supérieures à celles trouvées dans la méthode de Ball. Ces valeurs se rapprochent de celles trouvées par la méthode de Bigelow (respectivement 3,42 et 10,85 pour la grande et la petite boîte).

Cependant Smith et Tung (1982) ont confronté toutes les méthodes de détermination de valeur stérilisatrice, avec Bigelow comme modèle de référence. Ils montrent ainsi que la méthode de Ball et ses dérivés sous estiment la valeur stérilisatrice réellement atteinte (ou surestiment les temps de chauffage nécessaires), ce qui va dans le sens de la sécurité. De plus, ils ont montré que la méthode de Stumbo est celle qui donne lieu aux déviations minimales par rapport à la méthode de référence.

3.4.2 Détermination des barèmes prédictifs

3.4.2.1 *Choix du couple temps/température*

Pour optimiser le barème d'appertisation des cuisses de canard cuisinées, nous avons à notre disposition deux données à savoir le temps et la température. Le tableau ci-dessous regroupe toutes les possibilités qui s'offraient à nous.

Possibilités	Temps	Température	Validé	Explications
1	Augmenter	Augmenter	NON	En appliquant ce barème, la valeur stérilisatrice et/ou la valeur cuisatrice augmenteraient. Le produit serait par conséquent plus cuit. Or ce n'est pas notre objectif. En effet, pour améliorer la texture du produit, il nous faut diminuer la valeur cuisatrice.
2	Augmenter	Laisser ⁷	NON	En appliquant ce barème, la valeur stérilisatrice et/ou la valeur cuisatrice augmenteraient. Le produit serait par conséquent plus cuit
3	Augmenter	Baisser	NON	En appliquant ce barème, la valeur stérilisatrice et/ou la valeur cuisatrice augmenteraient. Le produit serait par conséquent plus cuit
4	Baisser	Augmenter	OUI	Si on chauffe à des températures supérieures, mais en diminuant le temps, on peut garder la même la valeur stérilisatrice tout en baissant la valeur cuisatrice. On ménage la qualité du produit fini. C'est notre objectif.

⁷ Laisser : signifie que nous conservons le temps ou la température initiale adoptée par La Maison des Pâtures

5	Baisser	Laisser	NON	Dans notre cas ; il n'est pas possible d'opter pour ce couple temps/température parce que la valeur stérilisatrice diminuerait et pourrait être inférieure à 3 mn. Ce qui pourrait engendrer des risques sanitaires sur le produit fini.
6	Baisser	Baisser en restant au dessus de 100°C ⁸	NON	Dans notre cas ; il n'est pas possible d'opter pour ce couple temps/température parce que la valeur stérilisatrice diminuerait et pourrait être inférieure à 3 mn. Ce qui pourrait engendrer des risques sanitaires sur le produit fini.
7	Laisser	Augmenter	NON	En appliquant ce barème, la valeur stérilisatrice et/ou la valeur cuisatrice augmenteraient. Le produit serait par conséquent plus cuit.
8	Laisser	Baisser	NON	Dans notre cas ; il n'est pas possible d'opter pour ce couple temps/température parce que la valeur stérilisatrice diminuerait et pourrait être inférieure à 3 mn. Ce qui pourrait engendrer des risques sanitaires sur le produit fini.

Nous avons décidé de retenir une seule option : augmenter la température en diminuant le temps.

3.4.2.2 Détermination du barème prédictif

Nous avons donc décidé d'effectuer les calculs de la valeur stérilisatrice, ainsi que les calculs prédictifs en vu de l'optimisation des barèmes avec la méthode de Stumbo et de Ball.

Il existe des méthodes de prédiction, basées sur la température, qui consistent à identifier un modèle et à l'utiliser pour simuler un nouveau traitement thermique.

3.4.2.2.1 Selon la méthode de Ball

La méthode de Ball permet de modéliser tout traitement thermique et de prévoir le barème de température à appliquer à une nouvelle stérilisation. Ball a établi des tables qui permettent de calculer directement la durée du palier de chauffage, en tenant compte d'un changement éventuel des paramètres suivants :

- température initiale du produit T_0 ,
- température de palier de l'autoclave T_1 ,
- valeur stérilisatrice à atteindre.

⁸ avec des températures inférieures à 100°C, nous ne parlerons plus de stérilisation mais de pasteurisation.

Notre objectif n'est ni de changer la température initiale du produit, ni la valeur stérilisatrice à atteindre. Par contre, on souhaite augmenter la température de palier de l'autoclave et réduire le temps de barème afin de faire baisser la valeur cuisatrice de notre traitement thermique.

Pour utiliser la méthode de Ball à des fins prédictives, il faut connaître les paramètres suivants :

- La valeur stérilisatrice à atteindre
- La valeur du f_h du produit considéré
- La valeur du j_h du produit considéré
- La température initiale du produit T_0
- La température de palier de l'autoclave T_1

▪ Quelle valeur de T_0 utiliser ?

La température initiale du produit, lors de la mise des boîtes dans l'autoclave, ne varie quasiment pas. Elle dépend du « rituel » de préparation du cuisinier. Pour effectuer les calculs prédictifs, on prendra T_0 égal à T_0 du premier essai réalisé, c'est-à-dire :

- Pour la grande boîte : $T_0 = 14,52^\circ\text{C}$
- Pour la petite boîte : $T_0 = 19,46^\circ\text{C}$

▪ Quelle valeur de T_1 utiliser ?

En ce qui concerne, la température T_1 du palier de l'autoclave, elle doit être augmentée afin de diminuer la valeur cuisatrice. Comme l'autoclave de La Maison des Pâtures peut atteindre 123°C au maximum, nous décidons d'utiliser cette température afin de baisser au maximum la valeur cuisatrice. Nous voulons nous placer dans le cas où l'effet de la valeur cuisatrice sur le produit fini devrait être la plus perceptible sur le plan sensoriel. Ainsi, pour effectuer les calculs prévisionnels, nous utiliserons $T_1 = 123^\circ\text{C}$.

▪ Quelle valeur stérilisatrice utiliser ?

Les calculs prédictifs nous permettent de calculer la durée du traitement thermique nécessaire pour atteindre une valeur stérilisatrice donnée. Par contre, ils ne prennent en compte que la phase de chauffage du produit, et non le refroidissement. Ainsi, la valeur stérilisatrice à prendre en compte est celle à la fin du palier de chauffage des produits, et non F_0 totale (chauffage + refroidissement).

L'objectif de La Maison de Pâtures est d'améliorer la texture du produit fini en jouant sur la valeur cuisatrice. Ainsi, nous utiliserons les mêmes valeurs stérilisatrices que celles trouvées précédemment avec la méthode de Ball, à la fin de la période de chauffage.

Ainsi, nous utiliserons :

Pour la grande boîte de conserve : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 1,73$

Pour la petite boîte de conserve : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 6,96$

- Quels f_h et j_h utiliser ?

Les valeurs de f et de j caractérisent les évolutions de température dans nos deux types de bocaux. Elles nous permettent de prévoir l'évolution des températures dans les produits, même si les conditions de traitement thermique changent (T_0 , T_1 , $F_Z^{121,1^\circ\text{C}}$).

Ainsi, nous utiliserons :

Pour la grande boîte : $f_h = 92,6$ min et $j_h = 1,299$

Pour la petite boîte : $f_h = 60,6$ min et $j_h = 1,566$

La méthode prédictive s'effectue en plusieurs étapes. Tout d'abord, on calcule la différence de température ($T_1 - T_0$) entre le palier de chauffage et la température initiale du produit. Les températures T_1 et T_0 seront exprimées en Fahrenheit.

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
T₁ (°C)	123	123
T₁ (°F)	253,4	253,4
T₀ (°C)	14,52	19,46
T₀ (°F)	58,136	67,028
(T₁-T₀) (°F)	195,264	186,372

La deuxième étape consiste ensuite à calculer : $\text{Log}(j_h \cdot (T_1 - T_0))$

Ainsi, dans notre cas :

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
(T₁-T₀) (°F)	195,264	186,372
j_h	1,299	1,566
j_h · (T₁-T₀)	253,65	291,86
Log(j_h · (T₁-T₀))	2,404	2,465

Ensuite, on calcule :

$$\frac{f_h}{U} = \frac{f_h \cdot 10^{\frac{T_1 - 121,1}{z}}}{F_z^{121,1^\circ\text{C}}}$$

Où T_1 est exprimé en °C

Le but est de trouver $\log(g)$ correspondant au f_h/U calculé.

