



## Agriviva, la légumerie du MIN de Montpellier

### Optimisation des procédés de transformation alimentaire au sein d'une légumerie de territoire

Entreprise d'accueil : Agriviva S.N.

Maître de stage : Candide Martinet,  
Responsable de Production

Stage réalisé du : 23 décembre 2024 au  
28 février 2025

Tutrice pédagogique ENSAT : Julie  
BORNOT

Maître de Conférence, Département  
Sciences et Industries Alimentaires  
[julie.bornot@toulouse-inp.fr](mailto:julie.bornot@toulouse-inp.fr)

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement Clément Lefebvre et Augustin Le Goaster, qui m'ont embarqué dans cette belle aventure. Votre vivacité intellectuelle et votre courage ont été une véritable source d'inspiration. Laure Vidal, merci pour la confiance que tu m'as accordée, qui m'a permis de prendre des responsabilités en toute sérénité. Ton franc-parler, parfois déstabilisant, a été très formateur, et travailler sous ta direction a été une expérience précieuse.

Jeanne Ferry, ma responsable et binôme de choc, merci infiniment pour ton accompagnement tout au long des différents projets. Ta disponibilité, ton engagement et ton soutien m'ont permis de m'épanouir pleinement, même lorsque j'étais loin de toi chez Agriviva.

Je souhaite également remercier Candide Martinet et Monia Fourar. Ces rencontres ont été riches autant sur le plan professionnel que personnel avec des parcours qui forcent le respect. Même face aux difficultés parfois rencontrées chez Agriviva, nous avons toujours su trouver des moments de convivialité. De belles amitiés en sont nées, et j'espère avoir l'occasion de vous recroiser très vite.

Un grand merci à toute l'équipe d'Agriviva, notamment François, Stéphane et Solène, qui ont supporté sans broncher mes dégustations de pois chiches à des heures improbables ! Merci aussi à toute l'équipe de production, et tout particulièrement à Ouidad. Travailler avec toi a été un vrai plaisir. Toujours ouverte aux changements et prête à donner un coup de main malgré une charge de travail colossale, tu imposes le respect, tout comme ton équipe.

Enfin, je souhaite une excellente continuation à Claire Omerin, qui a initié une magnifique bifurcation vers les métiers de l'alimentation. Bon vent !

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Présentation d'Agriviva et de son positionnement dans la filière agroalimentaire</b>	<b>6</b>
2.1	Un site pilote au sein d'un réseau de légumeries territoriales . . . . .	6
2.1.1	Relocalisation des approvisionnements et ancrage territorial . . . . .	6
2.1.2	Développement auprès des acteurs publics renforcé par un contexte législatif favorable . . . . .	7
2.1.3	Diversification et augmentation massive du volume des ventes . . . . .	8
2.2	Un outil industriel mis à l'épreuve . . . . .	9
2.2.1	Un atelier peu automatisé, fortement dépendant de la main-d'œuvre . . . . .	9
2.2.2	Une activité à faible rentabilité . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Atelier de cuisson pasteurisatrice : contexte et enjeux d'optimisation.</b>	<b>10</b>
3.1	Les motivations de l'internalisation de la production . . . . .	10
3.2	Cahier des charges initial . . . . .	11
3.3	Équipe projet et historique du développement . . . . .	12
3.4	Description du processus de production initial . . . . .	13
3.5	Les axes d'améliorations et de développement de l'atelier cuisson . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Méthodologie de travail et optimisation du processus</b>	<b>15</b>
4.1	Optimisation du processus de cuisson-pasteurisation . . . . .	15
4.1.1	Compréhension des phénomènes liés à la cuisson des légumineuses : apports scientifiques et expertise . . . . .	16
4.1.2	Exploration de l'hypothèse 1 : allongement du temps de cuisson à basse température . . . . .	21
4.1.3	Exploration de l'hypothèse 2 : rôle de la vapeur dans le gonflement des sachets . . . . .	25
4.1.4	Choix de la voie d'optimisation et mise en œuvre opérationnelle . . . . .	28
4.2	Méthodologie d'Élargissement de la Gamme . . . . .	29
4.2.1	Produits amylacés (légumineuses, céréales) . . . . .	29
4.2.2	Légumes précuits . . . . .	31
4.3	Adaptation et optimisation du processus de refroidissement . . . . .	32
4.4	Mise à jour des mesures de maîtrise des dangers et validation de la date limite de consommation . . . . .	33
4.4.1	Mise à jour des mesures de maîtrise . . . . .	34
4.4.2	Validation des nouvelles mesures de maîtrise et de la DLC. . . . .	35
<b>5</b>	<b>Bilan</b>	<b>37</b>
5.1	Les principaux apports pour la structure d'accueil . . . . .	37
5.2	Discussion . . . . .	39
5.3	Principaux acquis d'expérience . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>41</b>

## Liste des Figures

1	Croissance et diversification des débouchés commerciaux de Agriviva entre 2022 et 2024 . . . . .	8
2	Diagramme de fabrication simplifié des pommes quartiers . . . . .	9
3	Diagramme de phase de l'amidon pour différentes légumineuses . . . . .	17
4	Représentation schématique de la répartition de l'eau et des transitions de phase lors du traitement hydrothermal des légumineuses Source: Erica et al . . . . .	18
5	Variation de la teneur en eau des haricots blancs selon le temps et la température de cuisson. Source: Erica et al . . . . .	18
6	Valeurs maximales théoriques de la teneur en eau des haricots blancs pour différentes températures. Source : Erica et al . . . . .	19
7	Diagramme de phase de l'amidon avec positionnement des échantillons de pois chiches et lentilles vertes cuits à 97°C. Source : Mesures QUALISUD, 2023 . . . . .	21
8	Synthèse des résultats de cuisson : texture et goût des légumineuses. Source : Mesures internes Agriviva . . . . .	22
9	Évolution de la teneur en eau des légumineuses selon le temps et la température de cuisson. Source : Mesures internes Agriviva . . . . .	23
10	Relation entre la température et la teneur en eau maximale théorique des haricots blancs (modèle de Siguemoto, temps de cuisson → ∞). . . . .	24
11	Effet de la suppression de la vapeur sur le phénomène de gonflement des sachets en fin de cuisson (97°C) . . . . .	28
12	Évolution de la température à cœur en fonction du temps pour différentes modalités de cuisson . . . . .	30
13	Évolution conjointe de la température à cœur et des valeurs pasteurisatrices partielles (VP°) au cours du temps de cuisson pour un sachet de 2 Kg de Haricots Rouges. Source : mesures internes Agriviva . . . . .	36
14	Analyse des coûts et marge commerciale par produit et taille de batch (hypothèse : 20 tonnes/an). Source interne . . . . .	38

# 1 Introduction

Ce rapport présente le travail réalisé dans le cadre d'un stage de 2A au sein de la légumerie Agriviva SN, située sur le Marché d'Intérêt National ([MIN](#)) de Montpellier. Spécialisée dans la production de fruits et légumes de [4ème gamme](#), prêts à l'emploi et destinés à la restauration hors foyer locale. L'entreprise connaît un développement économique rapide, en témoigne son chiffre d'affaires ([CA](#)) qui est passé de 1,2 M€ en 2022 à 2 M€ en 2024. Cette croissance met fortement à l'épreuve l'outil et les équipes de production contraintes de transformer des volumes croissants de légumes. Maîtriser et de fiabiliser les processus de production constitué de fait un enjeux existentiel pour Agriviva.

Par ailleurs, la rentabilité reste un défi majeur pour l'entreprise en raison de la faible marge générée par la [4ème gamme](#). En effet, depuis sa création en 2016, Agriviva a subit deux redressements judiciaires et ne présente un EBE positif seulement depuis septembre 2024. Dans ce contexte, l'optimisation des processus de production ainsi que la diversification de la gamme vers des produits à plus forte valeur ajoutée apparaissent comme des leviers stratégiques essentiels afin de renforcer la marge brute et pérenniser l'entreprise. C'est dans ce contexte que début 2024 Agriviva décide de se doter d'un atelier de cuisson pasteurisatrice afin d'élargir sa gamme avec des légumes et légumineuses cuites. Les premiers lots de légumineuses furent commercialisés courant novembre 2024. Malgré un lancement opérationnel dans les temps, le processus initial de production présentait des dysfonctionnements importants qui mettaient en péril la viabilité de l'atelier.

Lors de ce stage, j'ai participé à plusieurs missions visant à améliorer les performances opérationnelles, tant en production qu'en conditionnement. Pour ce rapport, le choix a été fait de ne présenter que l'optimisation et le développement de l'atelier de cuisson pasteurisatrice. Cette expérience fut l'occasion de développer des compétences en gestion de projet dans un environnement de production agroalimentaire, tout en intégrant plusieurs dimensions : la recherche et développement, l'amélioration continue et la qualité. L'objectif de ce rapport est de rendre compte de ces apprentissages et de leur mise en pratique.

## **2 Présentation d'Agriviva et de son positionnement dans la filière agroalimentaire**

Une légumerie peut se définir comme un atelier où se déroule l'ensemble des procédés de transformation des légumes destinés à la restauration collective et commerciale. Son activité principale consiste en l'épluchage, le lavage, la découpe des légumes bruts puis en l'emballage et l'expédition des produits finis. Certaines légumeries intègrent également des opérations comme le conditionnement sous vide, la conserverie ou la congélation (Charrière, Broise, et Crinquant 2021). Créée en 2016, Agriviva produit historiquement des fruits et légumes de [4ème gamme](#). L'entreprise emploie une vingtaine de salariés dont dix suivent un parcours d'insertion professionnelle. Avec des locaux de 900m<sup>2</sup>, le capacitaire de la légumerie est de l'ordre de 1000 tonnes de légumes vendus par an.

### **2.1 Un site pilote au sein d'un réseau de légumeries territoriales**

En novembre 2022, l'entreprise [Cuisinons nos Paysages : Démarche valorisant les produits locaux et les savoir-faire culinaires d'un territoire \(CnP\)](#) devient actionnaire majoritaire d'Agriviva suite à un redressement judiciaire. Cela a son importance car Agriviva constitue le site pilote du réseau de légumeries-conserveries qu'ambitionne de mettre en place Cuisinons nos Paysages. Tout en développant une marque multi-locale, le réseau [CnP](#) a pour objectif de développer un modèle économique robuste de légumeries de territoires et des méthodologies opérationnelles dupliquables sur les différents sites.

Agriviva bénéficie ainsi d'un triple appui de la part de [CnP](#) : Au niveau financier, Agriviva est accompagnée dans la recherche de financement via des levées de fonds par exemple. Sur le plan opérationnel, Agriviva co-construit sa feuille de route d'innovation avec [CnP](#). Aussi, au travers de la plateforme d'appuis, [CnP](#) met à disposition des ressources humaines et ses compétences techniques pour concevoir et mettre en œuvre de nouveaux process de fabrication. Enfin, [CnP](#) facilite aussi le développement commercial en aidant Agriviva à revoir son offre avec une gamme locale et de saison et en travaillant sur l'établissement de partenariats avec des agriculteurs locaux. La plateforme d'appui [CnP](#) est financée par une part de 3,5% du chiffre d'affaires d'Agriviva.

En août 2024, j'ai intégré [CnP](#) en tant que stagiaire ingénieur process dans le cadre d'un stage de césure. Les équipes de [CnP](#) étant basées à Paris, j'ai réalisé mon stage au sein de la légumerie de Montpellier chez Agriviva afin d'accompagner le lancement de l'atelier cuisson sur le terrain. L'objectif était alors de livrer ce projet « clés en main » à Agriviva, illustrant parfaitement le type d'accompagnement proposé par la plateforme d'appui [CnP](#). À l'issue de ce stage, j'ai poursuivi mon stage directement chez Agriviva, afin de réaliser mon stage 2A et continuer les missions entamées.

#### **2.1.1 Relocalisation des approvisionnements et ancrage territorial**

Agriviva s'inscrit donc dans une démarche de relocalisation des approvisionnements, en valorisant autant que possible les productions maraîchères locales. Cette volonté s'appuie sur les opportunités offertes par la région Occitanie, première région agricole française avec près de 60 000 exploitations agricoles, soit 16,5

% du total national, et deuxième en [surface agricole utile \(SAU\)](#) (12 %). Elle occupe également une place de choix dans la production de fruits (2<sup>e</sup> région avec 19 % des surfaces nationales) et de légumes frais [4ème gamme](#) avec 12 %) (Pôle Économie et Prospective des Chambres d'agriculture d'Occitanie 2021).

Agriviva collabore avec plus de 20 agriculteurs partenaires et le un sourcing direct producteur représente au maximum 70% des volumes d'approvisionnement. Ainsi, sur les 900 tonnes de légumes transformées entre 2023 et 2024, on retrouve une trentaine de matières premières différentes, dont 30 à 70% du volume provient de producteurs situés à moins de 200 km de Montpellier en fonction de la saison. De plus, 25 % des volumes produits sont certifiés bio et 45 % répondent aux normes de Haute Valeur Environnementale ([Haute Valeur Environnementale \(HVE\)](#) ).

Ces partenariats offrent plusieurs avantages tant pour les producteurs que pour l'entreprise. Tout d'abord, ils permettent aux agriculteurs de bénéficier d'un débouché en volume simple et de proximité. En valorisant des légumes déclassés ou hors calibre, Agriviva aide aussi les producteurs à maximiser l'utilisation de leurs récoltes. De plus, l'entreprise structure une offre de produits finis à forte valeur ajoutée, ce qui permet de mieux valoriser les matières premières locales. Enfin, ces partenariats sécurisent les producteurs en leur offrant des engagements sur des volumes et des prix stables à long terme.

Toutefois, pour garantir une marge brute stable et sécuriser les volumes, Agriviva adopte une logique de relocalisation à géométrie variable. C'est le cas pour l'achat des carottes qui se fait auprès d'un producteur national basé en Aquitaine. Par ailleurs, sa localisation sur le [MIN](#) de Montpellier lui permet de s'approvisionner rapidement auprès des grossistes en cas de rupture ou de difficulté logistique, ce qui offre une certaine résilience.

