

Résumé de mémoire de fin d'études

Etude de l'effet du sel (NaCl) sur les paramètres de cuisson de la crevette à pattes blanches (*Litopenaeus vannamei*)

Par : Adrien GROISARD



Soutenu à Rennes le 12 septembre 2024

Devant le jury composé de :

Président : Catherine GUERIN

Maître de stage : Hélène OLLIVIER

Enseignant référent : Juliane FLOURY

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Glossaire

- **Agréage** : Contrôle et validation de la conformité de la matière première. L'agréage est réalisé par le service qualité
- **Calibre** : Classification des crevettes selon leurs tailles. Le calibre des crevettes correspond au nombre d'individus pour former un kilogramme (ou une livre pour les crevettes décortiquées)
- **Cuiseur** : Opérateur qualifié, chargé du bon fonctionnement de la ligne de cuisson.
- **Décortiquer** : Action d'enlever la carapace des crevettes
- **Déveiner** : Action de retirer la veine centrale et l'intestin des crevettes
- **Glazurage** : Fine couche de glace à la surface de la matière. Son rôle est de préserver la qualité du produit.
- **Mareyage** : Activité qui consiste à préparer (tri, nettoyage, découpes éventuelles) les produits de la pêche avant leur distribution

Liste des abréviations

- **ASC** : Aquaculture Stewardship Council
- **Déco** : Crevette décortiquée
- **FAI** : Unité de cuisson automatique
- **LR** : Label Rouge
- **LS** : Libre-Service
- **MDD** : Marque De Distributeur
- **Méta** : Métabisulfites
- **MSC** : Marine Stewardship Council
- **MP** : Matière Première
- **PF** : Produit Fini
- **PPV** : Peeled Pull Veined
- **PTO** : Peeled Tail On
- **SCRU** : Cuisson de crevettes crues sur ligne statique
- **SCU** : Ligne de cuisson statique
- **STD** : Crevette standard, sans label
- **Trad** : Rayon traditionnel/Poissonnerie du point de vente
- **Up** : Unité de Production

Liste des illustrations

- **Figure 1** : Stades de développement de *Litopenaeus vannamei*
- **Tableau 1** : Poids des échantillons pour représentativité du lot
- **Figure 2** : Schéma du plan d'expérience

Sommaire

I.	Introduction.....	1
II.	Contexte de l'étude.....	2
A.	Le groupement : Les Mousquetaires.....	2
B.	Le pôle Mer.....	2
C.	La structure d'accueil : UP Capitaine Houat Lanester	2
D.	Contexte menant à la mission	3
III.	Bibliographie.....	4
A.	Biologie de la crevette <i>Litopenaeus vannamei</i>	4
1.	Description	4
2.	Habitat	4
3.	Alimentation	4
4.	Reproduction.....	5
B.	La production de crevettes.....	6
1.	L'élevage des crevettes	6
2.	La récolte et la conservation	6
C.	Cuisson de crevettes.....	7
IV.	Matériel et méthodes.....	9
A.	Mise en place du questionnaire producteurs	9
B.	Matières premières utilisées	9
1.	Analyses des crevettes crues congelées.....	9
2.	Essais de cuisson.....	9
C.	Plan d'expérience des essais de cuisson	9
D.	Analyse des crevettes	10
E.	Analyses statistiques	11
V.	Résultats et discussion	12
A.	Etat des lieux des différentes pratiques des fournisseurs	12
B.	Effets des paramètres de congélation sur la matière première	12
C.	Le rendement de cuisson dépend de la salinité initiale et de la taille	12
D.	La matière première impacte la variation de salinité lors de la cuisson	12
E.	Prédictions de l'évolution des paramètres de cuisson.....	13
VI.	Limites de l'étude	13
VII.	Conclusion	13
	Références bibliographiques	14
	Annexe I.....	17
	Annexe II.....	18

I. Introduction

Le sel de table (NaCl), est l'un des ingrédients les plus anciens et les plus répandus de l'alimentation humaine. Durant l'histoire, il a été utilisé par l'Homme non seulement pour ses propriétés organoleptiques, pour rehausser le goût aux aliments, mais aussi dans un but de conservation des denrées. L'industrie agro-alimentaire en est aussi une grande utilisatrice car en plus des propriétés déjà citées, il est aussi couramment utilisé dans les process alimentaires. De ce fait, on en retrouve dans près de 80% des aliments vendus en grande surface.

Depuis plusieurs années, les attentes sociétales vis-à-vis des produits de l'industrie agroalimentaire commencent à évoluer et les consommateurs désirent de plus en plus consommer des produits sains et équilibrés. Le sel dont la surconsommation est l'un des facteurs menant à l'hypertension n'y échappe pas, et de nombreuses gammes de produits allégés en sel voient le jour. Avec l'apparition des outils comparatifs des produits alimentaires et le développement du Nutri-Score, il est devenu encore plus facile d'étudier la composition des produits vendus en grandes surfaces.

Ce contexte a amené l'entreprise à se demander **Comment la teneur en sel (NaCl) des crevettes (*Litopenaeus vannamei*) impacte-t-elle le processus de cuisson chez Capitaine Houat ?** Cette interrogation se divise en deux axes majeurs qui concernent à la fois l'impact des paramètres des matières premières, puis un second axe qui concerne la cuisson et se concentre sur l'impact du sel contenu dans les crevettes et du sel intervenant lors du processus sur l'ensemble des paramètres de cuisson.

Pour cela, les parties de contexte de l'étude et de bibliographie vont poser les bases du sujet concernant les problématiques rencontrées en interne et vont faire le lien avec les conditions théoriques de production étudiées dans la littérature. Puis une partie méthode va détailler les différents moyens mis en place pour l'obtention des résultats. Ces derniers seront présentés et discutés dans la partie suivante. Enfin, les limites de l'étude seront décrites avant qu'une conclusion globale ne soit dressée. Cette conclusion va se baser sur les différents résultats présentés, ainsi que sur les connaissances théoriques listées, et le devenir de la mission sera discuté en fin de rapport.