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
f_h	92,6	60,6
T_1	123	123
$10^{\frac{T_1 - \text{Tréf}}{z}}$	1,548	1,548
$F_z^{121,1^\circ\text{C}}$	1,73	6,96
f_h/U calculé	82,9	14,49

Les tables de Ball (cf. annexe 8) nous donnent la correspondance entre f_h/U calculé et $\log(g)$.

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
f_h/U	82,9	14,49
Log (g)	1,341	1,028

Ainsi, le temps de barème, selon Ball se calcule par la formule suivante, déduite de l'équation (6) page 49 :

$$t_B = f_h \cdot \{ \log [j_h \cdot (T_1 - T_0)] - \log(g) \}$$

On obtient donc les résultats suivants :

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
f_h	92,6	60,6
Log ($j_h \cdot (T_1 - T_0)$)	2,404	2,465
Log (g)	1,341	1,028
t_B	98,6	87,1

On obtient un temps de barème selon Ball. Or, il faut prendre en compte la correction à apporter lors du délai de mise en régime (CUT) de l'autoclave.

Ainsi, $t_p = t_B - 0,42 \cdot t_C$

On peut donc en déduire les résultats suivants :

	Grande boîte de conserve	Petite boîte de conserve
t_C	103,5	103,5
$0,42 \cdot t_C$	43,47	43,47
t_B	98,6	87,1
t_p	55,3	43,8

Ainsi, le temps de palier prédictif est d'environ 55 minutes pour la grande boîte, chauffée à 123°C, pour atteindre un $F_z^{121,1^\circ C}$ de 1,73 min à la fin de la phase de chauffage, soit 1,915 min à la fin du traitement thermique.

De même, il faudra chauffer environ 44 minutes la petite boîte à 123°C pour atteindre un $F_z^{121,1^\circ C}$ de 6,96 min à la fin de la phase de chauffage, soit 8,438.min à la fin du traitement thermique.

Remarque : Si l'objectif était de trouver un couple temps/température adapté au traitement thermique de la petite boîte, il aurait fallu la chauffer à 123°C pendant environ 23 minutes pour obtenir la même valeur stérilisatrice que dans la grande boîte.

3.4.2.2.2 Selon la méthode de Stumbo

Tout comme nous l'avons fait avec la méthode de Ball, nous allons effectuer des calculs prédictifs par la méthode de Stumbo.

Comme nous l'avons vu précédemment, notre but est de diminuer la valeur cuisatrice. Ainsi, nous avons décidé d'augmenter la température de palier de l'autoclave à 123 °C et de garder la même valeur stérilisatrice que nous avons trouvé par la méthode de Stumbo à savoir, 2,14 min pour la grande boîte et 7,87 pour la petite boîte.

Puisqu'il n'y a que le facteur température qui change, on aura une modification de la valeur de la létalité. Avec cette nouvelle valeur, on prendra le problème à l'envers pour remonter jusqu'à t_B .

- Calcul de la nouvelle létalité

$$L = 10^{\frac{T_1 - T_{réf}}{z}}$$

Avec $T_1 = 123^\circ C$
 $T_{réf} = 121,1^\circ C$
 $Z = 10^\circ C$

$$L = 10^{\frac{123-121,1}{10}} = 1,5488$$

Cette nouvelle valeur de létalité va nous permettre d'avoir accès au U et donc au f_h/U .

▪ Calcul de U

U répond à l'équation suivante :

$$U = \frac{F_z^{121,1^\circ C}}{L}$$

On reprend les valeurs stérilisatrices trouvées précédemment pour chacun des format de boîte.
On obtient alors :

Pour la grande boîte de conserve :

$$\begin{aligned} L &= 1,5488 \\ F_z^{121,1^\circ C} &= 2,14 \text{ min} \\ U &= \frac{2,14}{1,55} = 1,38 \text{ min} \end{aligned}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$\begin{aligned} L &= 1,5488 \\ F_z^{121,1^\circ C} &= 7,87 \text{ min} \\ U &= \frac{7,87}{1,55} = 5,0945 \text{ min} \end{aligned}$$

▪ Calcul de f_h/U

Pour la grande boîte de conserve :

$$\begin{aligned} f_h &= 92,6 \text{ min} \\ f_h/U &= 92,6/1,38 = 67,10 \end{aligned}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$\begin{aligned} f_h &= 60,6 \text{ min} \\ f_h/U &= 60,6/5,09 = 11,89 \end{aligned}$$

Grâce à ces résultats, nous allons chercher le g correspondant dans les tables.

▪ Détermination de g

Afin de déterminer g pour la petite et la grande boîte de conserve, on utilise la table 9.12 en annexe 10.

De la même manière que pour la recherche de la valeur stérilisatrice, il est nécessaire d'interpoler les valeurs des tables à notre cas particulier.

Il faudra alors appliquer une régression dont l'équation est la suivante :

$$g_{j=1,52} = g_{j=1,52_{\text{inf}}} + \left(g_{j=1,52_{\text{sup}}} - g_{j=1,52_{\text{inf}}} \right) \times \left(\frac{f_h/U - f_h/U_{\text{inf}}}{f_h/U_{\text{sup}} - f_h/U_{\text{inf}}} \right)$$

Pour la grande boîte de conserve :

$$f_h/U = 67,10$$

$$j_c = 1,52$$

Valeur inférieure de notre f_h/U :

Dans les tables on trouve :

$$f_h/U_{inf} = 60$$

$$\Delta g/\Delta j = 6,80$$

$$g_{j=1} = 18,9^\circ F$$

On a donc pour $j_c = 1,52$:

$$g_{j=1,52 inf} = 18,9 + (1,52 - 1) \times 6,80 = 22,436^\circ F$$

Valeur supérieure de notre f_h/U :

Dans les tables on trouve :

$$f_h/U_{sup} = 70$$

$$\Delta g/\Delta j = 7,10$$

$$g_{j=1} = 19,9^\circ F$$

On a donc pour $j_c = 1,52$:

$$g_{j=1,52 sup} = 19,9 + (1,52 - 1) \times 7,10 = 23,592^\circ F$$

On en déduit par régression la valeur de $g_{j=1,52}$ pour $j_c = 1,52$:

$$g_{j=1,52} = 22,44 + (23,59 - 22,4) \times (67,10 - 60) / (70 - 60)$$

$$g_{j=1,52} = 23,2565$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$f_h/U = 11,89$$

$$j_c = 1,42$$

Valeur inférieure de notre f_h/U :

Dans les tables on trouve :

$$f_h/U_{inf} = 10$$

$$\Delta g/\Delta j = 2,69$$

$$g_{j=1} = 8,78^\circ F$$

On a donc pour $j_c = 1,42$:

$$g_{j=1,42 inf} = 8,78 + (1,42 - 1) \times 2,69 = 9,9098^\circ F$$

Valeur supérieure de notre f_h/U :

Dans les tables on trouve :

$$f_h/U_{sup} = 15$$

$$\Delta g/\Delta j = 3,57$$

$$g_{j=1} = 10,88^\circ F$$

On a donc pour $j_c = 1,42$:

$$g_{j=1,42 sup} = 10,88 + (1,42 - 1) \times 3,57 = 12,3794^\circ F$$

On en déduit par régression la valeur de f_h/U pour $j_c = 1,42$:

$$g_{j=1,42} = 9,91 + (12,38 - 9,91) \times (11,89 - 10) / (15 - 10)$$

$$g_{j=1,42} = 10,8433$$

▪ Calcul de t_B

De g on déduit directement t_B de l'expression suivante :

$$t_B = f_h \times [\log(j_h \times (T_1 - T_0)) - \log(g)]$$

Pour chacune des boîtes on obtient donc :

Pour la grande boîte de conserve :

$$f_h = 92,6 \text{ min}$$

$$j_h = 1,299$$

$$T_1 = 253,4^\circ F$$

$$T_0 = 58,136^\circ F$$

$$t_B = 92,6 \times [\log(1,299 \times (253,4 - 58,136)) - \log(23,2565)] = 96,09 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$f_h = 60,6 \text{ min}$$

$$j_h = 1,566$$

$$T_1 = 253,4^\circ F$$

$$T_0 = 67,028^\circ F$$

$$t_B = 60,6 \times [\log(1,566 \times (253,4 - 67,028)) - \log(10,8433)] = 86,66 \text{ min}$$

▪ Calcul du temps de palier

A titre de rappel, t_p répond à l'équation suivante :

$$t_p = t_B - 0,42t_c$$

Soit pour les deux formats de conserve, les temps de palier sont les suivants :

Pour la grande boîte de conserve :

$$t_p = 96,09 - 0,42 \times 103,5 = 52,62 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$t_p = 86,66 - 0,42 \times 103,5 = 43,19 \text{ min}$$

Ainsi, par la méthode de Stumbo on obtient un temps de palier prédictif d'environ 53 minutes pour garder la même valeur stérilisatrice (2,14 min) pour une grande boîte chauffée à 123°C. Quant à la petite boîte, il faudrait d'après la méthode de Stumbo laisser 43 minutes la boîte à 123°C pour garder la même valeur stérilisatrice.