### **2.1.2 Développement auprès des acteurs publics renforcé par un contexte législatif favorable**

Les clients d'Agriviva sont principalement des acteurs de la restauration collective publique (42 % du [CA](#) en 2024), tels que la cuisine centrale de Montpellier ou différentes cuisines départementales. L'entreprise bénéficie d'une politique d'allotissement des marchés publics qui lui permet de répondre aux appels d'offres pour la fourniture de légumes de [4ème gamme](#). Cette politique, portée par les collectivités, vise à relocaliser les approvisionnements des cuisines collectives, ce qui favorise les petits acteurs implantés localement comme Agriviva.

Par ailleurs, Agriviva, avec sa démarche de relocalisation des approvisionnements, répond parfaitement aux nouvelles exigences des services publics de restauration imposées par la loi EGALIM. En effet, cette loi impose aux restaurants collectifs d'atteindre au moins 50% d'achats de produits de qualité et durables, dont au moins 20 % de produits biologiques (Conseil national de la restauration collective 2022). Agriviva, en proposant des légumes transformés dont 25 % des volumes sont certifiés bio et 45 % répondent aux normes [Haute Valeur Environnementale \(HVE\)](#), permet aux collectivités de s'approvisionner en produits qui entrent directement dans le décompte de ces objectifs.

Une autre mesure de la loi EGALIM porte sur la diversification des sources de protéines avec la volonté d'augmenter la part de protéines végétales dans les assiettes. La loi prévoit l'obligation d'un menu végétarien par semaine en restauration scolaire. De plus, depuis le 1er janvier 2023, une option végétarienne

quotidienne est obligatoire dans les restaurants collectifs de l'État, de ses établissements publics et des entreprises publiques nationales proposant habituellement un choix multiple de menus (Conseil national de la restauration collective 2022). Ce contexte législatif est favorable pour le développement du marché des légumineuses à destination de la restauration collective. C'est dans cette perspective que s'inscrit le projet de lancement opérationnel d'un atelier de cuisson pasteurisatrice afin d'intégrer la légumineuses cuites dans la gamme d'Agriviva.

### 2.1.3 Diversification et augmentation massive du volume des ventes

Une faiblesse du marché de la restauration scolaire réside dans la saisonnalité de la demande avec une activité nulle pendant les vacances scolaires. C'est pourquoi Agriviva cherche à conquérir de nouveaux comptes clés chez les industriels agroalimentaires (Coq Noir, le régime de Véro), les grossistes ou encore de la restauration commerciale privée auprès desquelles elle peut faire valoir son engagement en terme d'approvisionnements locaux.

Le développement des ventes aux Industries Agroalimentaires (IA), aux grossistes, et à la restauration collective privée présente un triple avantage : accroître le volume global des ventes, diversifier les débouchés pour sécuriser les flux commerciaux, et lisser la demande, auparavant réduite durant les périodes de vacances scolaires.

Les efforts d'Agriviva en matière de prospective commerciale et son alignement avec la volonté partagée des acteurs de l'alimentation pour des approvisionnements locaux ont grandement contribué à la réussite de la diversification du portefeuille client. Cette stratégie a permis à l'entreprise de réaliser une hausse impressionnante de son chiffre d'affaires comme en témoigne Figure 1 .

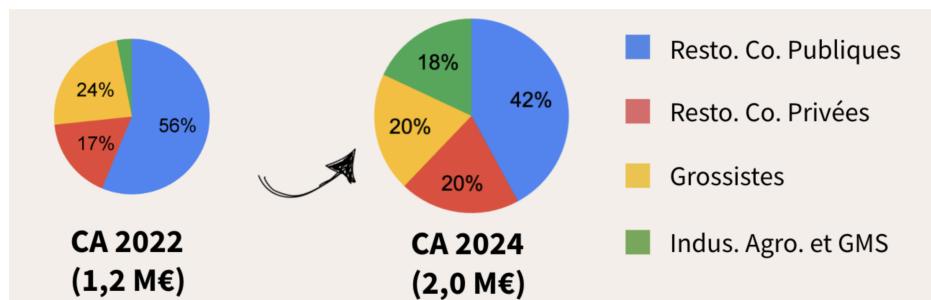


Figure 1: Croissance et diversification des débouchés commerciaux de Agriviva entre 2022 et 2024

Agriviva a réussi à s'imposer comme un acteur local essentiel de démassification de la transformation alimentaire. En plus de contribuer à structurer le marché en reliant l'offre locale à la demande, elle contribue aussi à construire la demande en exerçant un travail permanent auprès des acheteurs pour les inciter à recourir à plus de produits locaux et de saison.

À travers ses activités de logistique et de commercialisation, l'entreprise joue également un rôle important dans la circulation de l'information entre les différents acteurs (Charrière, Broise, et Crinquant 2021). D'un côté, les clients bénéficient d'une meilleure visibilité sur la provenance, la qualité ainsi que la disponibilité des produits. De l'autre, les producteurs locaux accèdent à des données précises sur les besoins en volumes à venir, leur permettant ainsi de sécuriser leur production et d'anticiper la demande.

## 2.2 Un outil industriel mis à l'épreuve

Cette réussite sur le plan commercial doit s'accompagner d'un renforcement de la productivité de l'outil industriel pour absorber l'augmentation des volumes tout en maîtrisant les coûts afin de renforcer la marge brute

### 2.2.1 Un atelier peu automatisé, fortement dépendant de la main-d'œuvre

L'outil de production repose sur une multitude de processus majoritairement manuels et peu, voire pas, automatisés. Pour illustrer cela nous pouvons prendre l'exemple du diagramme de fabrication (simplifié) des pommes quartiers non bio présenté dans la figure Figure 2 suivante.

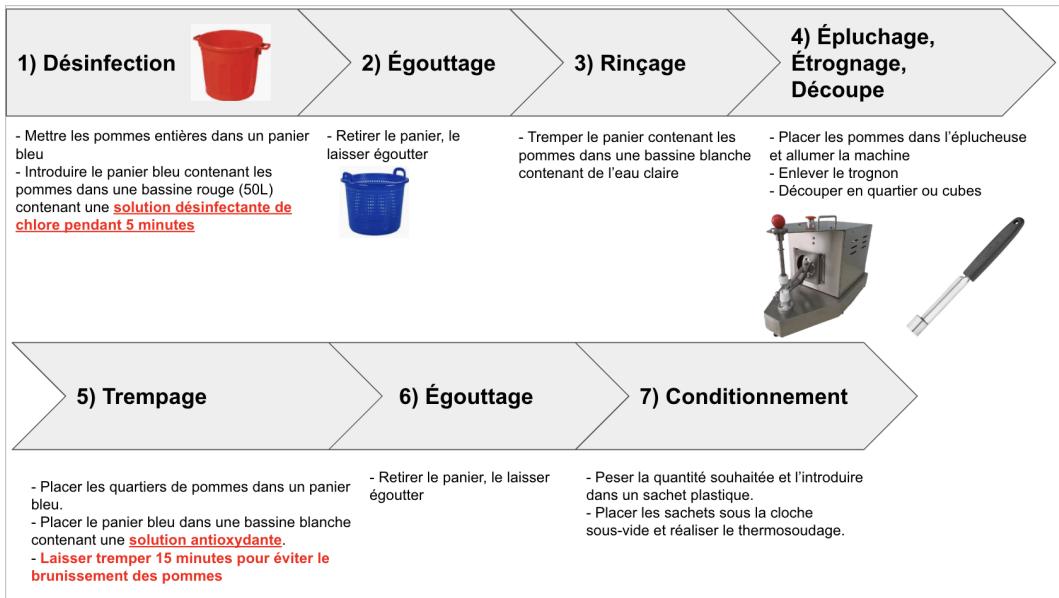


Figure 2: Diagramme de fabrication simplifié des pommes quartiers

Les opérations manuelles mises en œuvre chez Agriviva permettent une grande flexibilité, notamment pour s'adapter à la diversité de la gamme de produits ainsi qu'à la forte variabilité de calibre et de qualité des matières premières. Cependant, pour faire face à l'augmentation des volumes de commandes, l'ajustement repose structurellement sur le renforcement des effectifs de production. Or, la baisse d'activité observée durant la période estivale rend difficile l'embauche de personnel en [Contrat à Durée Indéterminée : Contrat de travail sans limitation de durée, opposé au CDD \(Contrat à Durée Déterminée\) \(CDI\)](#).

Agriviva a donc recours de manière importante à l'intérim pour absorber les fluctuations de volumes. Malheureusement, le taux horaire d'un intérimaire est près de deux fois supérieur à celui d'un salarié en insertion professionnelle. Ce recours à l'intérim, en plus de représenter un coût significatif, rend difficile la mise en place des plans de formations du fait d'un turn-over rapide des équipes. Ce manque de formation est à l'origine de malfaçons qui peuvent générer des pertes de matières ou des réclamations clients.

La non-automatisation des procédés de production engendre des coûts de production élevés du fait d'un besoin de main d'œuvre important. En effet les charges du personnel de production représentent environ

20% du Chiffre d’Affaire (CA) pour environ 16 employés. En l’absence d’automatisation, il devient alors difficile de découpler l’augmentation des volumes de production de la hausse des charges salariales.

Sur le plan opérationnel, l’atelier de pasteurisation s’inscrit dans la continuité de l’organisation existante. Les équipes sont déjà habituées à gérer la production d’une large diversité de références d’autant que les opérations de pasteurisation présentent de fortes similarités avec celles de la [4ème gamme](#). Cependant, les équipes ayant beaucoup de tâches à gérer, il faut fiabiliser au maximum le processus pour éviter tout contretemps et maximiser le rendement de celui-ci.

Enfin, la durée de conservation prolongée des produits pasteurisés offre un levier pour lisser l’activité : la production peut être planifiée durant les périodes creuses, ce qui permet de mobiliser les salariés en [CDI](#) sur toute l’année et d’améliorer ainsi la rentabilité liée aux charges de personnel.

### **2.2.2 Une activité à faible rentabilité**

Le plus gros poste de dépense pour Agriviva est l’achat de matières premières qui représente environ 40 % du chiffre d’affaires. Les emballages, quant à eux, mobilisent 5 % supplémentaires. Enfin, la logistique de livraison des produits finis pèse pour 10 % du CA. À cela s’ajoutent les charges de production (énergie, eau, analyses microbiologiques, maintenance), qui s’élèvent à environ 7 %, ainsi que les coûts de structure comme le loyer, estimés à 6 %. Cette répartition des coûts reflète un modèle où les marges sont extrêmement contraintes.

Le lancement de l’atelier cuisson vise à mettre sur le marché des produits à plus forte valeur ajoutée, permettant ainsi de renforcer la rentabilité globale. Cependant, les faibles marges soulèvent l’enjeu de fiabiliser au maximum le processus afin d’éviter toute perte nette de produit.

Enfin, ce projet soutient également la dynamique de croissance d’Agriviva en élargissant son offre vers la cinquième gamme lui permettant ainsi de conquérir de nouveaux marchés. D’autant que le contexte est favorable car marqué par des politiques nationales qui encouragent l’introduction des légumineuses en restauration collective.

## **3 Atelier de cuisson pasteurisatrice : contexte et enjeux d’optimisation.**

### **3.1 Les motivations de l’internalisation de la production**

A l’échelle nationale, la loi EGALIM (Conseil national de la restauration collective 2022) stimule le développement du marché des légumineuses à destination de la restauration collective publique. A l’échelle locale, la métropole de Montpellier et l’Agence de l’eau ont initié en 2023 le projet FIBANI (Filière Bas Niveau d’Intrants). Ce projet vise à structurer une filière locale de légumineuses bio. Les engagements de la ville de Montpellier en commandes de légumineuses cuites doivent garantir un débouché volumique fiable pour cette filière. Cependant la préparation des légumineuses représente un défi opérationnel conséquent pour les cuisines. La cuisson des légumineuses nécessite souvent des temps

de trempage et des cuissages importants. C'est pour cela que les acteurs publics ont sélectionné Agriviva comme transformateur intermédiaire.

Jusqu'à présent, Agriviva proposait une gamme de légumineuses stérilisées (haricots rouges, pois chiches, lentilles vertes), conditionnées sous vide et vendues majoritairement aux cuisines départementales de l'Hérault. En 2023, cela représentait environ 15,5 tonnes. Cependant, la transformation était sous-traitée à des PME industrielles partenaires, telle que Rhône-Saône Légumes, qui prenaient en charge les étapes de trempage, de conditionnement et de cuisson. Agriviva ne réalisait alors que l'achat des matières premières et l'expédition des produits finis.

Cette externalisation montrait cependant des limites. Les capacités de production ainsi que les délais de livraison dépendent fortement des contraintes des PME partenaires. Par ailleurs, les allers-retours logistiques liés à la sous-traitance représentaient un coût élevé et une complexité opérationnelle importante. Cette organisation ne permettait pas de générer une marge significative sur la vente des légumineuses.

Sous l'impulsion du projet FIBANI et fort du constat selon lequel la sous-traitance n'est pas rentable, Agriviva décide de se doter de son propre outil de transformation. L'objectif est de maîtriser la transformation en interne, de sécuriser les volumes tout en réduisant les coûts de production afin d'augmenter la marge brute. Cette Internalisation permet aussi le développement de l'offre vers des produits de [5ème gamme](#) de légumes et céréales précuits qui sont des produits qui intéressent la restauration collective privée.

Enfin, pour [CnP](#), ce projet constitue une opportunité stratégique pour affirmer sa crédibilité comme plateforme d'appui auprès d'Agriviva et des légumeries qu'elle souhaite fédérer au sein de son réseau. Il s'agit également de développer une expertise spécifique et de concevoir un processus reproductible, capable d'être déployé dans différentes légumeries sur le territoire.

### **3.2 Cahier des charges initial**

L'objectif est donc, dans un premier temps, d'internaliser la production de la gamme de légumineuses cuites en poches sous vide. Celle-ci doit comprendre : pois chiches, lentilles vertes, haricots rouges, et haricots blancs, en bio ou conventionnel. Les clients cibles sont la restauration collective et hors domicile . Dans un second temps, les processus développés doivent permettre d'élargir facilement la gamme à d'autres produits comme les céréales ou les légumes précuits.