II. Contexte de l'étude

A. Le groupement : Les Mousquetaires

Le groupement des Mousquetaires est créé en 1969 en Bretagne, sous l'impulsion de Jean-Pierre Le Roch sous le nom « Ex-Offices de distribution », qui deviendra Intermarché en 1973 (Agromousquetaires, 2024). Les années 70 serviront ainsi à établir les bases de la stratégie du groupement que l'on retrouve encore aujourd'hui, avec la création des premières marques de distributeurs (MDD) de France. Cette stratégie permet au groupement de se diversifier en n'étant plus seulement un ensemble de points de ventes, mais aussi un ensemble de producteurs. La première usine de production voit le jour en 1974 à Guidel et produit des surgelés à base de viande et de poisson. Ce fonctionnement en filière intégrée permet de diminuer la dépendance aux marques nationales et de proposer des prix plus petits à leurs consommateurs (Agromousquetaires, 2022a).

L'entreprise renforce sa position de producteurs-commerçants en se structurant en 6 pôles de productions totalisant 56 usines (Agromousquetaires, 2022b), qui ont pour but d'augmenter le nombre de produits de MDD que l'on retrouve dans les rayons de leurs points de vente (Agromousquetaires, 2022c). Récemment, ce sont plus de 120 points de vente Casino qui ont été repris par Les Mousquetaires et convertis en Intermarché ou en Netto (170 le seront d'ici novembre).

B. Le pôle Mer

Le pôle Mer est donc l'un des six pôles des Mousquetaires. Il regroupe les 5 UP du groupe ainsi que la Scapêche qui est le premier armement de France et qui permet de fournir (en partie) les usines du pôle. La Scapêche opère dans les zones FAO 27 (Atlantique Nord-Est) et FAO 58 (Sud Océan Indien, basé à la Réunion pour à la légine). Les 5 usines du pôle sont Capitaine Houat à Lanester et Boulogne-sur-Mer, Capitaine Cook à Plozévet et à Clohars-Carnoët, et Moulins de la Marche.

C. La structure d'accueil : UP Capitaine Houat Lanester

La structure d'accueil de ce stage est l'UP de Capitaine Houat basée à Lanester. Ses activités principales sont le mareyage et le filetage de poissons côtiers, la cuisson de crevettes, de coquillages et de crustacés. Elle possédait auparavant des viviers qui ne sont plus utilisés à l'heure actuelle.

Comme indiqué précédemment, Capitaine Houat réalise la transformation et le conditionnement de produits de la mer : poissons, coquillages et crustacés. Les différents produits de l'usine sont préparés dans trois ateliers différents.

Le fonctionnement de l'usine est séparé en trois ateliers :

- L'atelier Frais qui réalise le mareyage des poissons
- L'atelier Cuisson qui s'occupe de cuire les coquillages et crustacés
- L'atelier LS qui conditionne les produits vendus en rayons LS

C'est l'atelier Cuisson qui est au centre de ce sujet car c'est lui qui réalise la cuisson des crevettes. Il se compose de cinq lignes de production qui s'occupent de cuire les crevettes réceptionnées par l'usine. La très grande majorité des crevettes réceptionnées sont produites en aquaculture, conditionnées sur leur lieu de production et réceptionnées congelées dans l'usine. Un agréage est effectué lors de la réception pour s'assurer de la conformité des produits (qualité, calibre...) Les calibre de crevettes sont définis selon le nombre d'individus nécessaires pour former 1 kg de crevettes entières (exemple : 1 kg de crevettes entières de calibre 30/40 contiendra entre 30 et 40 crevettes).

Une fois sorties de la chambre froide de stockage, les crevettes sont décartonnées et placées sur la ligne de cuisson correspondante. Les crevette sont ensuite placées successivement au contact d'une eau de décongélation, puis d'une eau de cuisson et d'une saumure pour le refroidissement. Les temps dans chaque bain varient selon le calibre des crevettes. Toutes les crevettes étudiées, indépendamment de leur présentation (entière, PTO, PPV) sont de l'espèce *Litopenaeus vannamei*.

D. Contexte menant à la mission

Dans un objectif de pilotage des lignes de cuisson des crevettes et aussi afin de maîtriser l'utilisation de sel dans leur processus, Capitaine Houat a défini cette mission afin d'étudier le rôle du sel sur le processus de cuisson des crevettes. Il s'agit aussi de déterminer comment il évolue lors de la cuisson et de dresser les premières pistes sur la précision de la mesure de la salinité des produits finis. A l'issue de cette étude, il faudrait aussi pouvoir être en mesure de définir le taux de sel maximal acceptable dans les matières premières reçues par Capitaine Houat.

Cette mission porte uniquement sur une partie des lignes de cuisson, en lien avec les espèces et calibres considérés. De ce fait, l'étude portera aussi sur l'espèce la plus utilisée : *Litopenaeus vannamei*, que l'on retrouve en entière, décortiquée et en couronne.

A la suite de cette étude, les perspectives d'évolution seront aussi prises en compte afin de mettre en place un plan d'action. Ce plan d'action devrait comprendre les valeurs de salinités maximums acceptables pour les fournisseurs, les études complémentaires à réaliser pour l'entreprise et les parties à adapter en vue d'une future étude éventuelle sur le sujet.

III. Bibliographie

A. Biologie de la crevette *Litopenaeus vannamei*

1. Description

La crevette à pattes blanches (*Litopenaeus vannamei*) est une espèce de crustacées faisant partie de la famille des pénéides (Boone, 1931) et est décrite pour la première fois par L.Boone en 1931 (Boone, 1931). Les pénéides sont des crustacés décapodes qui regroupent les différentes espèces appelées communément sous le nom de « crevettes » (Boone, 1931; Fofonoff et al., 2014).

La crevette à pattes blanche a une taille qui peut aller de 9 à 23 cm à l'âge adulte, pour un poids qui avoisine les 50 grammes. *L.vannamei* est de couleur pâle à translucide et possède des pattes particulièrement blanches comme l'indique son nom. Sa couleur peut néanmoins varier selon son alimentation ainsi que selon son état de santé (Pérez Farfante and Kensley, 1997). L'espèce est aussi caractérisée par un rostre composé d'une dizaine de dents sur la face ventrale et de 2 à 4 dents sur la face dorsale. Généralement, les femelles ont une croissance plus rapide et plus importante que les mâles (FAO, n.a.).