3.4.3 Choix du barème

Ainsi, suivant que l'on ai fait les calculs avec la méthode de Ball ou de Stumbo on obtient des résultats très proches. Cependant, pour limiter le maximum de risque sanitaire, on a décidé de se baser sur le barème de stérilisation le plus élevé . Celui-ci correspond aux résultats trouvés par la méthode de Ball : 55,3 minutes pour la grande boîte. La petite boîte sera donc introduite dans les mêmes conditions que la grande boîte et donc elle subira indéniablement une surcuisson. (on a trouvé un barème de 43,83 minutes pour la petite boîte par la méthode de Ball).

3.4.4 Vérification du barème proposé

Les calculs prévisionnels ont été effectués par deux modèles, qui évaluent le barème à appliquer à notre produit, si l'on change certains paramètres de l'appertisation (température initiale du produit, température de palier, valeur stérilisatrice à atteindre).

Ainsi, les calculs prévisionnels doivent être validés par un 2^{ème} essai, où l'on enregistre la température au cœur de la boîte de conserve, point le plus froid, pendant toute la durée du traitement thermique. Ce 2^{ème} essai a pour but de valider le barème prédictif, en vérifiant que l'on obtient bien en pratique, ce qui avait été calculé en théorie.

Suite à l'essai réalisé, on calcule la nouvelle valeur stérilisatrice atteinte, ainsi que les paramètres intrinsèques des produits f_h et j_h , pour vérifier qu'ils sont bien du même ordre de grandeur, que lors de premier essai.

3.4.4.1 *Produits analysés*

Ce nouvel essai a été réalisé avec des cuisses de canard cuisinées aux cèpes. Il n'a pas été possible de faire des analyses sur la recette du premier essai (cuisses de canard à l'orange) pour des raisons de contraintes de fabrication. Cependant, ce changement n'est pas problématique étant donné que la préparation reste la même, et que la composition du produit est pratiquement identique (cuisse de canard et sauce de viscosité comparable).

Tout comme lors du premier essai, les canards ont été abattus 10 jours avant l'autoclavage.

Notre deuxième essai à été effectué le 27 Février 2004

Température initiale de la grande boîte : 8,93°C

Température initiale de la petite boîte : 10,55°C

pH= 4,4

3.4.4.2 *Calcul de la valeur cuisatrice*

A titre de rappel, la valeur cuisatrice s'exprime par :

$$C_Z^{T_{\text{réf}}} = \sum L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L = 10^{\frac{T - T_{\text{réf}}}{Z}}$

Avec $T_{\text{réf}} = 100^\circ\text{C}$

$Z = 30^\circ\text{C}$

T les températures relevées à des intervalles de temps Δt dans le produit

En pratique, cela revient à tracer la courbe $L(T) = f(t)$ et à faire la somme des traitements élémentaires à la température T pendant la durée Δt pour toute la montée en température, et le refroidissement.

Application à notre cas :

Les températures ont été mesurées avec une fréquence de 30 secondes. Ainsi, notre Δt correspond à 30 s, soit 0,5 minute.

Après avoir calculé les L_i correspondant aux températures, on applique la formule $\sum_i L_i \cdot \Delta t$ pour chaque prise de température ($\Delta t = 0,5 \text{ min}$).

On en déduit les résultats suivants :

- Pour la grande boîte : $C_Z^{\text{Tréf}} = 116,79 \text{ min}$
- Pour la petite boîte : $C_Z^{\text{Tréf}} = 228,42 \text{ min}$

3.4.4.3 Calcul de la valeur stérilisatrice

Le calcul de la valeur stérilisatrice s'effectue par la méthode graphique : la méthode de Bigelow. La courbe obtenue est représentée sur le figure 18, ci-dessous.

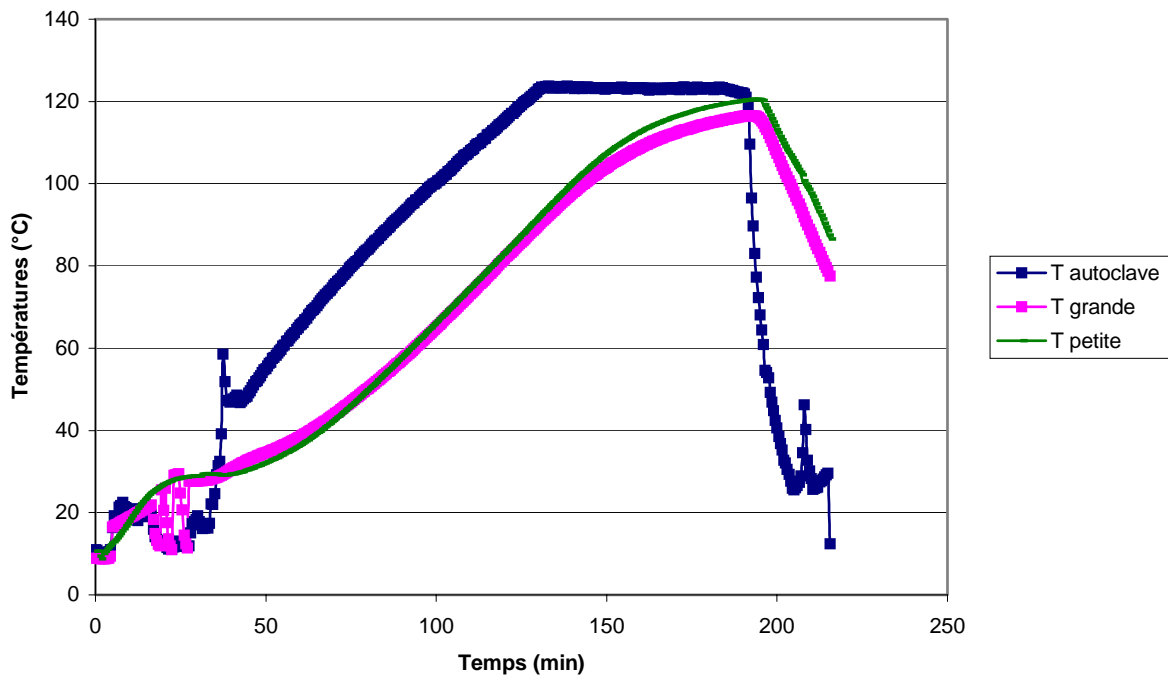


Figure 18 : Evolution des températures en fonction du temps au cours du 2ème essai

Remarque : Nous nous sommes rendus compte que les sondes se sont arrêtées avant la fin du cycle de l'autoclave. C'est pourquoi, sur la figure 18, nous n'avons pas l'évolution de la température en fonction du temps à partir du refroidissement. En fait, lors du second autoclavage, nous avons programmé à distance le départ et l'arrêt des sondes. Cependant pour des raisons indépendantes de notre volonté, nous avons perdu du temps. De ce fait, les sondes ont commencé à enregistrer alors qu'elles n'étaient pas encore dans l'autoclave.