Les produits sont composés uniquement de légumineuses et d'eau de cuisson, sans ajout d'assaisonnement. Un besoin connu de la restauration collective sur ce type produit concerne la nécessité de limiter le plus possible la quantité d'eau de cuisson résiduelle dans les sachets de produits finis. Cela permet de limiter les besoins d'égouttage et facilite ainsi la mise en œuvre en cuisine.

Les légumineuses sont destinées à être consommées froides ou réchauffées, en sauce ou en salade. La texture doit donc présenter un équilibre entre tendreté et fermeté afin qu'elles conservent une structure suffisamment tendre lorsqu'elles sont consommées froides tout en évitant qu'elles ne se désagrègent lors du

réchauffage. Aussi, un frein à l'adoption des légumineuses dans le bol alimentaire humain est l'inconfort digestif qu'elles peuvent provoquer. Le produit fini doit donc être le plus digeste possible.

Le produit est conservé sous vide et est cuit dans l'emballage final. La masse visée est de 2,5 Kg net égoutté. Il sera distribué en liaison froide et est donc à conserver entre 0 et 4°C. Il doit être consommé rapidement après ouverture. La Date Limite de Consommation ([DLC](#)) doit être la plus longue possible pour permettre la constitution des stocks de produits finis dans le but de donner de la souplesse à la production. Aussi, il doit répondre aux normes qui régissent la commercialisation des denrées alimentaires aux professionnels sur les marchés publics et privés. A savoir :

LE règlement (CE) n° 852/2004 sur l'hygiène des denrées alimentaires. LE règlement (CE) n° 1169/2011 sur l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires. La loi EGALIM (Loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018). LE règlement (CE) n° 2073/2005 sur les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. LE règlement (UE) n° 10/2011 pour les emballages plastiques au contact des denrées alimentaires.

### **3.3 Équipe projet et historique du développement**

Le facteur organisationnel est un aspect primordial du déroulement d'un projet. Nous vous proposons ici de présenter les rôles et responsabilités des différentes personnes impliquées dans celui-ci. [CnP](#) assume la réalisation des études techniques, la sélection, l'achat et l'installation des équipements, la mise en œuvre de la [R&D](#) pour définir les barèmes de cuisson, les recettes ainsi que la rédaction des modes opératoires et des documents qualité réglementaires. L'objectif de [CnP](#) est de fournir un atelier opérationnel clés en main à Agriviva.

Côté Agriviva, des personnes sont évidemment intégrées au projet pour permettre un transfert des connaissances continu et garantir la bonne intégration du nouvel atelier à l'outil de production existant. Ainsi, Solène Rocques, assistante qualité, collabore à la rédaction des documents qualité et veille à leur bonne intégration dans le Plan de Maîtrise Sanitaire ([PMS](#)) existant. Candide Martinet, responsable de production, est chargée d'accompagner le lancement opérationnel de l'atelier et d'impliquer les équipes de production dans cette montée en compétence. Enfin, Laure Vidal, directrice du site, est la personne qui représente moralement l'entreprise et qui conserve l'ensemble des capacités décisionnelles. Dans le cadre de ce projet, Madame Vidal est consultée pour toute validation concernant les décisions qui engagent sa responsabilité vis-à-vis de la qualité du produit fini ou encore pour la construction du prix.

Ainsi, au cours du premier trimestre 2024, Jeanne Ferry, ingénierie procédés agroalimentaire chez [CnP](#), réalise la première phase d'étude du projet et identifie le procédé de transformation le plus adapté. C'est la cuisson pasteurisatrice sous vide et à basse température qui est retenue, notamment pour sa compatibilité avec l'environnement de production existant. Ce choix sera détaillé ultérieurement.

Au second trimestre 2024, le choix des équipements est réalisé et sont achetés un four vapeur Rational ICombi pro 20 niveaux GN2/1 ainsi qu'une cellule de refroidissement ACFRI pouvant accueillir 2 échelles 20 niveaux GN 2/1. Des travaux sont réalisés afin d'aménager un local qui a pour but d'accueillir le four vapeur. La cellule de refroidissement est quant à elle intégrée dans la zone réfrigérée du conditionnement

. La livraison de ceux-ci est prévue à l'été 2024. Cependant, suite à d'importants retards de livraison, la mise en service des équipements ne fut effective que début novembre 2024.

En août 2024, j'intègre l'entreprise [CnP](#) dans le cadre d'une césure en tant que stagiaire ingénieur process. Je suis alors affecté à Montpellier, aux côtés de Madame Ferry, qui effectue de fréquents déplacements entre Paris et Montpellier, nous travaillons à la mise en place du processus de fabrication. Cinq mois plus tard, le 23 décembre, une convention de stage est signée avec l'entreprise Agriviva. Madame Martinet, responsable de production, devient alors ma tutrice de stage.

Cette transition me permet de poursuivre mon stage de deuxième année dans la continuité de ma mission de césure. La prochaine étape consiste à réaliser un point d'étape du projet d'ici au 23 décembre. En effet, mon rapport de stage portera exclusivement sur cette deuxième phase.

### **3.4 Description du processus de production initial**

A cette date, le processus est établi pour 3 produits à savoir lentilles vertes 2,5 KG, Pois chiches 2,5 KG et Haricots rouges 2,5 KG. Environ 1 tonne de lentilles vertes ainsi que 1,4 tonne de pois chiches ont été vendus au CHU, au CROUS, à la cuisine départementale ainsi qu'à la cuisine centrale de Montpellier dans le cadre de FIBANI.

Le processus débute par l'étape de trempage des légumineuses, à l'exception des lentilles. En effet, les essais menés en [R&D](#) ont montré que le trempage des lentilles n'apportait ni gain significatif en masse après cuisson, ni réduction notable du temps de cuisson. Pour les autres légumineuses, le trempage est effectué dans un [palox](#) en polyéthylène de 600 litres, rempli d'eau froide (entre 2 et 4 °C). Cette opération a lieu en chambre froide, durant la nuit, pour une durée minimale de 18 heures.

Cette étape est essentielle car le trempage permet de réduire la quantité de composés anti-nutritionnels via des phénomènes de lixiviation dans l'eau de trempage et par d'activité enzymatique rendue possible par l'imbibition de la graine. En effet, les légumineuses contiennent des composés tels que les lectines, les phytates, les α-galactosides ou autres composés polyphénoliques. Ceux-ci sont à l'origine d'inconforts digestifs et peuvent être extrêmement toxiques voire mortels. D'autre part, le trempage permet d'initier l'hydratation de la graine ce qui réduit le temps de cuisson. Ensuite les légumineuses sont rincées par immersion dans des bacs d'eau clair et par aspersion d'eau. Cette étape permet de nettoyer la graine des impuretés et d'éliminer les composés relargués par lixiviation lors du trempage.

Une fois rincés, les légumineuses sont conditionnées dans le sachet cuisson 300mm\*400mm. Les opérateurs placent le sachet sur une balance et ajoutent la quantité de légumineuse rincée ainsi que le volume d'eau de cuisson nécessaire. Enfin les sachets sont insérés dans une machine sous vide double cloche afin d'y extraire l'air et de les thermosceller. Les sachets scellés sont directement entreposés sur les chariots 20 niveaux GN 2/2 et stockés en chambre froide en attendant qu'ils soient mis au four. Il y a 4 sachets par grille et 1 grille tous les deux niveaux, cela permet de cuire 40 sachets par fournée soit 100 KG de produits finis.

Les chariots sont ensuite introduits dans le four et l'opérateur choisit le programme de cuisson adapté. Cette étape est fondamentale, d'une part le couple temp-température appliqué doit permettre de réaliser

la pasteurisation de l'aliment. D'autre part, la cuisson doit permettre d'obtenir la texture ainsi que les caractéristiques organoleptiques du cahier des charges. Les 3 paramètres de cuisson à déterminer sont donc le temps, la température et le pourcentage de vapeur dans l'enceinte de cuisson.

A cette date, la température est fixée à 97°C avec 100% de vapeur dans l'enceinte de cuisson. La durée varie en fonction du produit, elle est de 2h20 pour les lentilles et pois chiches contre 3h pour les haricots rouges.

Une fois la cuisson terminée, les chariots sont sortis du four et immédiatement aspergés d'eau froide pendant 1 à 2 minutes. Le but est de faire rapidement descendre la température des sachets de 97°C à environ 70°C. Ensuite les chariots sont introduits en cellule de refroidissement pour 2 heures après quoi ils ressortent avec une température à cœur inférieur à 10°C. Cette étape est très importante pour la qualité microbiologique du produit.

Lorsque le refroidissement est terminé, les chariots sont amenés en chambre froide produits finis (2-4°C) afin d'y étiqueter les sachets et de les répartir dans les différents colis pour expédition. C'est à ce moment qu'une inspection visuelle systématique est réalisée afin d'écartier les sachets fuités et qui représentent de fait un danger microbiologique.

### **3.5 Les axes d'améliorations et de développement de l'atelier cuisson**

Il convient de souligner que les premiers retours clients sont très positifs. Ces derniers sont satisfaits de la qualité du produit, notamment de sa texture, qu'ils comparent à celle des préparations "faites maison", en opposition avec les produits en conserve. Par ailleurs, le type de conditionnement choisi s'est révélé particulièrement pratique pour la mise en œuvre des produits: l'ouverture des sachets est bien plus simple que celle des boîtes de conserve.

Aussi, le nouveau processus de production a été globalement bien accueilli par les opérateurs. Bien que la responsable du conditionnement ait initialement exprimé des inquiétudes quant à la complexité des nouvelles opérations, l'intégration s'est faite de manière fluide. La similarité avec le processus de conditionnement existant, la facilité de manutention des chariots ainsi que la gestion intuitive des différents programmes de cuissons/refroidissements ont permis un lancement rapide des premières productions.

Cependant les premières productions ont permis de mettre en évidence une déviation critique lors de la cuisson. En effet, les sachets gonflent et ce malgré le fait qu'ils soient sous-vides et que la température de cuisson soit inférieure à 100°C. Ce gonflement provoque parfois le déclassement des sachets et rend alors impossible leur commercialisation. Cela génère des pertes nettes de produit fini et impacte négativement la rentabilité de l'atelier. Par ailleurs, du fait de ce phénomène, il est impossible de remplir les 20 niveaux du chariot cuisson. La capacité du four est donc limitée à 100 KG par batch. A raison de 2h30 à 3h de cuisson, il n'est possible de produire que 300 KG légumineuses par jour.

Par ailleurs, nous n'avions validé que 21 jours de [DLC](#) afin de mettre rapidement sur le marché les premiers lots commerciaux. Aussi, nous savions que notre processus était amené à évoluer afin de résoudre les problématiques susmentionnées. L'augmentation de la [DLC](#) s'impose comme une mesure indispensable afin

de donner de la souplesse à la production. Cela permet de constituer des stocks avant que les commandes n'arrivent tout en produisant pendant les périodes creuses de vacances scolaires.

Ces enjeux techniques s'ajoutent à une forte pression sur Agriviva, la croissance rapide des volumes génère de nouveaux enjeux qui mobilisent intensément les équipes. D'autant que plusieurs postes clés ont été nouvellement pourvus : Candide Martinet, responsable de production en première expérience est arrivée en même temps que moi et la responsable qualité arrivée deux mois après le début de mon stage. Cela place Agriviva en mode de gestion crise au jour le jour. La stratégie d'Agriviva est alors très pragmatique et relevant d'un « management au coup de hache » à savoir conserver si simple et rentable, revendre sinon. Tandis que Cuisinons nos paysages privilégie une approche long terme visant l'établissement d'un process structuré et réplifiable. A ce stade, Madame Vidal avait clairement émis des réserves quant au maintien des opérations de productions de légumineuses si ces problèmes énoncés ci-dessus n'étaient pas résolus.

Enfin, au-delà des améliorations opérationnelles identifiées, il est essentiel de poursuivre le développement de la [5ème gamme](#) afin de consolider la dynamique d'élargissement du portefeuille clients engagée par Agriviva. L'enjeu est désormais d'étendre cette offre en travaillant sur le haricot blanc. En parallèle, Monia Fourar, cheffe de produit chez [CnP](#), développe des mélanges crudités associant légumes et céréales comme le petit épeautre et le sorgho. Aussi, lors des démarchages de nouveaux clients, Madame Vidal a identifié un intérêt important de la restauration commerciale pour des légumes précuits. Cet intérêt concerne notamment la pomme de terre en robe des champs ainsi que la carotte avec différents formats de découpe.

## 4 Méthodologie de travail et optimisation du processus

### 4.1 Optimisation du processus de cuisson-pasteurisation

L'enjeu le plus critique lors de cette deuxième partie de stage est la révision des paramètres de cuisson. Cela afin de limiter le gonflement des sachets et, in fine, augmenter la capacité de chaque fournée. Il nous sera possible d'optimiser le refroidissement seulement lorsque cette étape sera maîtrisée. En effet, le paramétrage de la cellule de refroidissement dépend grandement de la masse de produit à traiter par cycle et donc de la capacité du four. Enfin, nous pourrons planifier de nouveaux tests de vieillissement sur les produits issus de ce nouveau processus pour déterminer leur durée de vie finale.

A ce stade, deux visions s'opposent dans l'équipe. Du côté de [CnP](#), Madame Ferry ainsi que Monsieur Lefebvre suggèrent de réduire la température de cuisson quitte à augmenter la durée de celle-ci. L'idée est d'augmenter la capacité de chaque lot et d'envisager une organisation permettant des cuissons longues y compris de nuit. De l'autre, Madame Vidal ainsi que Madame Martinet voient d'un mauvais œil l'allongement des temps de cuisson qui constituent déjà l'étape limitante vis-à-vis de la productivité de l'atelier.