2. Habitat

A l'état sauvage, la crevette à pattes blanches vit dans les eaux tropicales de l'océan Pacifique. La gamme de température qu'elle peut supporter est comprise entre 20°C et 30°C, et elle est sensible aux eaux froides (Grave and Fransen, 2011; Moscoso, 2012). La salinité de l'eau tolérée est assez large puisqu'elle est comprise entre 0,2‰ et 4,5‰, même si elle est plus à l'aise (surtout dans ses stades juvéniles) dans des gammes entre 0,5‰ et 3,5‰. De ce fait, on la retrouve sur la côte Est d'Amérique Latine, du Mexique au Pérou. A cause du développement de son élevage en aquaculture et de l'action de l'Homme, il est désormais possible de la retrouver sur la côte pacifique ouest de l'Amérique, ainsi qu'en Asie Sud-Est (Inde, Chine...) (FAO, n.a.). Bien que son adaptation à ces environnements nouveaux pour l'espèce se soit faite facilement, la crevette à pattes blanches n'est pas considérée comme une espèce indigènes invasive pour l'instant (Fofonoff et al., 2014)

Litopenaeus vannamei est une espèce grégaire car elle vit en groupes importants dans son milieu naturel (Boone, 1931; Moscoso, 2012). Cette sociabilité permet à l'espèce de maximiser ses chances de survies face à ses prédateurs. Ces derniers sont nombreux lorsque l'on s'approche des littoraux. Les prédateurs de l'espèce sont les oiseaux et poissons qui se nourrissent habituellement de crustacés.

3. Alimentation

La crevette à pattes blanche est – à l'image des autres espèces de crevettes – une espèce omnivore (Grave and Fransen, 2011). Elle se nourrit principalement de plancton et de zooplancton benthique, mais son régime alimentaire reste tout de même le carnivore car elle mange aussi des invertébrés aquatiques (mollusques et autres crustacés). Enfin, elle complète son alimentation en se nourrissant d'algues. Ces dernières lui permettent d'avoir des apports en nutriments afin d'éviter les carences.

4. Reproduction

Le cycle de vie de cette espèce (**Figure 1**) se compose d'une phase larvaire et d'une phase adulte. Lors de la phase larvaire, l'individu passe par 6 stades de nauplies qui met en place le premier développement de la larve, à ce stade elle s'alimente encore avec les réserves contenues dans l'œuf. Ensuite il y a trois étapes de protozoé où la structure de l'animal se forme afin de ressembler de plus en plus à l'individu adulte. Enfin, pour clore le stade larvaire, la crevette a trois étapes de mysis. Cette étape permet à la crevette d'être très ressemblante à sa forme adulte. A ce stade elle peut se mouvoir, s'alimenter seule et adopter un mode de vie benthique (Wei et al., 2014).

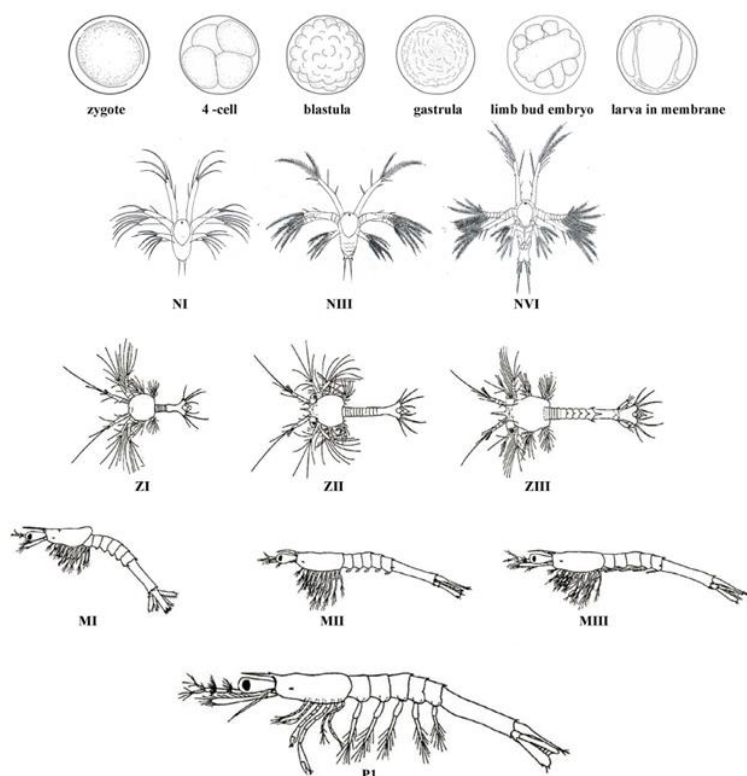


Figure 1 : Stades de développement de *Litopenaeus vannamei* (Wei et al., 2014)

Après ces étapes de développement, la crevette passe par les phases de juvénile, individu jeune et individu adulte. Lors de l'étape de juvénile, l'individu est particulièrement vulnérable (surtout en aquaculture). Lors de ces étapes, la crevette gagne en taille ainsi qu'en capacités de reproduction. Les individus de l'espèce sont généralement matures sexuellement aux alentours de 3 ans.

Comme les autres espèces de pénéides, la *Litopenaeus vannamei* a une stratégie de reproduction r. Cette stratégie lui fait émettre plusieurs centaines de milliers d'œufs, dont seule une faible proportion sera fécondée et permettra la survie de l'individu jusqu'à l'âge adulte. A l'état naturel, on estime que seul 1 œuf sur 10000 donnera un individu qui sera aussi en mesure de se reproduire (Moscoso, 2012; Wei et al., 2014).