On procède de la même manière que pour des calculs lors du premier essai.

$$F_Z^{T_{réf}} = \sum_i L_i \cdot \Delta t_i$$

où L est le facteur de létalité défini comme étant : $L = 10^{\frac{T_1 - T_{réf}}{Z}}$

Avec : $T_{réf} = 121,1^\circ\text{C}$

$Z = 10$

T_1 , la température de palier

Les températures ont été mesurées avec une fréquence de 30 secondes. Ainsi, notre Δt correspond à 30 s, soit 0,5 minute.

Après avoir calculé les L_i correspondant à une température supérieure ou égale à 100°C , on applique la formule $\sum_i L_i \cdot \Delta t$ pour chaque prise de température ($\Delta t = 0,5 \text{ min}$).

On en déduit les résultats suivants :

Pour la grande boîte : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 8,50 \text{ min}$

Pour la petite boîte : $F_Z^{121,1^\circ\text{C}} = 22,1 \text{ min}$

Les valeurs stérilisatrices obtenues à partir du barème proposé sont de 8,50 min pour la grande boîte et de 22,1 min pour la petite. Elles sont supérieures que celles prévues par les méthodes prédictives.

3.4.4.4 Calcul des caractéristiques intrinsèques du produit par la méthode de Ball

La méthode de Ball va nous permettre de caractériser d'autres paramètres que la valeur stérilisatrice : le CUT ou t_c , le temps de barème t_p et les paramètres f_h et j_h caractéristiques du transfert thermique à l'intérieur des produits.

3.4.4.4.1 Calcul de t_c

Comme précédemment, la détermination du CUT s'effectue de manière graphique tel qu'il est indiqué sur la figure 19 ci-après :

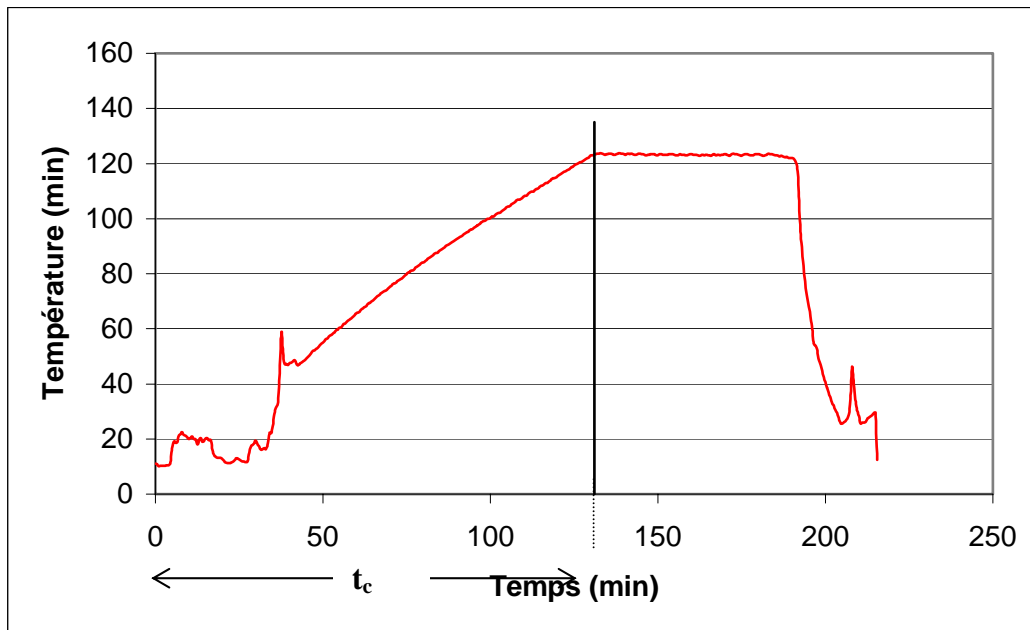


Figure 19 : Evolution de la température de l'autoclave en fonction du temps

L'autoclave atteint sa température de consigne (123°C) au bout de 131 minutes. On obtient ainsi $t_c = 131$ min.

3.4.4.4.2 Détermination du temps de barème t_p

De la même manière, le temps de barème est déterminé graphiquement. La phase de refroidissement débute à $t=191$ min.

Ainsi, dans notre cas, on trouve $t_p = 191 - 131 = 60$ min

3.4.4.4.3 Détermination de f_h

f_h représente le temps nécessaire pour réduire l'écart $(T_1 - T_a)$ d'un facteur 10. Il est donné par l'inverse de la pente de la régression linéaire, faite sur la partie linéaire de la courbe.

Comme précédemment, $\text{Log}(T_1 - T_a)$ en fonction du temps se définit par :

$$\log(T_1 - T) = \log(T_1 - T_0) \cdot j - \frac{t}{f_h}$$

On retrouve une équation de la forme $Y = aX + b$ avec $a = -\frac{1}{f_h}$

$$b = \log(T_1 - T_0) \cdot j$$

On trace $\log (T_1-T_a)$ en fonction du temps (cf. figure 20) La partie linéaire de la courbe est caractérisée par son ordonnée à l'origine qui représente l'écart $\log (T_1-T_a)$ et sa pente $a = -\frac{1}{f_h}$.

La figure 20 représente les résultats obtenus pour les deux formats de boîtes de conserve.

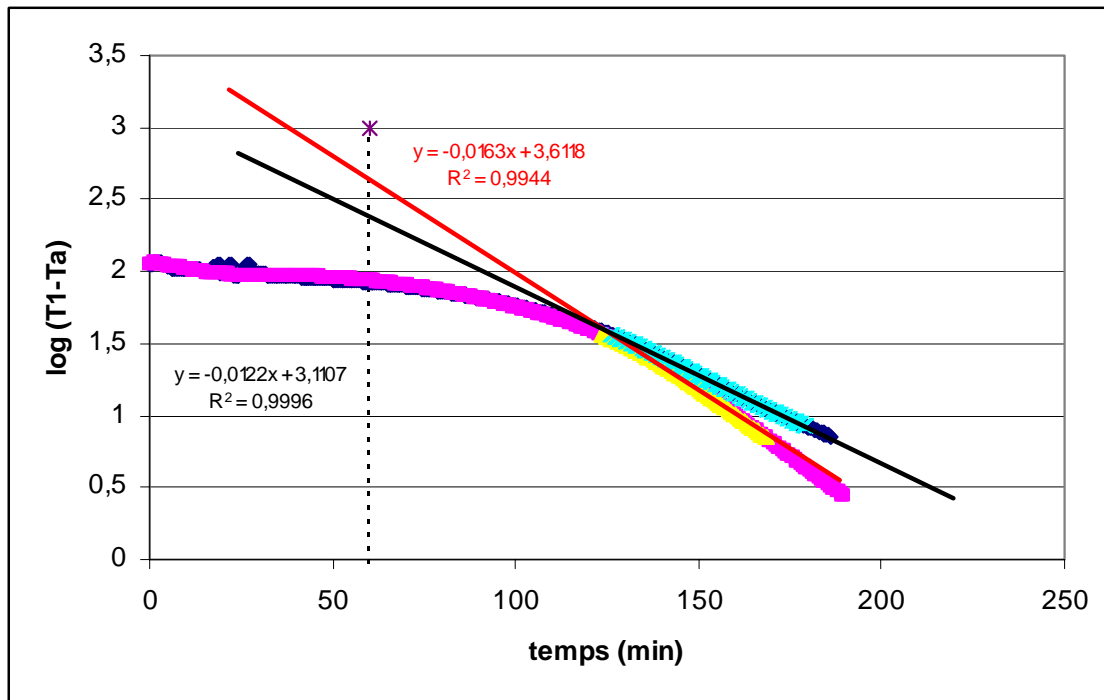


Figure 20 : Evolution de $\log (T_1-T)$ en fonction du temps au cours du 2^{ème} essai

Lors de notre deuxième essai, on obtient les résultats suivants :

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,0122x + 3,1107$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_h}$$

$$\text{Donc, } f_h = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_h = -\frac{1}{-0,0122} = 82 \text{ min}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0163x + 3,6118$$

$$\text{Or, } a = -\frac{1}{f_h}$$

$$\text{Donc, } f_h = -\frac{1}{a}$$

$$\text{Ainsi, } f_h = -\frac{1}{0,0163} = 61,34 \text{ min}$$

3.4.4.4 Calcul de j_h

D'après la définition :
$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

Où : T_1 est la température de barème

T_0 est la température initiale du produit

T_a est la température des boîtes au temps correspondant à $0,58 \cdot t_c$.