Pour accroître notre compréhension du procédé de cuisson, nous avons réalisé un travail bibliographique plus approfondi. Les travaux qui ont significativement contribué à notre compréhension de ce phénomène

furent ceux de Erica Siguemoto, Christian Mestres, Jean-Michel Meot et Charlotte Lefèvre. Par chance, ceux-ci travaillent au [CIRAD](#) dans l'UMR Qualisud basé à Montpellier. Nous avons donc pu les rencontrer afin de discuter de leurs recherches.

#### **4.1.1 Compréhension des phénomènes liés à la cuisson des légumineuses : apports scientifiques et expertise**

Rappelons que les graines de légumineuses sont constituées principalement de protéines (20-25 %) et de carbohydrates (44-47 %), incluant de l'amidon (35-40 %) et des fibres alimentaires (13-16 %) d'après l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) 2020). Nous avons appris que lors de la cuisson, deux phénomènes concomitants participent à dégrader la texture du grain et à améliorer sa digestibilité. Il s'agit de la gélatinisation de l'amidon ainsi que la solubilisation des pectines contenues dans la lamelle moyenne.

Tout d'abord, dans les légumineuses crues, l'amidon natif a une structure cristalline et granulaire qui rend difficile son hydrolyse par les enzymes digestives humaines. La gélatinisation est un processus physico-chimique irréversible qui consiste en l'hydrolyse des liaisons intermoléculaires de l'amidon ce qui permet aux sites de liaisons hydrogène de se lier aux molécules d'eau. Cette réaction irréversible déstructure les hélices de l'amidon et permet l'attaque par les enzymes digestives humaines. De fait, il existe une forte corrélation entre la digestibilité de l'amidon des légumineuses et son niveau de gélatinisation.

Charlotte Lefèvre, grâce à la Calorimétrie Différentielle à Balayage (DSC), a pu étudier directement les transitions de phase de l'amidon en mesurant le flux de chaleur associé à la gélatinisation des granules d'amidon dont les résultats sont présentés dans cette thèse (C. Lefevre 2021). Elle a ainsi pu établir un diagramme de phase de cette transition pour trois légumineuses : lentilles vertes (*L. culinaris*, var. Anicia), haricots blanc (*P. vulgaris*, var. Linex) et pois chiches (*C. arietinum*, var. Elvar). Le diagramme est présenté dans la figure Figure 3 suivante.

Cela nous renseigne sur le fait que cette transition de phase est exclusivement déterminée par la température (axe des ordonnées) et la teneur en eau ([TE](#)) (axe des abscisses avec X : Water content of starch flour en  $kg.kg^{-1}$  dry basis). On remarquera qu'il n'y a ici pas de dimension temporelle, en effet, dès lors que la température est suffisante et que de l'eau est disponible, la transition de phase est instantanée.

Sur la base de ce modèle de transition de phase de l'amidon, Erica Siguemoto a pu établir un modèle comportemental d'absorption de l'eau par les légumineuses lors de la cuisson (Erica Siguemoto 2024). Cela permet notamment d'introduire une dimension temporelle. En effet, dans une graine de légumineuse en cours de cuisson, l'atteinte de ces conditions de gélatinisation au sein de la structure prendra du temps en raison des phénomènes de transfert de chaleur et d'eau.

Dans ce modèle, la légumineuse est considérée comme un matériau à quatre composants : eau, protéine-fibre, amidon natif et amidon gélatinisé. Le modèle suppose que l'absorption d'eau est compartimentée entre la phase protéine-fibre / amidon natif (structure cristalline et granulaire) et l'amidon gélatinisé. La capacité de rétention d'eau de la protéine-fibre et de l'amidon natif est considérée comme constante en

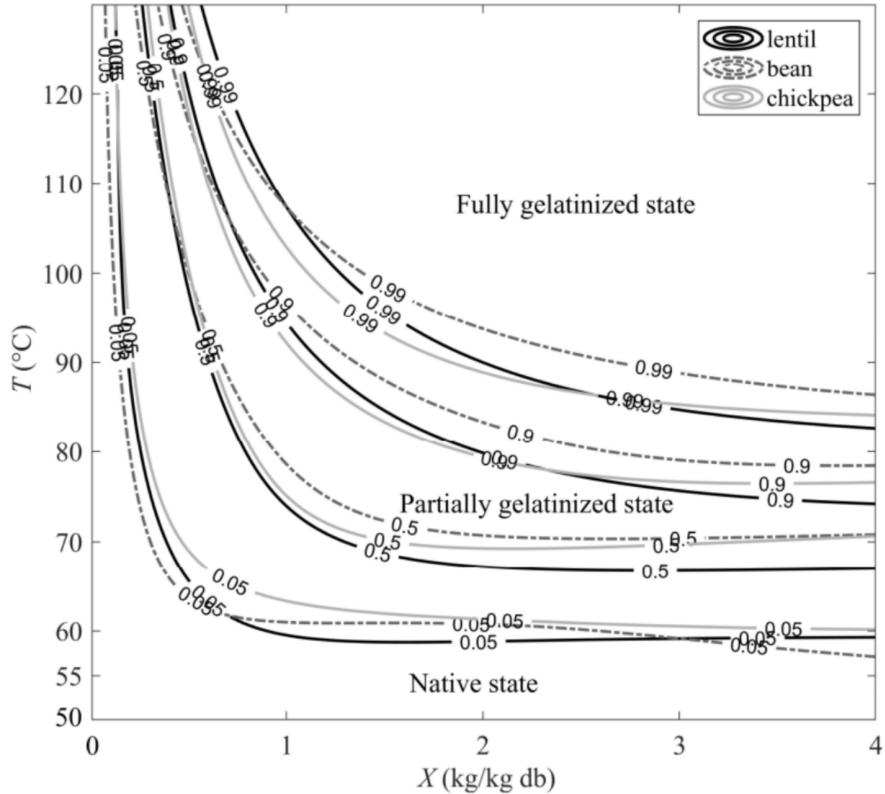


Figure 3: Diagramme de phase de l'amidon pour différentes légumineuses

dessous de 70 °C. Cela modélise l'absorption maximale d'eau que l'on observe lors du trempage à froid des graines. Au-delà de 70°C, le modèle considère que l'augmentation de l'absorption d'eau est liée à la gélatinisation. Cela est illustré dans la Figure 4 suivante.

Enfin, la gélatinisation est considérée comme une modification irréversible qui est fonction de la température et de la TE au temps considéré et dont les paramètres ont été déterminés par Charlotte Lefèvre. La résolution des équations associées à ce modèle permet de prédire l'évolution de la TE des légumineuses en fonction du temps et de la température. Pour illustrer ce phénomène, la Figure 5 ci-dessous présente la variation de la teneur totale en eau des haricots blancs au cours du temps, à différentes températures de cuisson.

En supposant que les grains sont immergés dans un excès d'eau, on observe que la TE tend vers une asymptote dont la valeur dépend de la température. Cette observation peut s'expliquer de la manière suivante :

- En dessous de 70 °C, comme mentionné précédemment, l'absorption maximale d'eau est considérée comme constante.
- Au-delà de 70 °C, l'absorption devient largement dépendante du taux de gélatinisation de l'amidon. Or, selon le diagramme de phase de l'amidon, ce taux est lui-même fonction de la température. Cela justifie les différences d'asymptotes observées selon les conditions thermiques.

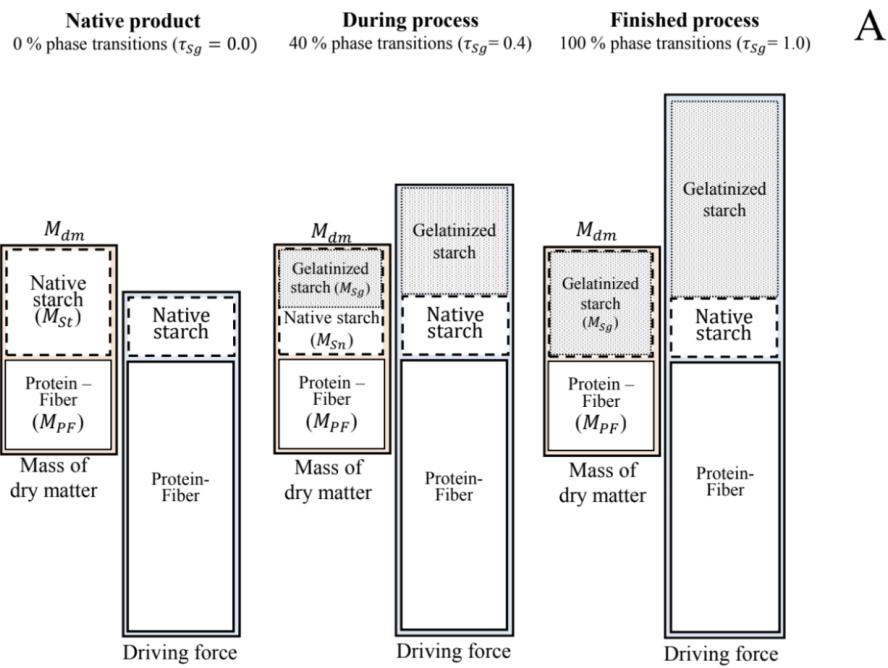


Figure 4: Représentation schématique de la répartition de l'eau et des transitions de phase lors du traitement hydrothermal des légumineuses Source: Erica et al

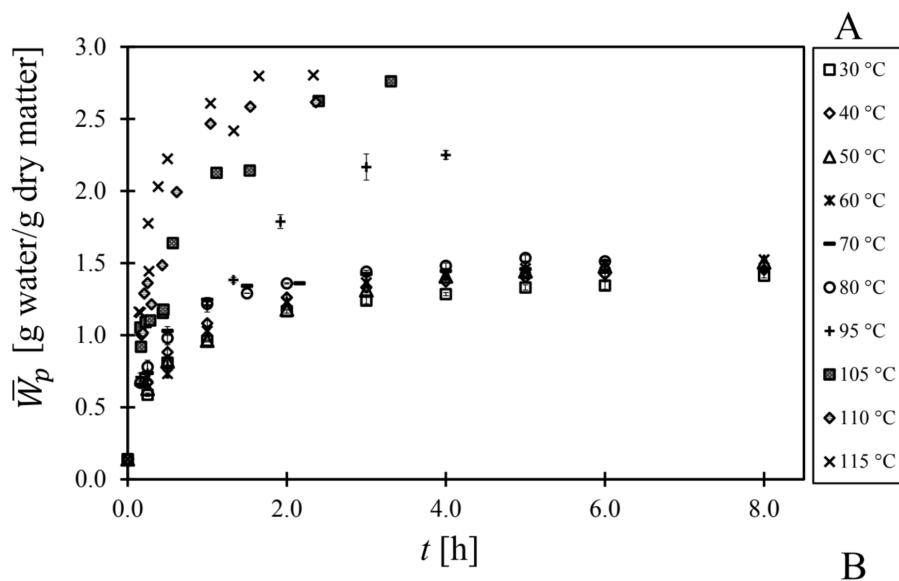


Figure 5: Variation de la teneur en eau des haricots blancs selon le temps et la température de cuisson. Source: Erica et al

La figure Figure 6 suivante illustre les valeurs maximales théoriques de la TE des haricots blancs pour différentes températures, correspondant à des temps de cuisson tendant vers l'infini.

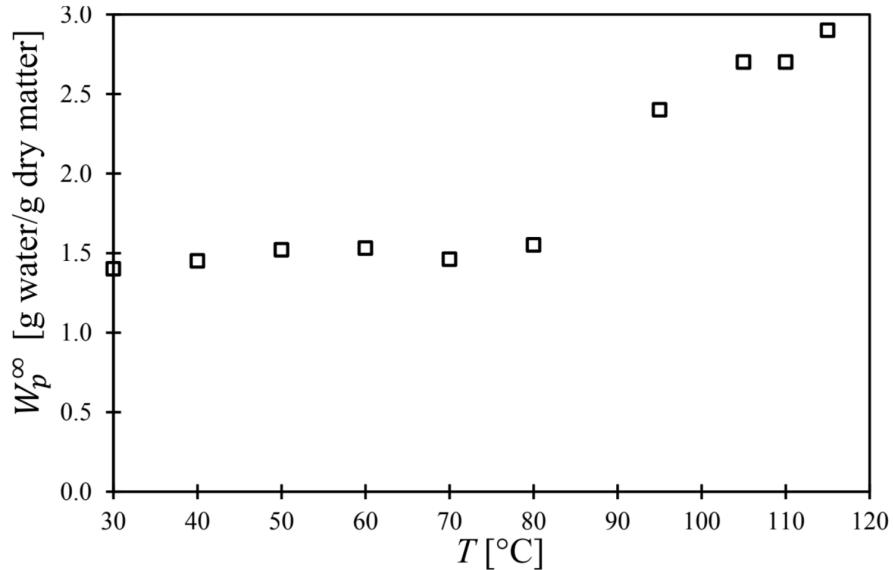


Figure 6: Valeurs maximales théoriques de la teneur en eau des haricots blancs pour différentes températures. Source : Erica et al

Ces travaux nous sont utiles car ils nous permettent d'estimer la réussite de la cuisson des légumineuses sur un aspect important, celui de la digestibilité de l'amidon. Lors de nos tests nous pouvons mesurer la température à l'intérieur des sachets grâce à la sonde de température intégrée au four. Par ailleurs, nous pouvons quantifier l'eau absorbée en mesurant le poids des légumineuses avant et après cuisson. Ainsi, il nous est possible de nous positionner dans le diagramme de phase de l'amidon afin d'estimer son taux de gélatinisation et d'avoir un indicateur sur la progression de la cuisson.

Cependant, le succès de la cuisson ne dépend pas uniquement de la gélatinisation de l'amidon car cela ne contribue pas directement à la dégradation de la texture des grains (Wainaina et al. 2021). La solubilisation des polysaccharides pectiques présents dans la lamelle moyenne est considérée comme l'étape limitante de la dégradation de la texture (Khrisanapant et al. 2021) (Pälchen et al. 2022). En effet, ce phénomène est à l'origine d'un affaiblissement de la lamelle moyenne ce qui engendre une perte de cohésion entre les cellules et d'une dégradation globale de la texture.