B. La production de crevettes

1. L'élevage des crevettes

La crevette à pattes blanches est l'espèce de crevettes la plus consommée dans le monde (FAO, n.a.; FAO, n.a.). Cette consommation importante est principalement causée par le fait que c'est aussi l'espèce de crevette la plus élevée. Cet élevage important est relativement récent puisqu'avant le début des années 2000 c'était la crevette tigrée noire (*Penaeus monodon*) qui occupait la première place. Cependant, grâce à un prix plus faible ainsi qu'à une meilleure résistance aux maladies, la crevette à patte blanches a remplacé la tigrée noire au classement avec 72% de la production mondiale (Ifremer, 1995). *L.vannamei* est ainsi élevée dans des zones similaires à celles où on la retrouve à l'état naturel, c'est-à-dire sur les côtes de l'Amérique du Pérou aux Etats-Unis pour la côte Pacifique et du Brésil aux Etats-Unis pour la côte Atlantique. On retrouve aussi des élevages importants en Asie du Sud-Est avec les Philippines, la Malaisie, l'Inde et la Chine qui en est le plus grand producteur à l'échelle mondiale (Ifremer, 1995)

Avant d'en industrialiser la production, les juvéniles étaient capturés dans leurs milieux naturels puis placés en bassins afin de poursuivre les autres étapes de l'élevage. C'est à la fin des années 90 que des programmes de domestications permettent de maîtriser la reproduction de la crevette à pattes blanches (Boyd et al., 2021; FAO, n.a.). Les géniteurs sont gardés dans des bacs de maturations à l'écart des populations élevées. L'alimentation et la luminosité des bassins sont gérées afin de contrôler la phase de reproduction, et les femelles ont un pédoncule oculaire qui leur est retiré ce qui leur permet à la fois d'être matures plus rapidement, mais aussi de réduire les intervalles entre les pontes. Après mise en contact des géniteurs mâles et femelles, la fécondation a lieu et les nauplies sains vont se retrouver à la surface du bassin car ils sont attirés par la luminosité.

Après la récolte des nauplies, ces derniers sont placés en écloserie pour une durée moyenne de 21 jours. Durant ces trois semaines, ils sont principalement nourris avec des artémias et des microalgues. Le taux de survie est de 60% en moyenne. Lorsque la phase de jeune individu est atteinte, les crevettes sont placées en bassin pour leur grossissement. Le côté grégaire de l'espèce permet une mise en bassin facile car les individus cohabitent bien entre eux. Les techniques de grossissement varient selon le type de ferme (extensive, semi-intensive ou intensive).

2. La récolte et la conservation

La récolte des crevettes a lieu lorsque les individus ont atteint la taille désirée. Elle a lieu au bout de 5 mois pour les plus petits calibres et peut aller jusqu'à 1 an pour les plus gros. La récolte se fait en plaçant des filets au niveau des zones d'évacuations de l'eau lors du vidage du bassin. La récolte peut aussi se faire avec des filets traînés dans l'eau du bassin une fois celui-ci vidé d'une partie de son eau. Pour les élevages extensifs, les rendements de récoltes sont de 500kg/ha/récolte avec 1 à 2 récoltes par an selon le calibre désiré.

Après la récolte, les crevettes sont triées et tuées en les plaçant dans une eau dont la température est inférieure à 4°C. Du métabisulfite de sodium peut être ajouté à l'eau d'abattage, il permet d'éviter le développement de mélanose (Damasceno and Gonçalves, 2019). La mélanose se caractérise par l'apparition de taches brunes sur la carapace des crevettes, et bien qu'il n'y ait pas d'impact tant au niveau des qualités organoleptiques qu'au niveau de l'impact sur la santé du consommateur, la présence de mélanose est à éviter afin de mieux valoriser le produit. Après la mise à mort, les crevettes sont préparées selon leur présentation finale (laissées entières, décortiquées, déveinées...) puis elles sont généralement congelées afin d'être plus facilement transportées et conservées. La congélation permet de diminuer l'activité de l'eau (*aw*), ce qui permet de limiter la dégradation du produit par les micro-organismes. Cet effet est uniquement bactériostatique et n'a aucun effet bactéricide (Ifremer, 1966; Ifremer, 1995). Les techniques de congélation varient selon les producteurs et les objectifs visés, on retrouve généralement la congélation en saumure et celle en tunnel. La cinétique du processus de congélation va ici dépendre de la couche limite entourant le produit, et ainsi la congélation en saumure se fera plus rapidement qu'en tunnel (où la couche limite est l'air). Dans tous les cas, les crevettes reçues par l'entreprise ont subi une surgélation de type Individually Quick Frozen (IQF) qui permet une surgélation individuelle rapide des crevettes sans entraîner de collage entre elles.

C. Cuisson de crevettes

La cuisson industrielle des crevettes va suivre trois phases :

- La phase de décongélation qui est un moment sensible du processus. Si elle est réalisée dans de mauvaises conditions, les micro-organismes potentiellement présents dans la chair peuvent avoir le temps de se développer de nouveau et être nocifs pour le consommateur final. De plus, en cas de décongélation trop rapide, il y a aussi la possibilité de former un exsudat (Melcion and Colonna, 1983), ce qui diminue le rendement de l'opération. C'est pour cela qu'il est déconseillé de réaliser une décongélation à température ambiante et air statique. Cependant, industriellement, il n'est pas possible de réaliser une décongélation lente en chambre froide. Pour cela, l'étape de décongélation consiste à mettre en contact les crevettes avec de l'eau tiède (entre 20°C et 50°C) afin d'avoir que cette étape soit brève et ne ralentisse pas le process.
- La phase de cuisson qui permet ainsi de tuer les micro-organismes avant qu'ils n'aient le temps de se développer de nouveau après la décongélation. La cuisson réalisée de manière industrielle permet un enchaînement rapide de ces étapes dans un court laps de temps. La cuisson utilisée est la cuisson par ébullition, qui est parmi les modes de cuisson les plus répandus. Cette méthode de cuisson présente de nombreux avantages tant gustatifs que sanitaires. Le principe de cette cuisson est assez simple en réalité puisqu'il s'agit uniquement d'exposer l'aliment à cuire à de l'eau en ébullition (ou à température élevée). L'utilisation d'eau et la température proche de 100°C ne permettent pas de développement de réaction de Maillard, ce qui permet à l'aliment de préserver sa saveur d'origine. Ainsi, la cuisson permet un

maintien de la chair de la crevette, un développement des qualités organoleptiques (goût, saveur, couleur...). La cuisson a aussi un effet pasteurisateur, ce qui signifie qu'elle va réduire considérablement la quantité de micro-organismes contenus dans l'aliment et donc permettre une date de consommation maximale plus longue (Melcion and Colonna, 1983; Erdogdu et al., 2004).