Le facteur j_h se définit en 2 étapes : tout d'abord, on calcule $(T_1 - T_a)$, puis on détermine j_h à l'aide T_1 et T_0 .

▪ Calcul de $T_1 - T_a$

Pour la grande boîte de conserve :

$$y = -0,0122x + 3,1107$$

$$\text{Pour } x = 0,58 \cdot t_c = 0,58 \times 131 = 76,27$$

$$y = -0,0122 \times 76,27 + 3,1107 = 2,18$$

Or, $y = \log(T_1 - T_a)$

$$\text{Ainsi, } T_1 - T_a = 10^{2,18} = 149,97^\circ\text{C}$$

Pour la petite boîte de conserve :

$$y = -0,0163x + 3,6118$$

$$\text{Pour } x = 0,58 \cdot t_c = 0,58 \times 131 = 76,27$$

$$y = -0,0163 \times 76,27 + 3,6118 = 2,37$$

Or, $y = \log(T_1 - T_a)$

$$\text{Ainsi, } T_1 - T_a = 10^{2,37} = 233,67^\circ\text{C}$$

▪ Calcul de j_h

La température de barème T_1 est de 123°C .

Pour la grande boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $8,93^\circ\text{C}$.

$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

$$\text{Ainsi, } j_h = \frac{149,97}{123 - 8,93} = 1,315$$

Pour la petite boîte de conserve :

La température T_0 est égale à $10,55^\circ\text{C}$.

$$j_h = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0}$$

$$\text{Ainsi, } j_h = \frac{233,67}{123 - 10,55} = 2,07$$

Au 1^{er} essai, les résultats de f_h et j_h étaient les suivants :

- **Pour la grande boîte de conserve :** $f_h = 92,6$ min et $j_h = 1,299$
- **Pour la petite boîte de conserve :** $f_h = 60,6$ min et $j_h = 1,566$

Les paramètres f_h et j_h représentent les caractéristiques spécifiques du produit. Or, au deuxième essai, les cuisses de canard ayant subi le traitement thermique, n'ont pas été

préparées de la même manière. Il s'agissait de cuisses de canard cuisinées aux cèpes, et non à l'orange, comme pour le 1^{er} essai. Cependant, les différences de transfert entre ces deux produits est à peu près semblable vu que les deux produits sont de composition très voisine (la seule différence réside en le changement de composition de la sauce dont l'ingrédient principal passe de l'orange au cèpe). On pense donc que la différence obtenue entre le j_h de la petite boîte au premier essai et le j_h au deuxième essai serait dû à la précision de la détermination par la méthode graphique.

En effet, il s'avère être difficile d'obtenir une détermination précise de j . La valeur de f_h est obtenue par ajustement de la droite des moindres carrés. Par construction, la droite passe donc par le point moyen et la moindre erreur de pente fait pivoter la droite autour du point moyen, entraînant ainsi une erreur importante au niveau de l'ordonnée à l'origine. Cette erreur est évidemment amplifiée exponentiellement par le passage de $\log(j)$ à j . Dans ces conditions, il est normal d'obtenir parfois des valeurs fantaisistes de j et f .

3.4.5 Interprétation des résultats

Suite aux calculs sur le premier et le deuxième essai, on peut dresser un tableau récapitulatif des résultats obtenus :

	1 ^{er} essai		2 ^{ème} essai	
	Grande boîte	Petite boîte	Grande boîte	Petite boîte
fh	92,6 min	60,6 min	82 min	62,4 min
jh	1,299	1,566	1,315	2,07
$F_Z^{\text{Tréf}}$	3,42 min	10,85 min	8,5 min	22,1 min
$C_Z^{\text{Tréf}}$	154,2 min	235,74 min	116,79 min	228,49 min

Notre objectif est l'optimisation des barèmes d'appertisation. Cette optimisation ayant pour but d'améliorer la texture des cuisses de canard jugées trop cuites, nous nous sommes basées sur le critère « texture de la viande » pour apprécier nos barèmes. Afin de baisser la surcuisson tout en restant dans des conditions sanitaires satisfaisantes nous avons décidé de privilégier la 4^{ème} possibilité énoncée dans la partie « 3.4.2.1 Choix du couple temps/température » à savoir : « on chauffe à des températures supérieures, mais en diminuant le temps, on garde ainsi la même la valeur stérilisatrice tout en baissant la valeur cuisatrice »

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons dire que nous avons pratiquement rempli cet objectif :

- d'un côté, nous n'avons pas réussi à garder la même valeur stérilisatrice : elle est passée de 3,42 min à 8,5 min pour la grande boîte et de 10,85 min à 22,1 min pour la petite boîte. On peut penser que cette différence peut être due au temps de palier plus important que celui prévu dans les calculs prédictifs. En effet, nous avons recommandé à La Maison des

Pâtures d'appliquer un barème de 55 minutes. Or, le temps de palier, lors du 2^{ème} essai, a atteint les 60 minutes. Nous pensons donc que cette différence influe sur la valeur stérilisatrice trouvée qui est nettement supérieure à celle attendue. Cependant, le fait de ne pas avoir obtenu la même valeur stérilisatrice n'est pas problématique : en augmentant, elle permet d'assurer un maximum de sécurité sanitaire

- de l'autre côté, nous sommes parvenues à baisser la valeur cuisatrice, qui est passée de 154,2 min à 116,79 min pour la grande boîte et de 235,74 min à 228,49 min pour la petite boîte.

Ces résultats sont encourageant dans le sens où notre objectif premier est l'amélioration de la texture des cuisses de canard.

3.5 ANALYSE DE LA DEGUSTATION

Tel que nous l'avons dit auparavant, le meilleur moyen pour vérifier si nous avons atteint notre objectif à savoir améliorer la texture du produit (c'est-à-dire déterminer un barème de stérilisation qui éviterait que les cuisses de canard cuisinées se démêlent), est de réaliser une analyse sensorielle par l'intermédiaire de tests triangulaires ou de tests duo-trio avec un panel de jury qui dégusterait les deux produits à l'aveugle. Ce panel de jury aurait pu être composé des clients de La Maison des Pâtures. Cependant cette entreprise n'est pas intéressée par ce type d'analyse dans la mesure où elle est de petite taille et est en situation pérenne depuis plusieurs années grâce à une clientèle majoritairement fidèle depuis 15-20 ans. De plus, une analyse sensorielle aurait engagé de nouveaux investissements. Malgré tout, La Maison des Pâtures nous a proposé de comparer les deux produits à savoir des cuisses de canard cuisinées stérilisées à partir de son barème avec des cuisses de canard cuisinées stérilisées à partir du barème que nous avons proposé suite à nos calculs prédictifs.

Les personnes ayant assistées à cette séance de dégustation sont les trois personnes qui ont réalisé ce projet, le dirigeant de La Maison des Pâtures et sa femme.

Les cuisses de canard stérilisées à partir du barème de La Maison des Pâtures étaient cuisinées avec une sauce aux cèpes et aux bolets. Ce bocal fut stérilisé en 2003. Tandis que les cuisses de canard stérilisées à partir du barème que nous avons proposé étaient cuisinées uniquement avec une sauce aux cèpes. Cependant la différence d'accompagnement ne pose pas de problème dans notre « analyse » parce que nous nous intéressons seulement à la texture des cuisses.

Avant de mettre le contenu des deux bocaux, à feu doux sur la gazinière, dans deux casseroles séparées mais de tailles identiques, nous avons comparé l'aspect visuel et à la cuillère de la texture des deux produits. D'après les opinions de chaque dégustateur, nous pouvons retenir que lorsque nous appuyons sur les cuisses de canards avec une cuillère, nous pouvons

remarquer que les cuisses stérilisées à partir de notre barème sont plus souples que les cuisses stérilisées avec le barème de La Maison des Pâtures.

Dans un second temps, nous avons comparé les deux produits en les dégustant. Les opinions de chaque dégustateur convergent :

- pour le barème de La Maison des Pâtures, nous remarquons que la chair des cuisses de canard cuisinées est plus sèche, plus compacte, les filaments plus serrés, la texture plus pâteuse.
- pour le barème que nous avons proposé, nous remarquons que la chair des cuisses de canard cuisinées est plus tendre, plus brillante, plus souple, moins pâteuse, moins compacte. Selon les dires de Mr Pierchon « l'aspect de ce produit fait plus penser à un produit frais qu'à un produit en conserve ».