Le facteur principal qui affecte la solubilisation de ces pectines est la température. En effet, il s'agit d'une thermo-solubilisation dont l'intensité augmente avec celle-ci. Par ailleurs, il existe une corrélation entre gélatinisation de l'amidon et augmentation de la tendreté. En effet, la gélatinisation provoque le gonflement des grains d'amidon ce qui augmente la pression intracellulaire. Cela contribue à la séparation des cellules et, de fait, à un ramollissement du grain. Cependant, la dégradation de la texture est un phénomène complexe dont la cinétique dépend également de la composition de la lamelle moyenne. Cette composition est propre à la génétique de chaque légumineuse et des détériorations biochimiques peuvent faire évoluer cette composition lors du stockage (Wainaina et al. 2021).

En effet, lors du stockage, les membranes tendent à se dégrader du fait de l'oxydation des lipides qui

la constitue et les pectines contenues dans la lamelle moyenne tendent à se dé-méthyler. La rupture des membranes plasmique engendre la mise en contact du contenu cellulaire avec la lamelle moyenne. Alors, des cations comme le Ca<sup>2+</sup> contenus dans les phytates rencontrent les pectines dé-méthylées. Ces cations s'associent via des liaisons faibles avec les pectines, cela engendre la formation de complexes beaucoup moins solubles. Dans des conditions de stockage dégradées (supérieur à 25°C et plus de 65% d'humidité), lorsque ce phénomène est très important, il est appelé HTC (Hard To Cook). Ces dégradations biochimiques engendent des temps de cuisson plus importants et peuvent même rendre impropre à la consommation les légumineuses trop fortement affectées par ce phénomène.

Pour conclure, la dégradation de la texture des légumineuses est un phénomène complexe à modéliser et dépend de nombreux paramètres. De fait, il est difficile de connaître à priori le résultat en termes de tendreté. Que ce soit pour la gélatinisation de l'amidon ou la solubilisation de la lamelle moyenne, la température ainsi que la présence d'eau apparaissent comme des facteurs limitants de la cuisson. L'augmentation de la température ne permet pas seulement d'augmenter la vitesse de ces réactions, elle est nécessaire pour atteindre un certain taux de gélatinisation ainsi qu'une texture acceptable.

Cela montre qu'il est difficile de qualifier la réussite de la cuisson des légumineuses en se basant sur un seul paramètre. Une cuisson réussie nécessite d'atteindre à la fois les transformations chimiques souhaitées et les propriétés texturales attendues par le consommateur (Wood 2017). Les différentes méthodes d'évaluation de la cuisson utilisent des définitions variées de cet état final, ce qui souligne la complexité de standardiser et de définir objectivement la cuisson comme "terminée".

Nous avons été exceptionnellement invités par Madame Siguemoto à réaliser des mesures de textures et de taux d'humidité sur nos échantillons à la plateforme technologique agroalimentaire de l'UMR QUALISUD. Nous avons pu réaliser des mesures sur deux échantillons de pois-chiches et lentilles vertes cuits selon les paramètres du processus initial représentés dans la Figure 7 suivante. Nos lentilles vertes présentent une TE moyenne (TE : g eau/g sec) de 2,16 contre 1,94 pour les pois chiches. Sachant que nous avons cuit ces échantillons à 97°C, nous pouvons positionner ces valeurs dans le diagramme de phase de l'amidon.

D'après le diagramme de phase et les mesures réalisées, l'amidon de nos échantillons est théoriquement complètement gélatinisé. D'un point de vue biochimique, on pourrait considérer la cuisson comme complète. Cependant l'acceptabilité par le consommateur est fortement influencée par la texture. Or la détermination de la texture (en Newton / KG de matière sèche) selon le protocole HDP/MKS Mini Kramer Shear Cell (AACC standard Method for Cooked Pulses)(Wang et al. 2012) montre des résultats plus contrastés. En effet, on mesure une Fmax de 27 N/g base sèche pour les lentilles contre 81 N/g de base sèche pour les pois chiches. D'après une étude en cours à l'UMRS qualisud qui porte sur l'acceptabilité par le consommateur de la texture des légumineuses, la valeur de fermeté (Fmax) des lentilles se situe dans la gamme acceptable pour que 70% des consommateurs soient satisfaits. Cependant, la valeur moyenne de fermeté des pois chiches est bien supérieure à celle déterminée dans ces travaux.

En conclusion, la cuisson à basse température montre ses limites : malgré plus de deux heures de traitement, la texture reste insuffisante, en particulier pour les pois chiches. Le procédé actuel se situe déjà à la limite basse d'acceptabilité en termes de fermeté, ce qui impose d'intégrer la texture comme critère central dans toute optimisation future.

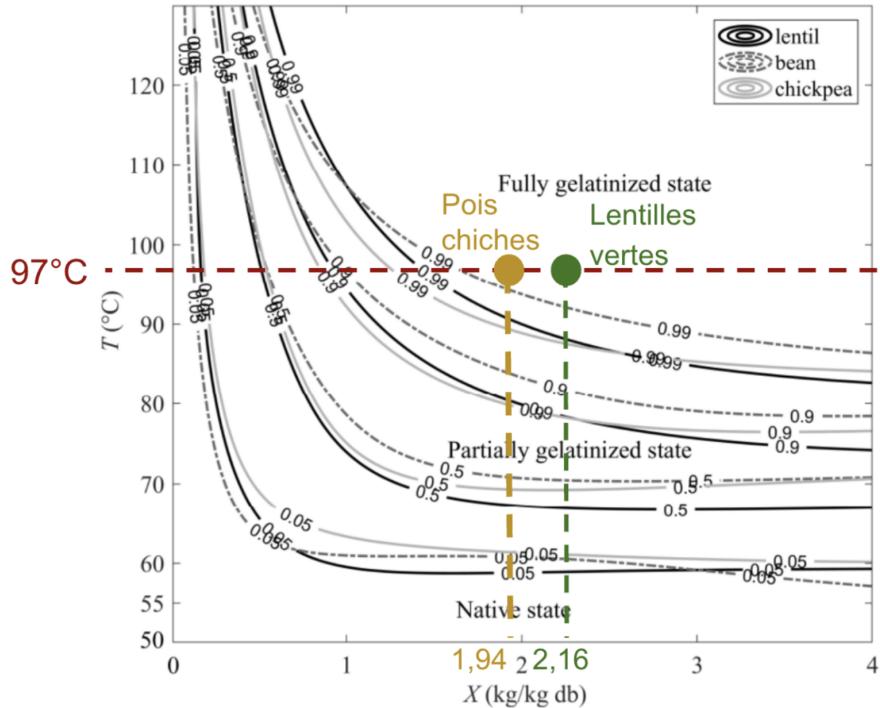


Figure 7: Diagramme de phase de l'amidon avec positionnement des échantillons de pois chiches et lentilles vertes cuits à 97°C. Source : Mesures QUALISUD, 2023

#### 4.1.2 Exploration de l'hypothèse 1 : allongement du temps de cuisson à basse température

En parallèle de nos échanges avec le [CIRAD](#), nous avons eu l'opportunité de suivre une formation sur la cuisson sous vide des végétaux, animée par Damien Maillard, consultant et dirigeant de la société de conseil agroalimentaire AGROVERTIS.

Cette formation, financée par Clément Lefebvre (cofondateur de [CnP](#)), poursuivait un double objectif. D'une part, cela permet à Madame Ferry et moi-même de bénéficier d'un regard neuf et plus pragmatique. Ce fut l'occasion d'aborder des aspects opérationnels liés à l'amélioration concrète des processus en production. Par ailleurs, Monsieur Maillard suggérait d'explorer la thèse inverse à l'augmentation de la température de cuisson. Il était en faveur d'un allongement du temps de cuisson et ce dans le but de limiter le gonflement des sachets afin de mieux maîtriser la cuisson dans l'ensemble. D'autre part, l'intervention de Monsieur Maillard, grâce à son expérience reconnue et sa crédibilité, a eu un impact positif sur Laure Vidal, pour qui les performances de l'atelier étaient principalement évaluées selon les critères de capacité et de cadence de cuisson des batchs. Suite à cette formation, nous avons pu lancer une batterie de tests pour explorer cette voie d'amélioration et ce avec l'approbation complète de Madame Vidal.

L'objectif des ces tests était donc de trouver les paramètres temps-températures qui permettent de cuire suffisamment les légumineuses tout en limitant le phénomène de gonflement des sachets. Pour ce faire, nous avons réalisé des cuissons à différentes températures (90°C, 93°C, 95°C). Pour chaque température, nous avons retiré un sachet à différents moments : 2h, 3h, 4h, 5h puis après une nuit complète de 12h.

Les recettes (à savoir la quantité d'eau de cuisson et la masse de légumineuse sèche) restent inchangées par rapport au processus initial.

Pour évaluer le résultat de la cuisson, nous vérifions le goût et réalisons des tests d'écrasement au doigt afin d'estimer la texture. Nous considérons que la texture est suffisamment tendre lorsque les cotylédons s'écrasent uniformément entre le pouce et l'index. En effet, lorsque la cuisson est insuffisante, les deux cotylédons se séparent simplement l'un de l'autre lorsque l'on applique une pression sur le grain. Par ailleurs, la texture du tégument est évaluée lors de la dégustation, nous cherchons à obtenir un tégument qui se délite facilement et ne reste pas coincé entre les dents. Enfin, nous cherchons à retrouver un petit goût de noisette dans les différentes légumineuses. Les analyses sensorielles sont effectuées quelques heures après la cuisson sur des échantillons rincés et à température ambiante. Les résultats sont présentés dans la Figure 8 suivante.

Temps de cuisson	légumineuse	90°C		93°C		95°C	
		analyse sensorielle	Gélatinisation > 99% (sur la base du TE estimé, la T <sup>c</sup> et le diagramme de phase de l'amidon)	analyse sensorielle	Gélatinisation > 99% (sur la base du TE estimé, la T <sup>c</sup> et le diagramme de phase de l'amidon)	analyse sensorielle	Gélatinisation > 99% (sur la base du TE estimé, la T <sup>c</sup> et le diagramme de phase de l'amidon)
2h	PC	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
	LV	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
	HR	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
3h	PC	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
	LV	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
	HR	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
4h	PC	pas assez cuit		pas assez cuit		pas assez cuit	
	LV	pas assez cuit		pas assez cuit		cuit (moins que process actuel)	
	HR	pas assez cuit		manque de cuisson (ferme et peau dure)		manque de cuisson (ferme et peau dure)	
5h	PC	pas assez cuit		manque de cuisson		cuit (moins que process actuel)	
	LV	pas assez cuit		manque de cuisson		cuit (moins que process actuel)	
	HR	pas assez cuit		cuit (moins que process actuel)		cuit (moins que process actuel)	
12h	PC	pas assez cuit		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)	
	LV	pas assez cuit		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)	
	HR	pas assez cuit		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)		cuit, altération en du produit (carbonisation en fond de sachet + gélatine)	

Figure 8: Synthèse des résultats de cuisson : texture et goût des légumineuses. Source : Mesures internes Agriviva

Pour ce qui est de la mesure du gain en masse des grains, l'objectif est de se faire une idée sur le taux de gélatinisation de l'amidon. Pour ce faire, nous mesurons la quantité d'eau absorbée lors de la cuisson en soustrayant la masse grains secs initialement ajoutée dans le sachet à la masse de légumineuse cuite et égouttée. Lorsque nous retirons un sachet du four, il est plongé dans un bac d'eau froide (2°C) pendant 20 minutes. Une fois à température ambiante, le contenu est déversé dans une passoire et les grains sont rincés succinctement à l'eau tiède. On laisse le contenu s'égoutter pendant une minute avant de le peser sur une balance de production, précise à 5 grammes et fréquemment contrôlée métrologiquement.

Nous observons sur la Figure 9 qu'il est difficile d'atteindre la texture souhaitée. A 90°C nous ne l'atteignons tout simplement pas. à 93°C, nous l'atteignons seulement après 12h de cuisson mais au dépend de la qualité du produit, en effet le fond du sachet prend une couleur marronâtre du fait de la carbonisation et l'eau résiduelle de cuisson se gélifie. Ce phénomène de gélatinisation excessive complique la mise en œuvre du produit car il est difficile de l'égoutter. Enfin, à 95°C, une texture acceptable est

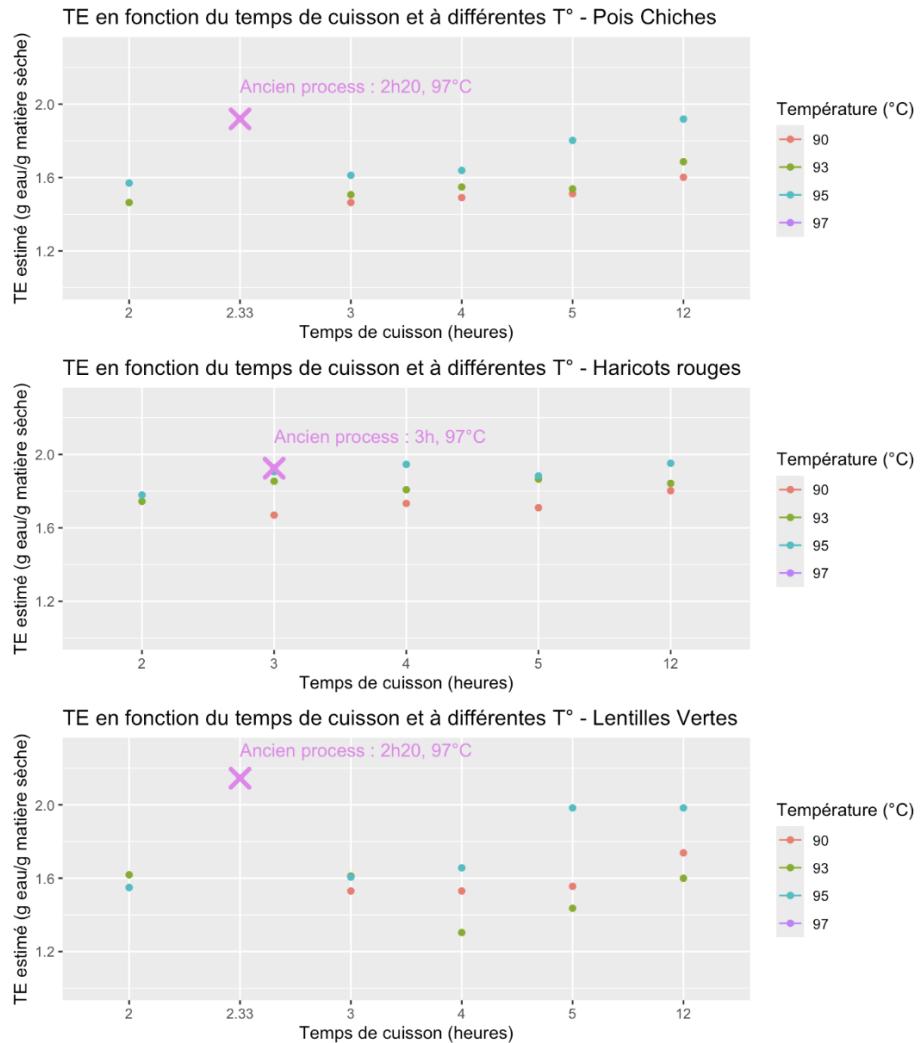


Figure 9: Évolution de la teneur en eau des légumineuses selon le temps et la température de cuisson.  
Source : Mesures internes Agriviva

atteinte entre 4 et 5h de cuisson en fonction du produit.