- L'étape de refroidissement qui se fait par mise en contact entre les crevettes cuites et encore chaudes avec de l'eau à température négative. Cette eau est maintenue liquide car elle contient une certaine concentration de sel. Cette saumure va donc avoir un double objectif, tout d'abord celui de maintenir une eau liquide a des températures négatives pour permettre un refroidissement rapide des crevettes, mais aussi celui d'augmenter la salinité des crevettes, dans le but d'en augmenter la conservation. En effet, l'ajout de sel dans la chair va entraîner une baisse de l'aw, ce qui diminue de développement de l'activité microbienne dans le produit fini

A l'issue du processus de cuisson, les crevettes doivent ensuite être conditionnées. Ce conditionnement se fait par mise en barquettes des produits. La barquette est fermée hermétiquement et contient une atmosphère gazeuse qui permet une meilleure conservation des crevettes. C'est à ce moment que la Date Limite de Consommation (DLC) est apposée sur le produit (Bercy Infos, 2023). Elle correspond à la date maximale à laquelle il est possible de manger le produit, s'il a été conservé dans de bonnes conditions. Au-delà de cette date, le produit peut avoir perdu des qualités organoleptiques ou avoir eu un développement bactérien le rendant impropre à la consommation.

IV. Matériel et méthodes

A. Mise en place du questionnaire producteurs

Un questionnaire visant à référencer les pratiques de congélation des producteurs a été rédigé. Ce questionnaire, qui se base sur une structure déjà existante dans l'entreprise, comporte deux types de questions : des questions ouvertes pour décrire les processus de congélation en détail et des questions fermées pour connaître les paramètres utilisés (températures, temps, type de congélation, additifs utilisés...). Les producteurs sondés n'étant pas tous francophones, le questionnaire a été rédigé en français, en anglais et les parties techniques en espagnol.

B. Matières premières utilisées

1. Analyses des crevettes crues congelées

Pour la réalisation des analyses des facteurs impactant les paramètres des crevettes d'élevage congelées, tous les producteurs représentant au moins 1% des achats annuels ont été testés. Les crevettes utilisées pour ces essais se présentent sous trois formes : entières, PPV et PTO, ces trois formes seront par la suite regroupées en deux catégories de présentation : crevettes entières et crevettes décortiquées (regroupement des PPV et PTO). Enfin, les calibres des crevettes utilisées pour les cuissons sont regroupés dans les catégories de tailles suivantes (leur abondance est aussi indiquée) :

- Grande taille: Jusqu'à calibre 40
- Taille moyenne : Calibre 40 à 70
- Grande taille : Calibre au-delà de 70
- Crevettes décortiquées : toutes PTO et PPV

Les données obtenues pour ces crevettes l'ont été à partir des données des agréages.

2. Essais de cuisson

Dans le cadre des essais de cuisson, les mêmes producteurs recensés pour les analyses des crevettes crues ont été utilisées. Les catégories de tailles analysées sont les mêmes, mais on retrouve des proportions différentes pour l'étude puisqu'il y a eu autant de mesures prise pour chaque catégorie. Le prélèvement des crevettes pour leur utilisation lors des essais de cuisson est réalisé au niveau de la zone de décartonnage afin de permettre d'avoir une matière première ayant les mêmes propriétés que les crevettes mises en cuisson.

C. Plan d'expérience des essais de cuisson

Après la sélection d'un lot, celui-ci est ensuite placé en cuisson dans la ligne correspondante. Des mesures sont prises pour s'assurer que les mêmes crevettes sont étudiées avant et après la cuisson et ainsi éviter les mélanges avec la production.

3kg de crevette sont prélevés pour la mise en cuisson. Cette valeur est définie en calculant le nombre minimal d'individus nécessaires pour que l'échantillon soit représentatif

du lot étudié (Kadam and Bhalerao, 2010; Gupta et al., 2016; Serdar et al., 2021; Wang et al., 2023). Ce nombre d'individus est calculé avec la formule ci-dessous (Wang et al., 2023) et est ensuite converti en masse grâce à la correspondance entre le calibre et la masse des individus, ce tableau des correspondances est donné en **Annexe I**.

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times SD^2}{d^2}$$

Avec :

- N : Taille de l'échantillon en nombre d'individus
- $Z_{\alpha/2}$: valeur critique associée au niveau de confiance (pour $\alpha = 95\%$, $Z = 1,96$)
- SD^2 : Ecart-type (dans l'usine, la mesure du taux de sel des crevettes cuites a un écart-type de 0,457)
- D^2 : marge d'erreur souhaitée (pour $\alpha = 95\%$, $d=0,05$)

Le barème de cuisson suivi par la cagette correspond à celui normalement utilisé pour des crevettes du même type habituellement en production. La fin du processus de cuisson est caractérisée par le passage des crevettes dans une eau saumurée à une température de négative et une salinité définie. Lors de chaque cuisson, la température de la saumure est relevée par lecture sur l'affichage du cuiseur. La salinité de la saumure est aussi mesurée à ce moment-là. Pour cela, de l'eau est prélevée dans la cuve de saumure à l'aide d'une pipette et la salinité est mesurée à l'aide d'un réfractomètre à main qui a été calibré au préalable.

Une fois la cuisson terminée, les cagettes contenant les échantillons sont récupérées par les opérateurs de l'usine et placées en chambre froide positive à 2°C. La cagette est par la suite récupérée pour les analyses. Le temps écoulé entre le début de stockage et le moment de l'analyse est aussi noté et catégorisé en trois classes : attente courte (<30min), attente intermédiaire (1h-5h) et attente longue (>5h).

D. Analyse des crevettes

Les 3kg de crevettes crues congelées prélevées au préalable pour les analyses sur produits crus sont pesées avec précision. Après cette pesée, elles sont placées dans un panier métallique et trempées brièvement dans un bain d'eau (à 55°C) chaude afin de faire disparaître la pellicule de gel (le glazurage) présente sur leurs carapaces. Les crevettes sont essorées de manière à éliminer toute l'eau provenant du bain de décongélation puis sont pesées de nouveau afin d'obtenir la masse déglazurée. Ensuite elles sont de nouveau placées dans le panier métallique qui est remis dans le bain d'eau chaude afin qu'elles décongèlent totalement. Après un nouvel essorage, elles sont de nouveau pesées pour obtenir la masse décongelée.