Cependant nous sommes conscientes que les résultats que nous avons obtenu suite à cette séance de dégustation peuvent être faussés pour plusieurs raisons à savoir :

- les dégustateurs n'étaient pas dans des conditions réelles d'une séance d'analyse sensorielle : ce sont des dégustateurs naïfs, la dégustation ne s'est pas effectuée à l'aveugle, les dégustateurs ont pu s'influencer mutuellement pour donner les réponses dans la mesure où ils n'étaient pas dans des boxes séparés,
- les deux produits comparés n'avaient pas la même recette,
- la marinade au vin rouge et le braisage en variant d'un produit à l'autre peuvent influencer la texture initiale de la viande avant le traitement thermique. En effet, La Maison des Pâtures étant une petite entreprise, la fabrication des cuisses de canard cuisinées n'est pas standardisée. Les proportions des ingrédients et le mode de fabrication peuvent parfois légèrement varier. Par exemple, Mr Pierchon goûte les sauces qu'il prépare dans ses chaudrons, ainsi il se peut qu'un jour il rajoute un peu plus de sel, de poivre ou autre ingrédients parce que les perceptions sensorielles peuvent fluctuer selon l'état physiologique de l'individu.
- l'état de maturation de la viande après abattage peut influencer la texture. En effet, il est recommandé d'attendre entre 4 et 5 jours au minimum avant de cuisiner la viande. Cependant en ce qui concerne les cuisses de canards stérilisées à partir du barème retenu, la maturation a duré 10 jours. Ainsi des phénomènes biochimiques ont pu influencé l'attendrissement de la viande.

Par ailleurs, nous avons calculé le barème prédictif à partir d'une appertisation de cuisses de canard cuisinées à l'orange. Or, les contraintes de production étaient telles qu'il était impossible d'effectuer le deuxième essai de validation à partir de la même recette. Ainsi nous avons dû réaliser la validation de nos barèmes sur des cuisses de canard cuisinées aux cèpes. De ce fait, les transferts thermiques ont pu légèrement varier d'une stérilisation à l'autre, ce qui a pu influencer la texture finale du produit.

3.6 PERSPECTIVES

Le travail que nous avons effectué n'est que la première étape dans l'optimisation des barèmes d'appertisation des cuisses de canard cuisinées. En effet, si La Maison des Pâtures souhaite réellement appliquer ce barème, elle devra tout d'abord le faire valider auprès d'un expert du C.T.S.C.C.V.

Par ailleurs suite au second autoclavage, La Maison des Pâtures nous a fait part de quelques remarques à savoir :

- le barème de stérilisation que nous avons proposé demandait une température plus élevée que celle du barème de stérilisation de La Maison des Pâtures. En effet, nous sommes passés de 116°C à 123°C. Cette augmentation de la température a provoqué une augmentation de la température ambiante dans le laboratoire. Etant donné que nos essais ont été réalisés en hiver, il est fort probable que la température dans cette pièce soit encore plus élevée pendant la période estivale. Pour La Maison des Pâtures, cette situation est désagréable dans la mesure où pendant l'autoclavage, il lui arrive de travailler dans le laboratoire.
- le barème de stérilisation que nous avons proposé a engendré un coût énergétique plus élevé soit une demande plus élevée en gaz,
- sachant que la température que nous avons proposé est plus élevée, il faut plus de temps pour refroidir les conserves. Or en été, l'eau dans les canalisations est moins froide qu'en hiver. Ainsi la phase de refroidissement sera moins rapide.

De ce fait, comment améliorer la texture des cuisses de canard cuisinées sans avoir ces désagréments. Plusieurs possibilités s'offrent à La Maison des Pâtures :

- changer d'autoclave : La Maison des Pâtures pourrait investir dans un autoclave ayant une chaudière extérieure afin de diminuer le Coming Up Time. Cela permettrait une augmentation plus rapide de la température à l'intérieur des conserves,
- changer le mode de production : La Maison des Pâtures pourrait effectuer séparément un autoclavage pour les boîtes de petit format et pour les boîtes de grand format,
- adapter le barème d'appertisation à chaque format et à chaque type de recette.

Cependant il est certain que les possibilités proposées ci-dessous engendreront un investissement financier important pour La Maison des Pâtures. Maintenant il appartient à La Maison des Pâtures de choisir la solution la plus adaptée en fonction de ses objectifs et du coût financier engendré.

CONCLUSION

Notre objectif, qui est d'optimiser le barème d'appertisation appliqué par La Maison des Pâtures en vue d'améliorer la texture des cuisses de canard, a été en parti atteint. En effet, suite à divers calculs prédictifs nous avons déterminé un barème qui nous a permis de baisser la valeur cuisatrice de notre produit (pour les petites et les grandes boîtes).

Afin de vérifier que ce résultat déterminé par calcul était réellement perceptible visuellement et gustativement, nous avons effectué une analyse sensorielle avec les responsables de La Maison des Pâtures. Cette analyse plutôt positive, nous a permis de conforter nos résultats .

Cependant, nous avions prévu, dans nos calculs théoriques, de garder la même valeur stérilisatrice, ce qui n'a pas été le cas dans la pratique. En effet, nous avons observé une augmentation de cette valeur qui est passée pratiquement du simple au double. Ainsi, le barème que nous avons appliqué lors du second essai aux deux formats de boîte peut être amélioré.

En effet, les méthodes prédictives utilisées (Ball et Stumbo) doivent être considérées comme des techniques de « tâtonnement ». Elles permettent d'effectuer une série d'essais ayant pour but de se rapprocher au fur et à mesure du barème optimal. Dans notre cas, il n'a été possible de faire qu'un seul essai prédictif. Il aurait fallu, suite à cet essai, en effectuer un deuxième qui nous aurait permis d'affiner nos résultats. Faute de temps cela n'a pas pu être réalisable. Il serait donc intéressant de poursuivre ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

LIVRES :

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, *Expertise des conserves appertisées, aspects techniques et microbiologiques*, AFNOR, 1982

BIMBENET J.J., DUQUENOY A., TRYSTRAM G., *Génie des procédés alimentaires, des bases aux applications*, Dunod, 2002

BOURGEOIS C.M., MESCLE J.-F., ZUCCA J., *Microbiologie alimentaire , tome 1 : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*, Tec&Doc, 1996

CENTRE TECHNIQUE DE LA CONSERVATION DES PRODUITS AGRICOLES, *Fabrication des conserves de produits végétaux appertisés*, Journaux officiels, juillet 1999.

DUDEZ P., *Conserves traditionnelles et fermières*, Educagri, 1998

GIRARD J.P., *Technologie de la viande et des produits carnés*, Lavoisier Tec&Doc, 1988

LAROUSSE J., *La conserve appertisée, aspects scientifiques, techniques et économiques* Lavoisier Tec&Doc, 1991

MAFART P., *Génie Industriel Alimentaire : les procédés physiques de conservation, 2^{ème} édition*, Tome 1 et Tome 2, Tec&Doc, 1991 et 1996

TOLEDO R. , *Fundamentals of food process engineering, second edition*, Chapman & Hall, 1991

SITES INTERNET :

<http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/NTPF2/SERIE2/chalrath.htm>