La Figure 10 suivante représente les courbes de TE (g eau/ g matière sèche) du pois chiches et de la lentille verte après 5h de cuisson, on se situe en dessous de la valeur de TE mesurée avec les anciens paramètres de cuisson. En effet la température est un facteur limitant de l'absorption en eau, cela avait été modélisé par Madame Siguemoto et est illustré dans le graphique des valeurs maximales théoriques de la TE des haricots blancs pour différentes températures, correspondant à des temps de cuisson tendant vers l'infini. La figure suivante présente ce graphique en mettant en évidence la plage de température correspondant à celle appliquée lors des différents essais et. Ainsi, la réduction de la température limite l'absorption d'eau par les légumineuses et impacte négativement le taux de gélatinisation de l'amidon comme le montre les résultats présentés dans la table X. Par ailleurs, sur un plan économique, cela se traduit par une perte nette de rendement en produit fini.

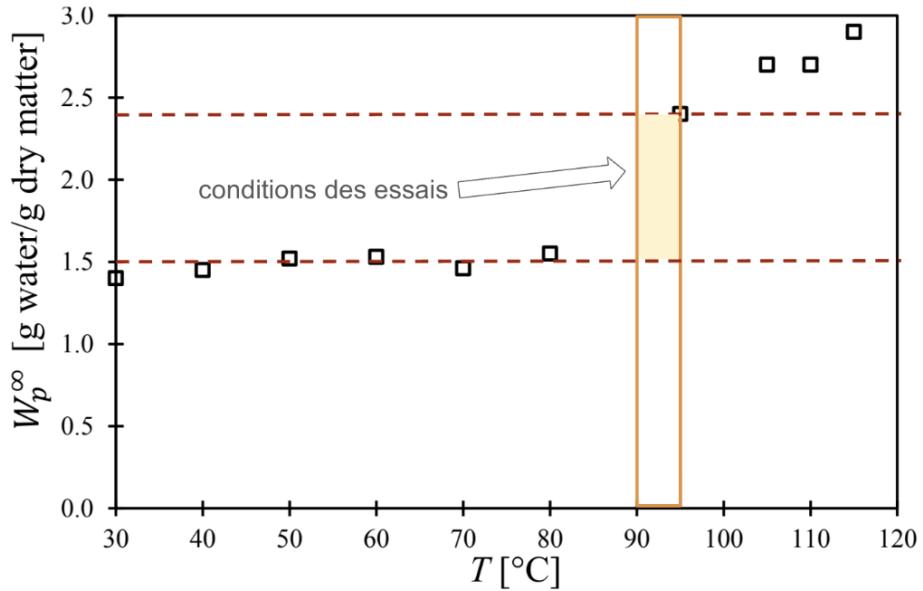


Figure 10: Relation entre la température et la teneur en eau maximale théorique des haricots blancs (modèle de Siguemoto, temps de cuisson  $\rightarrow \infty$ ).

Par ailleurs, le phénomène de gonflement des sachets apparaît de manière significative à partir de 93°C. À 95°C, il est presque similaire en intensité à celui observé à 97°C. Or on l'a vu, à 93°C, seul le haricot rouge atteint une texture convenable après 5h de cuisson. Pour le pois chiche et la lentille, si l'on prolonge la cuisson on observe une dégradation du produit et la TE reste toujours inférieure à celle obtenue à 97°C. Par ailleurs, cette augmentation significative du temps de cuisson engendre des coûts de productions plus élevés du fait de dépenses énergétiques accrues.

Aussi, sur le plan moléculaire, un temps croissant de traitement thermique augmente le phénomène de diffusion de monomères contenue dans l'emballage plastique vers l'aliment. La toxicité de ces éléments est reconnue et des réglementations européennes harmonisées définissent des restrictions d'emploi. Ces restrictions peuvent prendre la forme de limites de migration spécifiques qui s'expriment sous la forme d'une quantité maximale pouvant être désorbée dans l'aliment, ou bien par une concentration maximale initiale dans l'emballage. Ainsi les fournisseurs de sachets cuissent doivent réaliser des tests de migrations

afin d'indiquer au client la plage de temps-température maximale applicable au sachet. Lors de notre benchmark de sacs cuissons, nous avons eu du mal à trouver des fournisseurs capables de garantir l'alimentarité de leur produit pour nos anciens barèmes.

Toutefois, il est important de notifier que ces essais présentent des limites méthodologiques. D'abord, la réalisation de ceux-ci est très chronophage et doivent être réalisés en parallèle de la production des lots commerciaux. Ceci explique pourquoi nous n'avons pas réalisé plusieurs mesures pour chacune des modalités. De fait, nous ne pouvons pas définir d'intervalles de confiance sur les TE pour les différents résultats.

Aussi, les valeurs de TE que nous avons mesurées ne sont que des estimations dont la valeur dépend grandement de plusieurs paramètres. Premièrement le taux initial en eau de la graine sèche a été estimé à partir des données transmises par le fournisseur des légumineuses et peut varier lors du stockage. De plus, l'absorption en eau lors du trempage a été déduite de mesures réalisées lors d'expériences précédentes où l'on faisait varier le temps de trempage afin d'obtenir la relation entre la durée et l'absorption en eau des différentes légumineuses. Enfin, la quantité d'eau absorbée lors du trempage est déduite en soustrayant la masse cuite égouttée à la masse trempée. Cette mesure peut être biaisée par la dissolution d'éléments (sucres, protéines etc..) dans l'eau de cuisson qui est évacuée lors du rinçage de la graine. Cette masse sèche solubilisée n'est donc pas prise en compte dans la mesure du TE.

Malgré cela, nous avons estimé que ces résultats étaient suffisants pour mettre un terme à la recherche d'un barème de cuisson avec des températures plus faibles. Ces essais n'ont pas permis de mettre en évidence un couple temps-température en dessous de 97°C qui permettait à la fois de satisfaire les attentes du consommateur en termes de texture, de digestibilité de l'amidon, de sécurité alimentaire et le tout, en limitant le phénomène de gonflement des sachets. Nous avons donc exploré une autre piste d'amélioration du processus qui se base sur la compréhension du phénomène d'apparition de gaz dans les poches.

#### **4.1.3 Exploration de l'hypothèse 2 : rôle de la vapeur dans le gonflement des sachets**

L'apparition de gaz dans le sachet cuisson peut avoir plusieurs origines. Tout d'abord il y a les gaz initialement présents dans la poche après la mise sous vide et dont le volume croît avec l'augmentation de la température. Parmi ces gaz, on retrouve ceux occlus dans les légumineuses sèches contenu dans la région de l'hile et du micropyle et qui s'échappent de la graine lors de la cuisson. Cependant il est difficile d'estimer la quantité de gaz contenu dans la graine et le trempage préalable des graines limite grandement ce phénomène.

Par ailleurs on retrouve les gaz dissous dans l'eau de cuisson libérés avec l'augmentation de température qui diminue la constante de solubilité de ceux-ci. Pour rappel, la quantité de gaz dissous dans l'eau peut être modélisée par la loi de Henry. « À température constante et à saturation, la pression partielle dans la phase vapeur d'un soluté volatil est proportionnelle à la fraction molaire de ce corps dans la solution liquide. ». Ainsi La loi de Henry permet de relier la pression partielle du soluté en phase gazeuse à sa fraction molaire en phase liquide à l'équilibre liquide-vapeur selon l'équation suivante :

$$P_\sigma = x_\sigma^g * P = x_\sigma^l k_{H,\sigma,s}$$

Avec :

$P_\sigma$ , la pression partielle du soluté  $\sigma$  dans la phase gazeuse à l'équilibre.

$P$ , la pression totale du mélange gazeux au-dessus de la solution.

$x_\sigma^g$ , la fraction molaire du soluté  $\sigma$  dans la phase gazeuse à l'équilibre.

$x_\sigma^l$ , la fraction molaire du soluté  $\sigma$  dissous dans la phase liquide à l'équilibre.

$k_{H,\sigma,s}$ , la constante de Henry du soluté  $\sigma$  dans le solvant s, exprimée dans la convention « fraction molaire » (unités de pression). Elle dépend de la température et de la nature du couple soluté-solvant et est définie dans la limite des solutions diluées.

Dans notre système nous pouvons faire les hypothèses et approximations suivantes : - Le sachet cuisson se déforme et la pression reste donc constante à l'intérieur de celui-ci. Il n'y a pas d'échange de matière entre l'intérieur et l'extérieur. Il s'agit donc d'une transformation isobare à pression atmosphérique  $P = 1$ , atm.

L'eau de cuisson est supposée pure tout au long du processus. Elle est introduite froide à environ 2 °C dans le sachet avec ses gaz dissous. On peut alors établir la quantité d'air dissous dans l'eau en fonction de la température. À 0 °C elle est de  $0,0286 \text{ L} \cdot \text{L}^{-1}$  à 1 atm puis elle chute à  $0,0115 \text{ L} \cdot \text{L}^{-1}$  lorsque l'on atteint 100 °C. Soit  $0,0171 \text{ L} \cdot \text{L}^{-1}$  d'air qui passe sous forme gazeuse dans la poche lors de l'augmentation de température. Ces valeurs sont exprimées en volumes de gaz aux CNTP par volume d'eau, c'est-à-dire en L de gaz CNTP par L d'eau. Ainsi, ce volume libéré sous forme de gaz, lorsqu'il atteint environ 100 °C, occupe en réalité plus de volume. Grâce à la loi de Charles qui stipule qu'à pression constante le volume d'un gaz parfait est directement proportionnel à la température absolue (exprimée en kelvins), soit, pour une même quantité de gaz dans deux états 1 et 2 à la même pression, on peut écrire, sachant que nous utilisons environ 1 L d'eau de cuisson par sachet :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Soit avec nos valeurs :

$$\frac{0,0171}{273,15} = \frac{V_2}{373,15}$$

Enfin :

$$V_2 = 0,0171 \times \frac{373,15}{273,15} \approx 0,0233, \text{ L}$$

Nous pouvons estimer le volume initial du sachet cuisson. Avec une largeur de 0,3 m, une longueur de 0,4 m ainsi qu'une épaisseur à froid de 0,04 m soit un volume initial d'environ 4,8 litres. Les 0,0233 L de gaz initialement dissous ne représente qu'à peine 0,5 % du volume initial de la poche une fois libérés lors de l'élévation de température. Ce phénomène seul ne peut donc pas expliquer le gonflement significatif des sachets lors de la cuisson.

Une autre hypothèse pour expliquer l'apparition de gaz dans le sachet est de considérer qu'il s'agit de vapeur d'eau. Il convient de distinguer clairement les deux mécanismes de changement d'état de liquide-gaz que sont l'évaporation et la vaporisation (ou ébullition).

L'évaporation est un phénomène de surface qui se produit à toutes les températures, dès lors que des molécules situées à la surface du liquide possèdent suffisamment d'énergie cinétique pour passer en phase gazeuse. À l'équilibre thermodynamique, la pression gazeuse obtenue définit la pression de vapeur saturante, qui dépend uniquement de la température. Dans le cas d'un corps pur placé dans une enceinte fermée, la pression de vapeur saturante est la pression de la phase gazeuse lorsqu'elle est en équilibre avec la phase liquide.

À 97°C, cette pression de vapeur saturante est d'environ 867 hPa pour l'eau pure, soit inférieure à la pression atmosphérique (1013 hPa). Dans le cas présent, le contenu des sachets reste soumis à une pression constante, équivalente à la pression atmosphérique. La pression de vapeur saturante de l'eau est donc inférieure à la pression externe, ce qui empêche toute formation spontanée et stable de vapeur par évaporation. L'évaporation ne peut donc pas expliquer le gonflement observé.

En revanche, la vaporisation par ébullition est un phénomène volumique qui se produit lorsque la température du liquide atteint la température d'ébullition, c'est-à-dire la température à laquelle la pression de vapeur saturante devient égale à la pression ambiante. Dans ce cas, des bulles de vapeur se forment à l'intérieur du liquide, remontent à la surface et libèrent la vapeur dans l'environnement. Expérimentalement, on observe ces bulles se former dans les sachets de cuisson.

Or, cela paraît contre-intuitif du point de vue thermodynamique : à pression atmosphérique, la température d'ébullition de l'eau est de 100 °C. Cela signifie que pour qu'une vapeur persiste à l'intérieur du sachet il faut soit une élévation de température au-delà de 100 °C, soit une chute de pression dans l'enceinte de cuisson. Dans notre four, la deuxième condition ne peut être atteinte car l'enceinte de cuisson n'est pas fermée hermétiquement, aucune variation de pression significative n'est donc envisageable. Cependant, une hypothèse plausible pour expliquer la formation de vapeur repose sur les modes de transfert thermique utilisé par le four.