Ces mesures permettent à la fois de calculer le taux de glazurage des crevettes via la formule ci-dessous, mais aussi de connaître la perte de masse pendant la décongélation.

$$Glazurage = \frac{Masse(congelée) - Masse(déglazurée)}{Masse(congelée)}$$

Les 3kg de crevettes crues congelées prélevées au préalable pour les analyses de cuissons sont pesées avec précision. Après cette pesée, les crevettes sont placées dans une cagette de cuisson et la cagette subit une cuisson selon le procédé décrit précédemment. Après la cuisson, les crevettes contenues dans la cagette sont de nouveau pesées. Le rendement de la cuisson ainsi calculé selon la formule suivante.

$$Rendement = \frac{Masse(cuite)}{Masse(congelée)}$$

Le taux de sel (NaCl) des crevettes a été mesuré avant et après la cuisson. La méthode de mesure du taux de sel étant destructrice, il n'est pas possible d'utiliser les crevettes crues analysées pour réaliser la cuisson. Ainsi, ce sont les crevettes crues décongelées prélevées pour les analyses de matières premières qui sont utilisées pour la mesure de salinité, et ce sont les 3kg de crevettes utilisées pour la cuisson qui sont utilisées pour la mesure de salinité des crevettes cuites. La mesure de taux de sel se réalise selon la même méthode pour les crevettes crues ou cuites et est identique à celle utilisée actuellement par le service qualité de l'entreprise. Le taux de NaCl dans les crevettes est mesuré selon la méthode de Mohr (Scott, 1950; Szabadváry and Chalmers, 1979; FAO and OMS, 2023) à l'aide du conductimètre et d'un protocole interne à l'entreprise. Ainsi la mesure du taux de sel des crevettes crues et cuites issus d'un même lot permet de calculer (formule ci-dessous) la variation de salinité de la chair causée par le processus de cuisson. Le plan d'expérience complet est schématisé en **Annexe II**.

$$Variation\ de\ salinité = \frac{Salinité(cru) - Salinité(cuit)}{Salinité(cuit)}$$

E. Analyses statistiques

L'analyse statistiques des résultats de l'étude a été réalisée sur le logiciel R (R Core Team, 2024) avec l'interface RStudio qui a permis de faire des statistiques descriptives et analytiques. Les packages suivants ont été utilisés pour les analyses statistiques : car(), dplyr (Wickham et al., 2023), FactoMinerR (Le et al., 2008), Factoshiny (Vaissie et al., 2024), forcats (Wickham, 2023), FSA (Ogle et al., 2023), ggplot2 (Wickham, 2016), ggsignif (Ahlmann-Eltze and Patil, 2021), MASS (Venables and Ripley, 2002) et tidyverse (Wickham et al., 2019).

Les analyses descriptives ont été réalisées pour mettre en avant les caractéristiques générales des jeux de données (pratiques fournisseurs, matières premières, données de cuisson) en prenant en compte les mesures de tendances et de dispersion ainsi qu'une représentation graphique de ces données. Cette première analyse a permis d'écarter les quelques valeurs aberrantes présentes dans le jeu de données.

Les statistiques analytiques quant à elles ont été utilisées pour étudier les liens entre les variables explicatives et les variables à expliquer : salinité de la matière première, variation de salinité et rendement lors de la cuisson. Pour cela, des modèles de régression linéaires ont été utilisés selon leur adaptation aux données à expliquer (lm et glm). L'ensemble des statistiques analytiques ont été corrélées à la vérification des hypothèses et à l'étude des résidus des modèles utilisés.

V. Résultats et discussion

A. Etat des lieux des différentes pratiques des fournisseurs

À la suite des retours des fournisseurs de Capitaine Houat, il est possible de dresser un aperçu des méthodes de pratiques et de congélation des fournisseurs. On peut se rendre compte que ceux ayant répondu se situent majoritairement en Amérique Latine. De plus, une partie importante d'entre eux indiquent qu'ils réalisent une congélation des crevettes entières en utilisant la saumure. Les variables temps, température et salinité de la saumure est cependant dépendante selon les producteurs. Concernant les crevettes décortiquées, aucune congélation n'est réalisée en saumure dans le but de limiter l'apport en sel dans les crevettes crues.

Ainsi, il est possible d'affirmer que l'ensemble des réponses récoltées via le questionnaire sont bien représentatives des pratiques des producteurs travaillant avec Capitaine Houat. Ces réponses peuvent donc être utilisées pour la partie suivante où l'objectif est de déterminer quels sont les paramètres de production qui impactent la matière première.

B. Effets des paramètres de congélation sur la matière première

Le recensement des pratiques des producteurs ainsi que les données récoltées lors de l'agrèage à réception de la matière première et lors des essais sur les crevettes crues ont permis de réaliser une étude sur les effets du processus de congélation sur le taux de sel contenu dans les crevettes crues congelées reçues chez Capitaine Houat. Cette partie a donc pour but de déterminer les paramètres exerçant une influence sur la salinité d'origine des crevettes.

Après analyse, on se rend compte que les crevettes ont tendance à être plus salées si elles ont été congelées en saumure. De même, pour les crevettes de plus petite taille, on observe aussi une salinité plus importante que pour des crevettes plus grandes.

C. Le rendement de cuisson dépend de la salinité initiale et de la taille

La mise en place des essais permet de calculer le rendement de cuisson selon les paramètres de la matière première ainsi que ceux de la cuisson. Le premier constat est que le rendement dépend du temps passé en cuisson. Il est aussi dépendant de la catégorie de taille de la matière première, ainsi que de son taux de sel initial. Les paramètres de cuisson de l'usine (températures, opérateurs, label des crevettes...) n'ont pas d'impact sur le rendement.

D. La matière première impacte la variation de salinité lors de la cuisson

Les essais de cuisson ont aussi permis d'étudier la variation en sel de la chair de crevette pendant le processus de cuisson. En effet, comme la matière première est soumise à plusieurs bains d'eaux salées et non salées, cela a pour effet de faire varier la teneur en sel. Cette variation est également dépendante de la taille des crevettes ainsi que de leur salinité initiale. Cette fois, le temps du processus n'a pas d'effet sur la valeur étudiée.

E. Prédiction de l'évolution des paramètres de cuisson

Les conclusions établies précédemment nous permettent ainsi d'établir le lien entre la variation de salinité et le rendement de cuisson, et des tableaux de prédictions ont ainsi été calculés.