<http://www.processs.com/mementos/m4002.htm>

<http://www.auriol.fr>

ANNEXES

Annexe 1 : Pot industriel

Annexe 2 : Capsules pour bocaux en verre

Annexe 3 : Autoclaves discontinus

Annexe 4 : Autoclaves continus

Annexe 5 : Note de la DGAL

Annexe 6 : Résultats du 1^{er} autoclavage

Annexe 7 : Résultats du 2nd autoclavage

Annexe 8 : Table de Ball

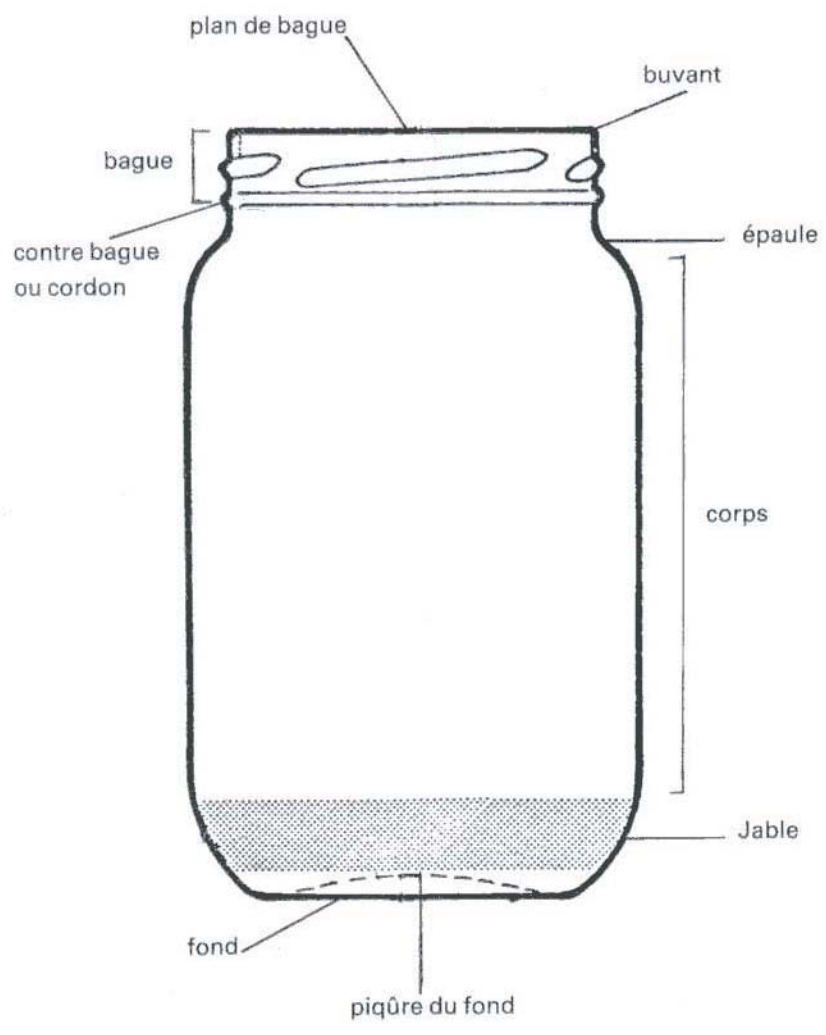
Annexe 9 : Régression linéaire

Annexe 10 : Table de Stumbo

Annexe 11 : Méthode de Stumbo

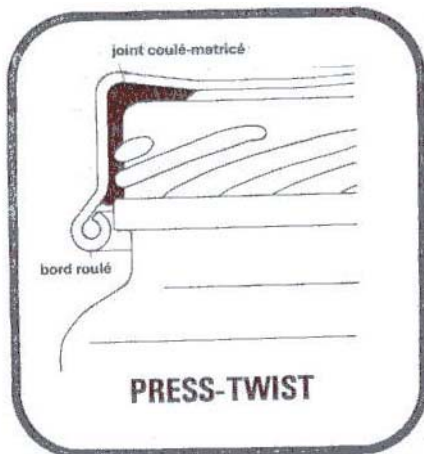
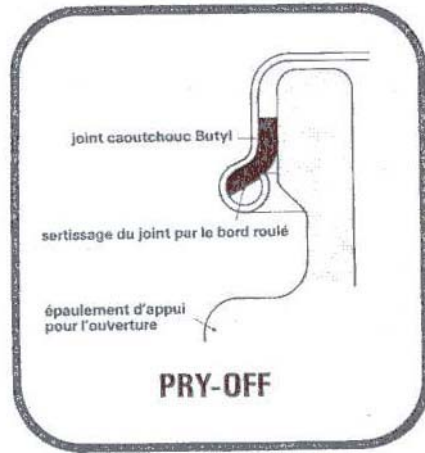
ANNEXE 1

Pot industriel



ANNEXE 2

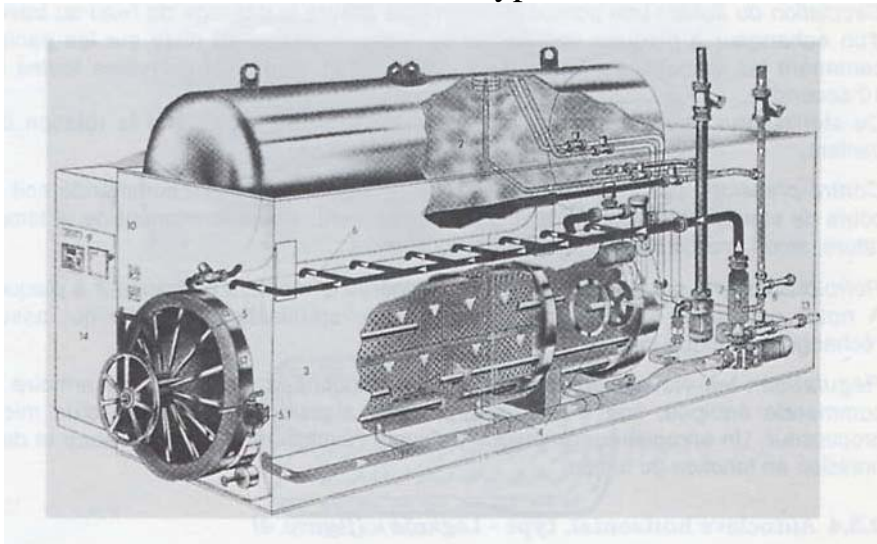
Capsules pour bocaux en verre



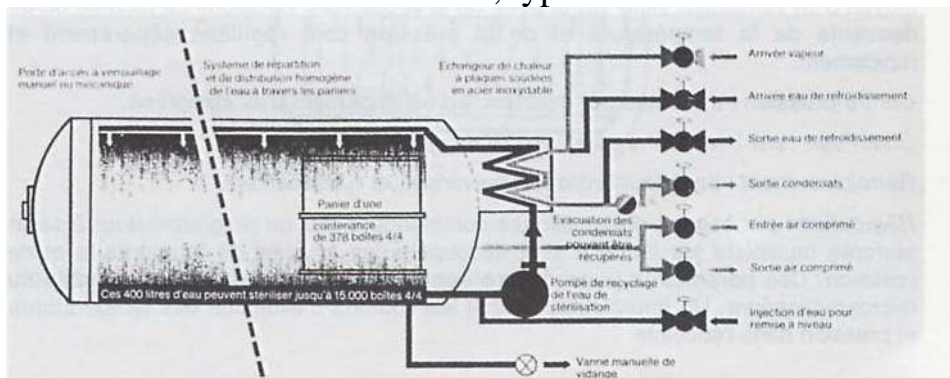
ANNEXE 3

Autoclaves discontinus

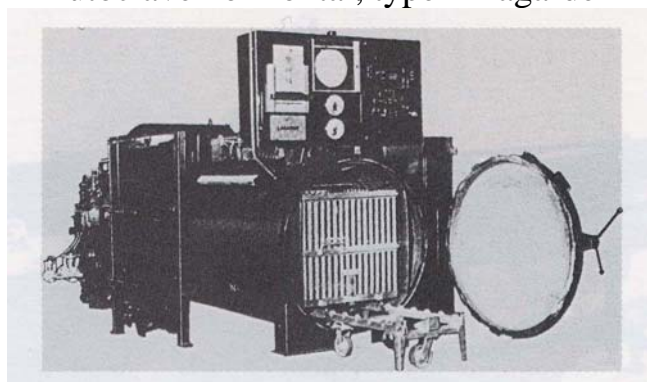
Autoclave horizontal, type « Rotomat »



Autoclave horizontal, type « Steriflow »