En effet, celui-ci combine deux mécanismes de transfert de chaleur. D'une part, il génère un flux d'air chauffé par des résistances et est brassé dans l'enceinte par des ventilateurs. D'autre part, un paramètre indépendant permet de régler le taux de vapeur sèche injectée. Celle-ci est produite par d'aspersion d'eau sur des éléments chauffants ce qui produit de la vapeur d'eau surchauffée ( $T > 100^\circ\text{C}$ ). Celle-ci est transportée dans l'enceinte de cuisson par un flux d'air. Jusqu'à présent, et pour l'ensemble des cuissons réalisées, la température de consigne était de 97°C avec un niveau de vapeur réglé à 100%. Or cette vapeur, une fois dans l'enceinte de cuisson, vient se condenser sur les surfaces plus froides, notamment les parois des sachets. Contrairement à un simple bain thermique à 97°C, ce mode de transfert est très efficace : la condensation libère de l'énergie appelée chaleur latente de condensation. Celle-ci est équivalente à 2260 kJ/kg d'eau condensée. Pour exemple, la condensation d'une petite quantité de vapeur peut fournir autant d'énergie que celle nécessaire pour chauffer plusieurs fois son propre volume d'eau liquide de 20 °C à 100 °C.

La condensation de vapeur d'eau surchauffée sur les surfaces des sachets pourrait augmenter localement la température de l'eau au voisinage des parois jusqu'à atteindre, voire dépasser, 100°C. Le liquide atteindrait alors la température d'ébullition. De plus, le flux de vapeur externe étant continuellement renouvelé dans l'enceinte du four, le maintien d'un apport énergétique constant pourrait permettre à la vapeur créée de persister dans le sachet. Bien que l'ébullition ne soit pas attendue dans un milieu isotherme à 97 °C, ce transfert énergétique localisé par condensation de vapeur pourrait donc expliquer l'apparition de vapeur et donc le gonflement des sachets.

Nous atteignons ici mes limites en thermodynamique et aucun physicien n'a été consulté lors de la formulation de cette hypothèse. Il ne s'agit que d'une intuition et à ce jour, nous ne savons toujours pas quels phénomènes sont réellement à l'origine du gonflement des sachets. Tout de même, cette intuition nous a amenée à modifier le paramètre du taux de vapeur lors de la cuisson. Nous avons donc relancé des cuissages en paramétrant le four sur air sec à 97°C (aucune vapeur) et à notre grande surprise, le phénomène de gonflement diminue de manière significative. La Figure 11 suivante montre des photos de sachets cuissons en fin de processus avant et après modification de ce paramètre.

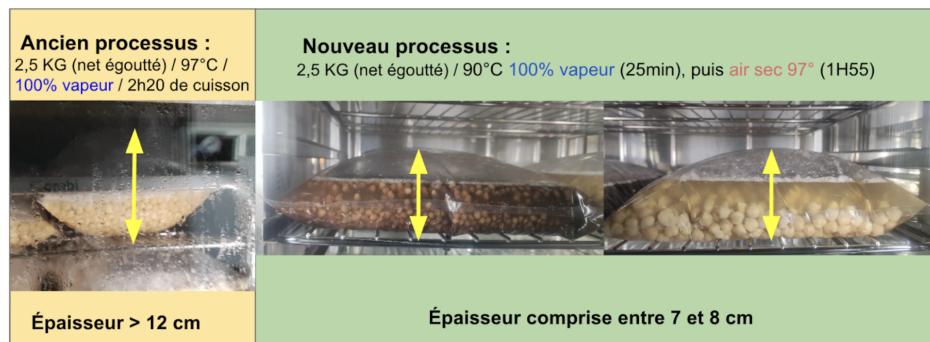


Figure 11: Effet de la suppression de la vapeur sur le phénomène de gonflement des sachets en fin de cuisson (97°C).

#### 4.1.4 Choix de la voie d'optimisation et mise en œuvre opérationnelle

Cependant, on le voit sur ces images, même avec cette diminution drastique du gonflement, le dessus de la poche atteint le niveau du rail supérieur. Lors des tests nous avons tout de même essayé de remplir tous les rails. Malheureusement les sachets entrent rapidement en contact avec ceux des étages supérieurs et on observe, grâce à une sonde à piquer, que la température à cœur stagne autour de 93°C. Cela s'explique par le fait que l'air chaud ne circule plus entre les sachets. Le phénomène de transfert de chaleur par convection d'air chaud est alors interrompu et la température au cœur des sachets cuissons n'augmente plus.

Pour remédier à cela, nous avons réduit le volume des sachets en passant de 2,5 KG net égoutté de produits finis à 2 KG net égoutté. Cette approche permet de réduire le volume global du sachet en fin de cuisson si bien que ceux-ci affleurent le niveau de l'étage supérieur. L'air chaud circule alors suffisamment et la température à cœur atteint les 97°C recherchés. Cela ne fonctionne malheureusement pas pour les pois-chiches dont les sachets ont tendance à plus gonfler que ceux de haricots rouges et de lentilles vertes.

Cela démontre bien que les processus qui engendrent le gonflement des sachets échappent largement à notre compréhension.

Quelques essais ont été nécessaires afin d'optimiser cette méthode de cuisson. En effet on l'a dit, la condensation de la vapeur sur le sachet de cuisson est une méthode de transfert de chaleur extrêmement efficace du fait de la chaleur latente de condensation importante libérée par l'eau qui change d'état. Cela est bien plus efficace que le transfert de chaleur par convection d'air chaud. Par ailleurs, sans parler de changement d'état, la capacité thermique de l'air est bien moins importante que celle de l'eau ce qui en fait un piètre gaz caloporteur. Ainsi, lorsque l'on réalise une cuisson avec de l'air sec uniquement, la température à cœur évolue bien moins vite qu'en présence de vapeur dans l'enceinte de cuisson.

Pour résoudre ce problème d'évolution lente de la température à cœur, nous réalisons la cuisson en 2 phases. Lors de la première phase nous paramétrons la cuisson à 97°C avec 100% de vapeur de l'enceinte de cuisson afin de faire monter rapidement la température à cœur. Nous poursuivons cette phase jusqu'à observer le début du phénomène de gonflement des sachets. Les premières bulles apparaissent environ après 35 minutes de cuisson alors que la température à cœur n'est qu'à 93°C. Dans une seconde phase, nous coupions la vapeur et alors la température à cœur croît lentement jusqu'à 97°C. Le phénomène de gonflement est quasiment interrompu. La Figure 12 suivante montre l'évolution de la température à cœur en fonction des différents paramétrages du four.

Cette approche nous permet de remplir les 20 niveaux du chariot cuisson contrairement à 10 avec l'ancien process. Pour les haricots rouges et les pois chiches, à raison de 4 sachets de 2 KG net égouttés par niveau, le capacitaire passe de 100 KG par fournée à 160 KG. Pour des raisons commerciales relatives à l'homogénéisation de la gamme de légumineuses sur le catalogue, il a été décidé de produire également les sachets de pois chiches en 2 KG net égoutté. Du fait de l'impossibilité de remplir les 20 niveaux du chariot malgré les améliorations apportées au processus, les capacités de production du pois chiches chutent de 100 Kg par batch à 80 Kg.

Nous avons ensuite mis à jour les différentes recettes dans le mode opératoire du conditionnement des légumineuses afin de les adapter au nouveau poids cible de 2 KG net égoutté. Par ailleurs, nous avons également enregistré les nouveaux programmes de cuisson adaptés à chaque produits dans l'automate du four. Nous avons également consignés les valeurs de ces paramètres dans le mode opératoire de cuisson qui fait partie du système qualité d'Agriviva.

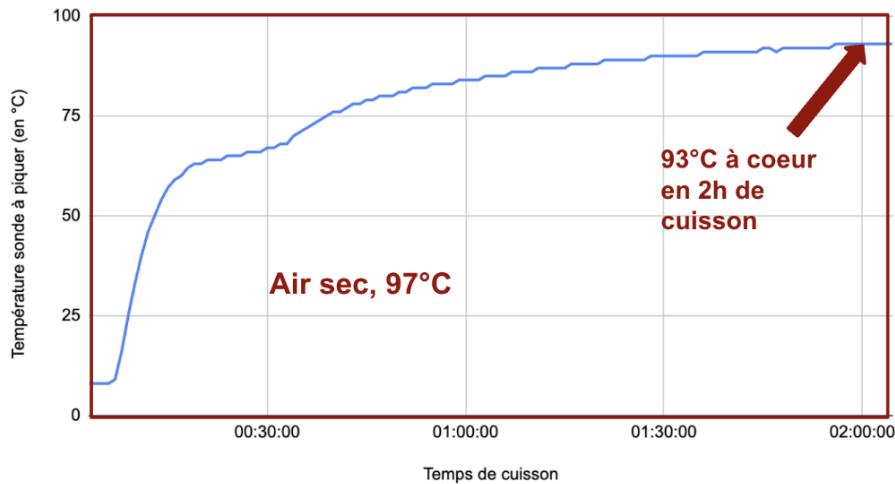
## 4.2 Méthodologie d'Élargissement de la Gamme

Maintenant que nous avons établi le nouveau capacitaire du four pour les différentes légumineuses, il nous est possible de mettre à jour la suite du processus de fabrication tout en développant la gamme.

### 4.2.1 Produits amyloacés (légumineuses, céréales)

A ce stade, nous avons déterminé les barèmes de cuisson ainsi que les recettes pour 3 légumineuses. L'objectif est de faire de même pour le haricot blanc, le petit épautre, le sorgoh ainsi que des légumes comme la pomme de terre et la carotte.

Evolution de la température à cœur d'un sachet de haricots rouges



évolution de la température à cœur d'un sachet de haricots rouges

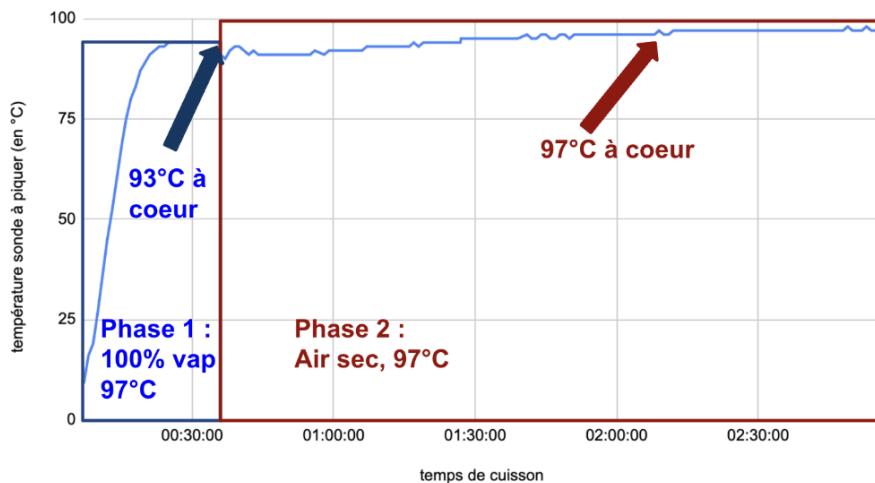


Figure 12: Évolution de la température à cœur en fonction du temps pour différentes modalités de cuisson

La méthode de détermination du processus de cuisson du haricot rouge et des céréales est similaire à celle employée pour les autres légumineuses, car il s'agit de produits amylacés qui nécessitent l'ajout d'eau pour la cuisson. Étant donné que l'on a identifié que l'on a tout intérêt à cuire à la température la plus élevée possible, il ne reste plus que deux paramètres à ajuster : le ratio d'eau de cuisson et la durée de cuisson.

Le protocole expérimental est constitué de deux expériences. Dans un premier temps nous cherchons à déterminer la durée optimale de cuisson en considérant le taux de gélatinisation comme indicateur principal de réussite de celle-ci. Comme une quantité d'eau de cuisson trop faible peut constituer un facteur limitant de la gélatinisation, nous réalisons cette expérience en excès d'eau (i.e. un ratio d'eau supérieur à 4). Nous fournissons plusieurs sachets d'un même produit en même temps à 97°C et nous les retirons à intervalle de temps régulier. A leur sortie, ils sont refroidis et nous relevons le poids net égoutté. Nous obtenons ainsi la courbe du poids net égoutté en fonction du temps de cuisson. La lecture de cette courbe nous renseigne sur l'absorption en eau maximal du produit à 97°C ainsi que la durée la plus faible à partir de laquelle on atteint cette asymptote. Nous retenons ainsi cette durée comme étant le temps de cuisson optimal.

Dans un second temps, nous cherchons à identifier le ratio d'eau de cuisson pour chaque produit. L'objectif est d'optimiser la quantité d'eau de manière à ce qu'il y ait le moins d'eau résiduelle en fin de cuisson tout en veillant à ce que la gélatinisation ne soit pas négativement affectée. Pour ce faire nous préparons des sachets cuissants avec des ratios d'eau variables que nous enfournons à 97°C avec la durée qui a précédemment été déterminée. En fin de cuisson nous pesons les masses nettes égouttées. Nous retenons le ratio d'eau le plus petit à partir duquel le gonflement des grains n'est pas encore négativement impacté.

Pour identifier ces paramètres nous avons supposé lors de la première expérience que le facteur de réussite de la cuisson est le taux de gélatinisation que nous estimons grâce au gain en masse du grain lors de la cuisson. Or on le sait, cet indicateur ne rend pas forcément compte de la texture finale de l'aliment. C'est pourquoi nous réalisons des tests organoleptiques succincts pour s'assurer que celle-ci est satisfaisante. Cependant, l'appréciation ultime et validante du procédé est celle de Fabrice Freu et de ses équipes. Nous avons la chance d'avoir dans l'équipe Madame Fourar qui entretient une relation étroite avec les équipes de la cuisine centrale de Montpellier. Cela nous offre la possibilité de leur faire parvenir des échantillons afin qu'ils soient dégustés et appréciés par les chefs. Cela nous permet de travailler de manière itérative et au besoin, de réaliser des ajustements sur les recettes ou la cuisson.