VI. Limites de l'étude

Il est possible de se questionner sur l'échantillonnage. Ce dernier a été réalisé de manière qu'il soit représentatif des calibres et des producteurs les plus utilisés dans l'usine. Ce souci de fidélité à la réalité peut néanmoins entraîner un biais au moment de tirer des conclusions sur l'ensemble des crevettes traitées car certains producteurs ont subi beaucoup moins d'essais que d'autres. De plus, lors des cuissons, l'échantillonnage à hauteur de 3kg ne permet pas d'être certain que les résultats soient applicables à une production entière de plusieurs centaines de kilogrammes.

VII. Conclusion

Les questions de l'importance du sel (NaCl) dans l'agroalimentaire des produits de la mer sont un point central de ce mémoire. De la congélation à la cuisson finale, c'est un composé chimique que l'on retrouve à toutes les étapes de la production de crevettes, et Capitaine Houat n'échappe pas à la règle.

Grâce aux essais menés lors de la mission, il est désormais possible d'affirmer que les rendements de cuisson ainsi que les variations de taux de sel dans la chair des crevettes sont dépendant de la matière première. Cette dépendance se fait surtout en considérant la taille des individus, la présence de la carapace et le taux de sel initial de la matière première (qui dépend directement du mode de congélation).

A l'aide des résultats, il est désormais possible d'établir les valeurs de salinité limites acceptées pour les produits reçus dans l'entreprise et donc d'adapter nos attentes vis-à-vis des fournisseurs.

Références bibliographiques

- Adeyeye EI, Adubiaro HO** (2004) Chemical composition of shell and flesh of three prawn samples from Lagos lagoon. *J Sci Food Agric* 84: 411–414
- Agromousquetaires** (2024) 50 ans Agromousquetaires.
- Agromousquetaires** (2022a) Histoire des Mousquetaires. Mousquetaires, <https://www.mousquetaires.com/notre-groupement/notre-histoire/>
- Agromousquetaires** (2022b) Le pôle agroalimentaire Agromousquetaires. Mousquetaires, <https://www.mousquetaires.com/nos-filiales/agromousquetaires/>
- Agromousquetaires** (2022c) Pôles de la filiale Agromousquetaires.
- Ahlmann-Eltze C, Patil I** (2021) ggsignif: R Package for Displaying Significance Brackets for “ggplot2.” doi: 10.31234/osf.io/7awm6
- Bercy Infos** (2023) Date limite de consommation (DLC), date de durabilité minimale (DDM) : quelle différence ? <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/date-limite-consommation-dlc-ddm>
- Boone** (1931) A Collection of Anomuran and Macruran Crustacea from the Bay of Panama and the Fresh Waters of the Canal Zone. *Bulletin of the American Museum of Natural History*.
- Boyd CE, Davis RP, Wilson AG, Marcillo F, Brian S, McNevin AA** (2021) Resource use in whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* farming in Ecuador. *J World Aquac Soc* **52**: 772–788
- Damasceno MDSP, Gonçalves AA** (2019) The effect of the food grade additive phosphate pre-treatment prior to the industrial cooking process in the quality of cooked peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *J Sci Food Agric* 99: 3299–3306
- Das R, Mehta NK, Ngasotter S, Balange AK, Nayak BB, Murthy LN, Xavier KAM** (2023) Process optimization and evaluation of the effects of different time-temperature sous vide cooking on physicochemical, textural, and sensory characteristics of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Heliyon* 9: e16438
- Erdogdu F, Balaban MO, Otwell WS, Garrido L** (2004) Cook-related yield loss for pacific white (*Penaeus vannamei*) shrimp previously treated with phosphates: effects of shrimp size and internal temperature distribution. *J Food Eng* 64: 297–300
- FAO** (n.a.) *Penaeus vannamei*. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/en/en_whitelegshrimp.htm
- FAO** (n.a.) Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. <https://www.fao.org/3/ad505e/ad505e04.htm>
- FAO** (n.a.) FAO Fisheries & Aquaculture - Vue générale du secteur aquacole national - Venezuela.

https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso_venezuela.xml&lang=fr

FAO, OMS (2023) Commission du Codex Alimentarius Manuel de procédure. doi: 10.4060/cc5042fr

Fofonoff PW, Ruiz GM, Steves B, Carlton JT (2014) National Exotic Marine and Estuarine Species Information System (NEMESIS). <https://invasions.si.edu/nemesis/>

Grave SD, Fransen CH (2011) Carideorum catalogus: the recent species of the dendrobranchiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps. 195–589

Gupta KK, Attri JP, Singh A, Kaur H, Kaur G (2016) Basic concepts for sample size calculation: Critical step for any clinical trials! Saudi J Anaesth 10: 328–331

Ifremer (1995) Traitement des captures à bord des navires et valorisation des produits.

Ifremer (1966) Etudes des facteurs qui influencent la conservation des crevettes.

Kadam P, Bhalerao S (2010) Sample size calculation. Int J Ayurveda Res 1: 55–57

Le S, Josse J, Husson F (2008) FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis.

Légifrance (2024) Code de la consommation - Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006069565/2024-08-06/

Melcion J, Colonna P (1983) La cuisson-extrusion dans le domaine alimentaire : principe, applications, perspectives.

Moscoso V (2012) Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú.

Ogle D, Doll J, Powel, Dinno A (2023) FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods.

Parlement Européen (2006) Règlement (CE) N°1925/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 20 décembre 2006 concernant l'adjonction de vitamines, de minéraux et de certaines autres substances aux denrées alimentaires.

Pérez Farfante I, Kensley BF (1997) Penaeoid and sergestoid shrimps and prawns of the world: keys and diagnoses for the families and genera. Editions du Muséum, Paris

R Core Team (2024) A Language and Environment for Statistical Computing_.