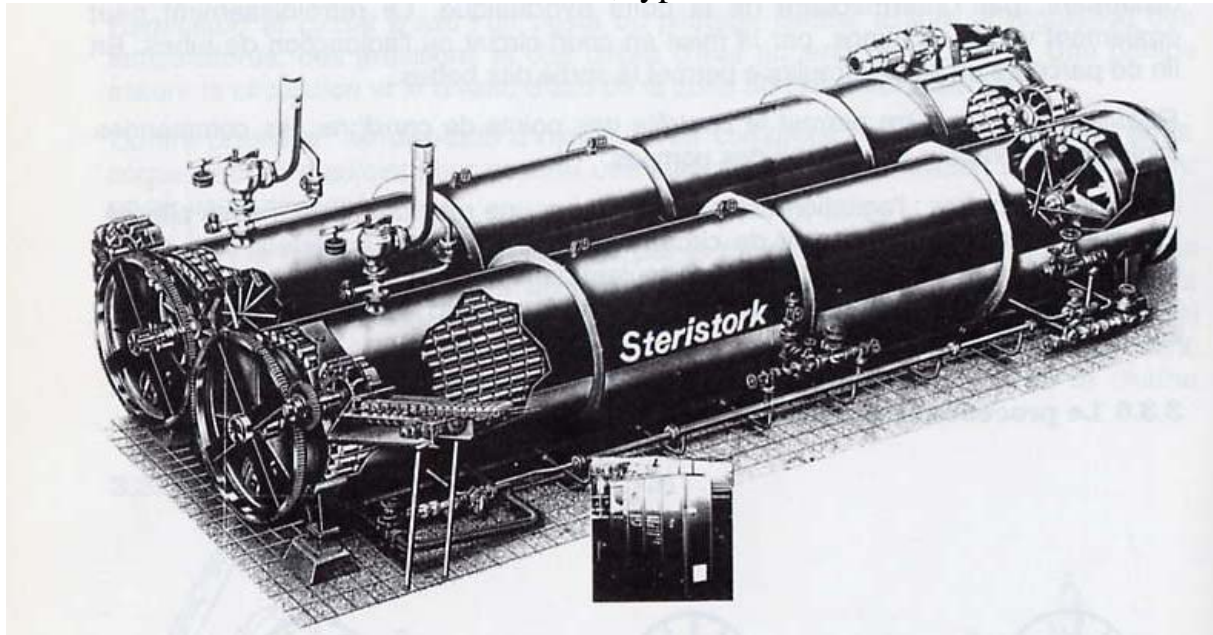
Autoclave horizontal, type « Lagarde »



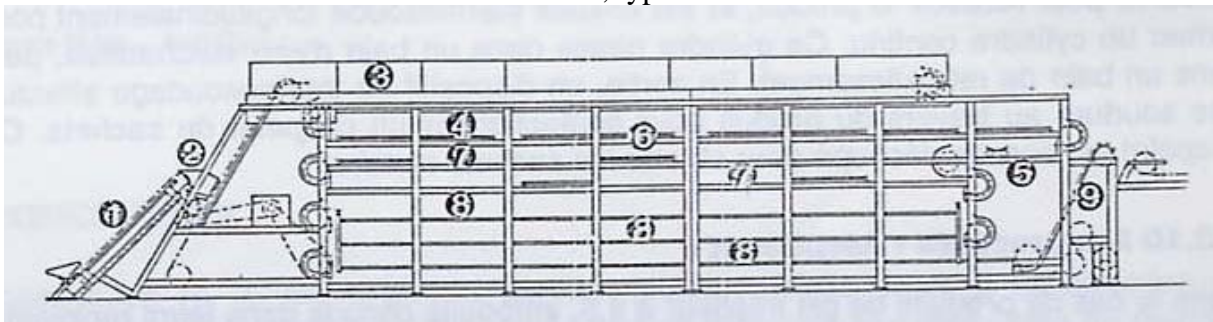
ANNEXE 4

Autoclaves continus

Autoclave horizontal, type « Stérilmatic »

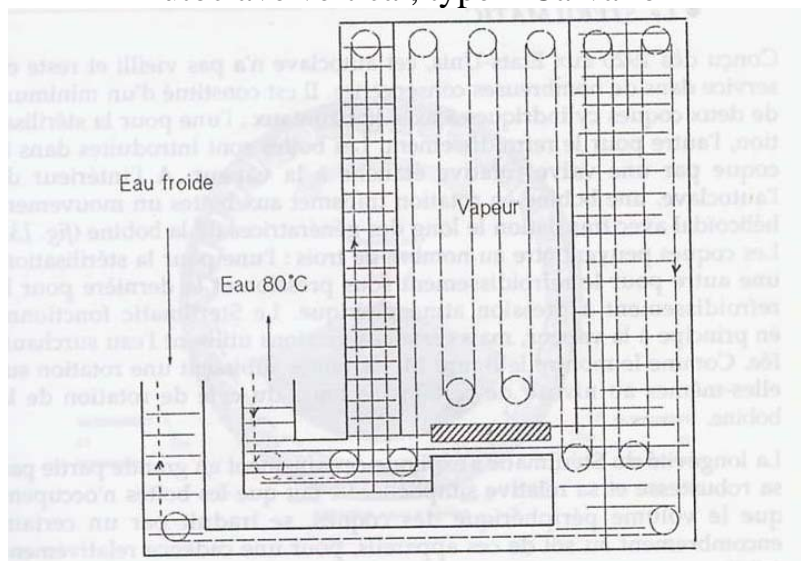


Autoclave horizontal, type « Stériflamme »



1.

Autoclave vertical, type « Carvallo »



ANNEXE 5

Note de la D.G.AL

ANNEXE 6

Résultats du 1^{er} autoclavage

ANNEXE 7

Résultats du 2nd autoclavage

ANNEXE 8

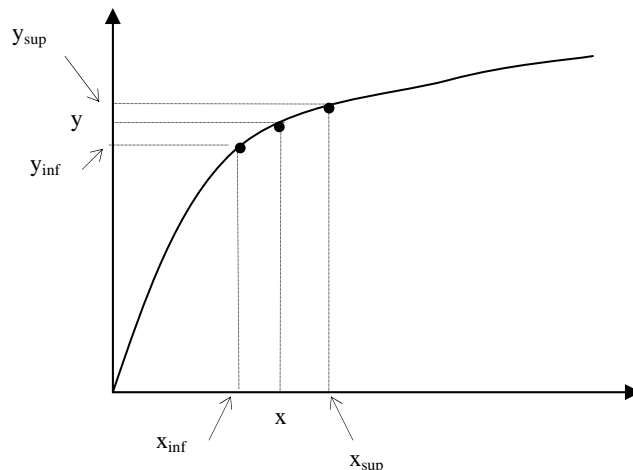
Table de Ball

ANNEXE 9

Régression linéaire

Comment extrapoler des mesures qui ne sont pas proportionnelles ?

Prenons l'exemple de mesures qui suivraient une allure de courbe telle que ci-dessous :



On possède la valeur de x et on cherche la y correspondant. Pour cela on effectue une régression linéaire sur les valeurs situées à $\pm \Delta x$. On considère que cette partie est linéaire car proche de la valeur x . Dans notre cas on prend la valeur inférieure est supérieure à notre x dans les tables et on considère qu'elle suivent une droite. On en déduit alors y .

$$X_{\text{sup}} - X_{\text{inf}} \left[\begin{array}{l} X_{\text{inf}} \rightarrow y_{\text{inf}} \\ x \rightarrow ? \\ X_{\text{sup}} \rightarrow y_{\text{sup}} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} y - y_{\text{inf}} \\ y_{\text{sup}} - y_{\text{inf}} \end{array} \right]$$

$$\left. \begin{array}{l} X - X_{\text{inf}} \rightarrow y - y_{\text{inf}} \\ X_{\text{sup}} - X_{\text{inf}} \rightarrow y_{\text{sup}} - y_{\text{inf}} \end{array} \right\} \rightarrow (y - y_{\text{inf}}) \times (X_{\text{sup}} - X_{\text{inf}}) = (y_{\text{sup}} - y_{\text{inf}}) \times (X - X_{\text{inf}})$$

$$(y - y_{\text{inf}}) = (y_{\text{sup}} - y_{\text{inf}}) \times \frac{X - X_{\text{inf}}}{X_{\text{sup}} - X_{\text{inf}}}$$

On obtient donc l'équation suivante :

$$y = y_{\text{inf}} + (y_{\text{sup}} - y_{\text{inf}}) \times \frac{X - X_{\text{inf}}}{X_{\text{sup}} - X_{\text{inf}}}$$

ANNEXE 10

Table de Stumbo

ANNEXE 11

Méthode de Stumbo