Santé publique France (2024) Nutri-Score : le point sur les nouveautés 2024. <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2024/nutri-score-le-point-sur-les-nouveautes-2024>

Scott JM (1950) Karl Friedrich Mohr, 1806-1879 Father of Volumetric Analysis". Chymia 3: 191–203

Serdar CC, Cihan M, Yücel D, Serdar MA (2021) Sample size, power and effect size revisited: simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. Biochem Medica 31: 010502

- Szabadváry F, Chalmers RA** (1979) Carl Friedrich Mohr and analytical chemistry in Germany. *Talanta* 26: 609–617
- Vaissie P, Monge A, Husson F** (2024) Factoshiny: Perform Factorial Analysis from “FactoMineR” with a Shiny Application.
- Venables, Ripley** (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition.
- Wang SS, Canida TA, Ihrle JD, Chirtel SJ** (2023) Sample Size Determination for Food Sampling. *J Food Prot* 86: 100134
- Wei J, Zhang X, Yu Y, Huang H, Li F, Xiang J** (2014) Comparative Transcriptomic Characterization of the Early Development in Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. *PLoS ONE* 9: e106201
- Wickham** (2023) `_forcats`: Tools for Working with Categorical Variables (Factors)_. R package version 1.0.0.
- Wickham** (2016) `ggplot2`: Elegant Graphics for Data Analysis.
- Wickham, François, Henry, Müller, Vaughan** (2023) `_dplyr`: A Grammar of Data Manipulation_.
- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan L, François R, Grolemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, et al** (2019) Welcome to the Tidyverse. *J Open Source Softw* 4: 1686

Annexe I

Application numérique du nombre d'échantillons nécessaires à la représentativité d'un lot

- **Application numérique de la formule**

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times SD^2}{d^2} = \frac{1,92^2 \times 0,457^2}{0,05^2} = 322,14 \approx 323$$

- **Calcul du poids représentatif d'un lot, exemple pour le calibre 80/100**

Minimum 80 crevettes/kg

Maximum 100 crevettes/kg

$$\frac{N}{Nb.\text{maximum}/kg} < \text{Masse représentative} < \frac{N}{Nb.\text{minimum}/kg}$$

$$\frac{323}{100} < \text{Masse représentative} < \frac{323}{80}$$

→ La masse représentative retenue pour l'échantillonnage est la moyenne entre la valeur minimum et maximum.

Tableau 1 : Poids des échantillons pour représentativité du lot

Calibre	Nb.min/ kg	Nb.max /kg	Masse représentative minimale	Masse représentative maximale	Masse représentative moyenne	Masse d'analyse retenue
20/30	20	30	10,74	16,11	13,42	3,00
30/40	30	40	8,05	10,74	9,40	3,00
40/50	40	50	6,44	8,05	7,25	3,00
50/60	50	60	5,37	6,44	5,91	3,00
60/70	60	70	4,60	5,37	4,99	3,00
70/80	70	80	4,03	4,60	4,31	3,00
80/100	80	100	3,22	4,03	3,62	3,62
100/120	100	120	2,68	3,22	2,95	2,95
61/70 PTO	134	154	2,09	2,40	2,24	2,24
71/90 PPV	157	198	1,62	2,06	1,84	1,84
71/90 PTO	157	198	1,62	2,06	1,84	1,84

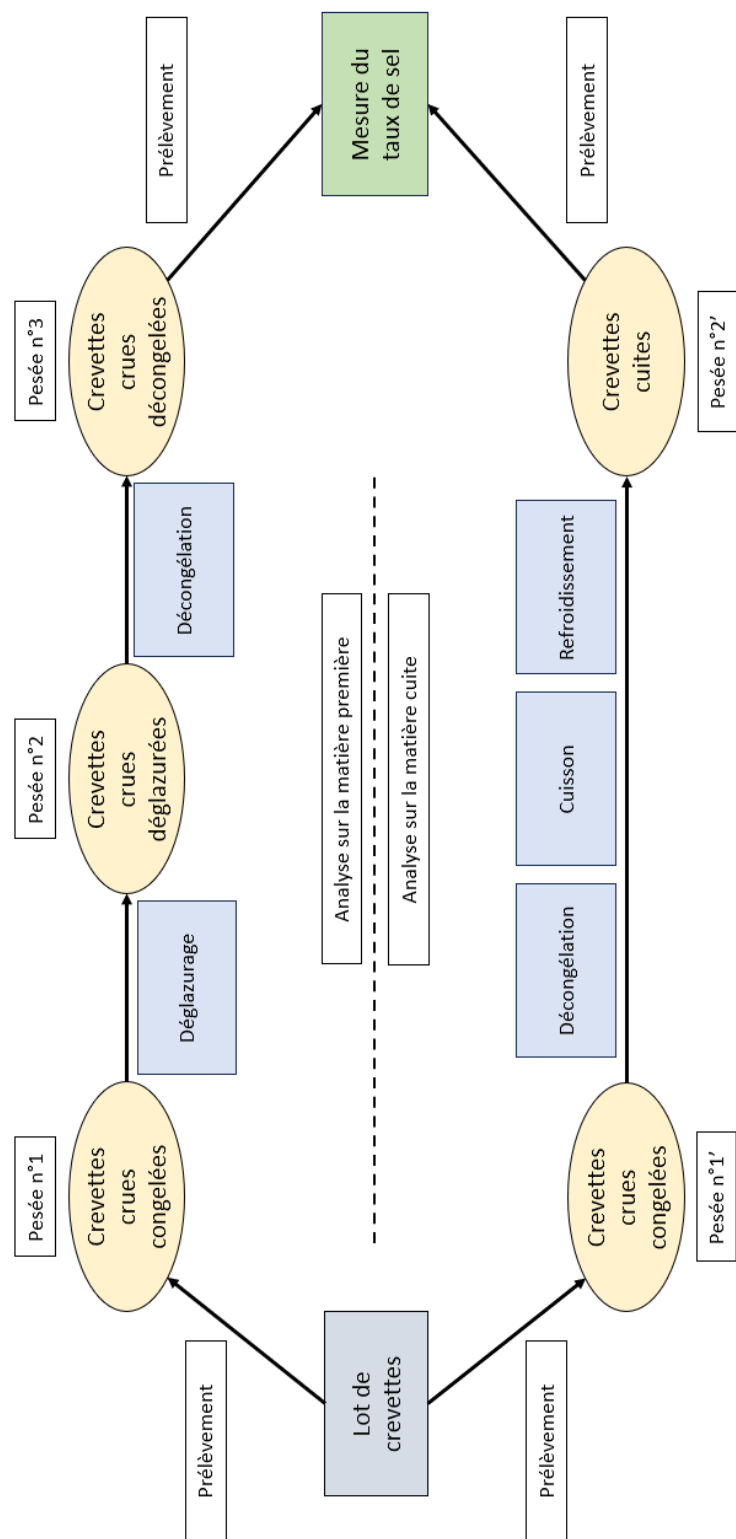


Figure 2 : Schéma du plan d'expérience