#### **4.2.2 Légumes précuits**

Pour ce qui est de la cuisson des légumes, la méthode est beaucoup plus simple car la recette se limite uniquement au légume et le seul critère de réussite de la cuisson est l'obtention de la texture souhaitée. Les paramètres à identifier sont alors la quantité de légume par sachet ainsi que la durée de cuisson. Les essais sur la carotte ronde ont montré que l'épaisseur du sachet n'a que peu d'impact sur l'homogénéité de la cuisson pour des temps de cuisson supérieurs à 45 min. Ainsi la quantité de produit par sachets cuisson est déterminée par le maximum que l'on puisse y mettre sans que cela ne complique l'opération de mise sous vide et de scellage. Enfin la texture s'évalue par écrasement au doigt au travers de la poche.

Malheureusement, nous n'avons pas eu le temps de rentrer en contact avec les potentiels clients de ces légumes [5ème gamme](#). De fait, nous n'avons pas pu initier le processus itératif d'amélioration du produit. Cela nous aurait sûrement poussé à revoir les formats du conditionnement, les temps de cuisson afin d'adapter la texture finale ou encore le choix des variétés de légumes.

#### **4.3 Adaptation et optimisation du processus de refroidissement**

Un second aspect opérationnel à améliorer est la méthode de pré-refroidissement car l'aspersion manuelle du chariot n'apparaît pas comme satisfaisante. En effet, l'aspersion est une technique qui présente trop de variabilité et il est difficile de standardiser cette étape. En plus, cela engendre une consommation significative d'eau. Finalement, l'introduction de sachets trempés dans la cellule accélère le phénomène de prise en glace des évaporateurs ce qui limite les capacités de refroidissement de la cellule.

Comme énoncé en introduction de cette partie, le processus de refroidissement comprend plusieurs aspects à maîtriser. Le premier rôle du refroidissement est de constituer une barrière contre le développement microbien. Le Guide des Bonne Pratiques d'Hygiènes (GBPH) pour les Entreprises fabriquant de produits traiteurs frais et réfrigérés (Syndicat national des fabricants de plats préparés (SYNAFAP) 2012) indique que cette opération doit être réalisée le plus rapidement afin de rester le minimum de temps possible entre +60°C et +10°C. En effet, cette plage de température est favorable au développement microbien. Le guide suggère que le produit ne doit pas rester dans cette plage plus de 2H, c'est ce que nous nous fixons comme objectif.

Jusqu'à présent, directement à la sortie du four, nous réalisons un pré-refroidissement des chariots par aspersion d'eau froide. Le but est de faire chuter la température du produit de 97°C à environ 70°C. Sans ce pré-refroidissement, il nous était impossible de refroidir à 10°C les sachets à cœur en moins de deux heures tout en évitant une prise en glace des bords. Cependant pour les raisons précédemment énoncées, cette méthode n'apparaît pas comme satisfaisante.

Notre formation avec monsieur Maillard nous a permis de comprendre que nous avions tout intérêt à prolonger cette période de pré-refroidissement. En effet, au-dessus de 60°C, nous gagnons de la [valeur pasteurisatrice : Indicateur mesurant l'efficacité d'un traitement thermique \(pasteurisation\) à détruire les micro-organismes pathogènes dans un aliment, en fonction du temps et de la température appliqués \(VP\)](#) ce qui permet de réduire la charge microbienne et in fine, de prolonger la durée de vie microbiologique de nos produits. Ce changement de paradigme nous a amené à réfléchir à d'autres méthodes de pré-refroidissement.

La plus simple est de laisser les chariots refroidir à l'air libre, cependant cette approche présente un risque car il est difficile de garantir que la durée de cette étape soit respectée. En effet, les opérateurs sont occupés à d'autres activités et le risque d'oubli d'un chariot est important. Par ailleurs, la température des zones de production fluctue et il est difficile de garantir une cinétique constante de refroidissement des chariots. Ainsi nous avons décidé de créer un programme directement dans la cellule de refroidissement afin de contrôler au mieux cette étape. Lors de cette phase, la cellule souffle de l'air à 20°C pendant 30 minutes. Cette durée a été déterminée de manière à ce qu'au terme de celle-ci, la température de surface la plus froide mesurée sur l'ensemble des sachets soit systématiquement au-dessus de 60°C.

Une fois le pré-refroidissement réalisé, nous pouvons commencer le cycle de refroidissement de deux heures. Des discussions avec Acfri, le constructeur de la cellule, nous ont permis d'établir une méthodologie pour créer les programmes adaptés aux différents produits. Ceux-ci se décomposent en deux phases. La phase initiale doit permettre une extraction maximale de chaleur. Tant que l'aliment est encore chaud, il supporte un refroidissement intense. On règle donc la température de l'air soufflée à -25°C pour extraire un maximum de chaleur rapidement.

La deuxième phase est une phase de stabilisation afin d'éviter la prise en glace du produit. En effet, une fois les bords des sachets fortement refroidis, il faut éviter qu'ils ne gèlent. On augmente la consigne de température de soufflage en réglant la température d'air soufflée à -5°C. Cela permet un équilibre entre le flux de chaleur de l'intérieur du sachet vers l'extérieur et le flux du bord du sachet vers l'air ambiant, assurant un refroidissement progressif sans congélation des bords.

Ainsi le seul paramètre à ajuster pour les différents produits est le pourcentage de temps (sur le cycle de 2H) pour passer de la phase initiale à la phase finale. Pour déterminer ce pourcentage réalisons des expériences ou nous introduisons les produits dans la cellule en quantité similaire à un lot de production. Nous réglons initialement ce paramètre à 100% de temps en phase 1. Nous vérifions toutes les 10 minutes si les sachets prennent en glace. Dès qu'un sachet commence à geler, nous ajustons le programme en basculant dans la seconde phase 10 minutes avant l'apparition de la prise en glace. En fin de cycle nous mesurons la température à cœur de différents sachets à l'aide d'un thermomètre calibré du contrôle qualité afin de vérifier que nous sommes bien en dessous des 10°C réglementaire.

Grâce à cette méthodologie, nous avons pu établir les paramètres de refroidissement pour différents produits et différentes charges. Ces programmes sont enregistrés dans l'automate de la cellule. Par ailleurs, les valeurs des différents paramètres sont consignées dans le mode opératoire associé à l'étape de refroidissement. Ils sont ainsi consultables par les opérateurs et enregistrés dans le système qualité de l'entreprise.

#### **4.4 Mise à jour des mesures de maîtrise des dangers et validation de la date limite de consommation**

Comme chacun sait, le Plan de Maîtrise Sanitaire est le système global documenté qui garantit la sécurité sanitaire des produits. Celui-ci intègre les Bonnes Pratiques d'Hygiènes, une analyse [Hazard Analysis Critical Control Point : Méthode de gestion de la sécurité sanitaire des aliments basée sur l'analyse des dangers et la maîtrise des points critiques du processus de production \(HACCP\)](#) spécifique à chaque produit, et une gestion structurée des processus et des différents éléments transversaux de production. Dans notre cas, le [PMS](#) avait déjà été modifié pour intégrer la gamme de produits végétaux pasteurisés. L'analyse des dangers est réalisée par Solène Rocques sur la base du diagramme de fabrication.

Pour les légumineuses, les modifications apportées au processus concernent uniquement les barèmes de températures et le poids des unités de ventes. De fait, les dangers identifiés lors de l'analyse [HACCP](#) initiale sont quasiment identiques pour ce nouveau processus. Cette partie se concentrera donc exclusivement sur les éléments relatifs à la maîtrise des dangers liés aux opérations de cuisson et de refroidissement des

légumineuses. De plus, nous cherchons à obtenir une **DLC** plus longue. Nous devons donc valider et vérifier l'efficacité de ces mesures de maîtrise à la lumière de cette nouvelle exigence.

A l'issue des essais, avec Madame Ferry, nous avons présenté les suggestions de modifications des barèmes thermiques à l'équipe chargée de la sécurité des aliments. Celle-ci est composée de Madame Vidal (directrice du site et responsable morale de l'entreprise), Madame Rocques (assistante qualité) et Madame Martinet (Responsable de production) pour validation. En production, les opérations de cuisson et de refroidissement sont assurées par deux opératrices qualifiées et intégrées à cette équipe : Ouidad, responsable du conditionnement, et son assistante.

J'ai eu l'opportunité de collaborer avec Ouidad tout au long du développement du nouveau procédé, notamment pour la confection d'échantillons. Cela a permis de discuter des enjeux qualités en lien avec les ajustements des barèmes thermiques. Par ailleurs, avec Madame Ferry et Madame Roqcues, nous avons animé des réunions sécurité afin de présenter à Ouidad et son équipe les dangers associés à ce processus. Ces sessions furent également l'occasion de vérifier que les mesures de maîtrise envisagées étaient réalisables en production. Ainsi, l'adoption officielle de ces nouveaux barèmes s'est faite naturellement, Ouidad ayant parfaitement intégré les futures évolutions du processus.

#### **4.4.1 Mise à jour des mesures de maîtrise.**

Le danger principal à l'étape de pasteurisation est la destruction incomplète des cellules végétatives de bactéries pathogènes (Syndicat national des fabricants de plats préparés (SYNAFAP) 2012). Dans la mesure où il n'est pas possible de percer systématiquement les sachets afin de mesurer en continu la température à cœur, aucune valeur critique pour un couple temps-température ne peut être fixée. Toutefois, si les opérations en amont sont bien réalisées, le contenu et la masse des sachets ne varie que très peu. Ainsi, le respect des programmes de cuisson validés pour chaque produit constitue le **programme prérequis opérationnel (PrPO)** pour cette étape. Les nouveaux barèmes et les valeurs associées ont été consignés dans l'instruction de travail de la pasteurisation. De plus, des affiches mentionnant les programmes à appliquer sont installées à proximité du four et facilement accessibles pour les opérateurs en charge des opérations.

La surveillance de ce **programme prérequis opérationnel (PrPO)** est assurée par l'analyse des données issues du four connecté (comprenant le programme utilisé et les courbes de température dans l'enceinte de cuisson) et la vérification de la texture par écrasement au doigt, afin de confirmer la bonne cuisson du produit. En cas de non-respect des conditions définies, la mesure corrective appliquée est la mise au rebut du lot concerné. Les fiches suiveuses de fabrication, qui comprennent également les fiches de non-conformité, permettent l'enregistrement de l'heure de début de cuisson ainsi que le nom de l'opérateur en charge. En parallèle, les données **HACCP** enregistrées automatiquement par le four sont sauvegardées dans l'application de celui-ci.

Le danger à maîtriser lors du refroidissement est la prolifération de germes pathogènes sporulés dans le cas où le produit ne descendrait pas assez rapidement à une température sûre. Comme pour la pasteurisation, l'impossibilité de mesurer la température à cœur en fin de refroidissement empêche de fixer une valeur critique de température à cœur en fin de cycle. Le **programme prérequis opérationnel (PrPO)** repose donc

sur l'utilisation systématique de programmes de refroidissement et de pré-refroidissement validés pour chaque produit. Cela garantit que l'on atteint 10°C à cœur en moins de 3H après la sortie du four. Ces programmes sont consignés dans l'instruction de travail spécifique au refroidissement. Des affiches sont également affichées à proximité de la cellule.

Pour surveiller ce **programme prérequis opérationnel (PrPO)**, l'opérateur contrôle que le bon programme est sélectionné et mesure la durée totale de refroidissement. Enfin il relève la température de surface des sachets à la sortie du chariot de la cellule afin de s'assurer que la cellule a bien fonctionné. Les enregistrements sont consignés dans les fiches suiveuses de fabrication (l'heure du lancement et le numéro du programme ainsi que la température à la sortie de cellule). En cas de dérive, le lot concerné est mis au rebut. On prévoit aussi une augmentation de la fréquence des cycles de dégivrage ou une maintenance de la cellule.

#### **4.4.2 Validation des nouvelles mesures de maîtrise et de la **DLC**.**

Les mesures de maîtrise mises en place doivent être validées préalablement à leur mise en œuvre. Cette validation a pour objet de démontrer que la mesure qui est mise en place permet d'atteindre les exigences qui ont été définies lors de l'analyse des dangers. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le calcul des **VP**, des publications (Syndicat national des fabricants de plats préparés (SYNAFAP) 2012) (Hyytiä-Trees et al. 2000) ainsi que des essais et des analyses. Notre objectif est de valider une **DLC** de 8 semaines afin de faciliter la gestion de la production en la planifiant lors des périodes creuses afin de lisser les pics d'activités.

Nous l'avons déjà évoqué, la pasteurisation doit permettre l'élimination de toutes les formes végétatives grâce au traitement thermique. Dans un premier temps, nous avons recalculé la **VP** afin d'évaluer l'intensité du traitement thermique et d'attester de la destruction des formes végétatives. Pour ce faire, nous nous référons à l'article 18 de l'arrêté du 15 juillet 1991 relatif au guide de bonnes pratiques hygiéniques des plats préparés réfrigérés (Syndicat national des fabricants de plats préparés - Synafap) (Synafap 1991). La **VP** doit être mesurée au point le plus froid du produit, et fondée sur la résistance du germe de référence pour la pasteurisation qui est *Streptococcus faecalis*. *Streptococcus faecalis* à une forme végétative parmi les plus thermorésistantes est souvent prise pour référence ((D<sub>70</sub> = 2,95 min et z = 10°C) .

Le choix du nombre de réductions décimales à obtenir lors d'une pasteurisation dépend de facteurs difficiles à évaluer et à chiffrer (contamination initiale, micro-organismes cibles, caractéristiques physico-chimiques de l'aliment, **DLC** attendue). En général, il est recommandé de viser 5 à 7 réductions décimales. Les **VP** sont calculées à partir des températures à cœur mesurées lors des cycles de cuisson grâce à la sonde à piquer 3 points intégrée au four. Ces données de température permettent d'obtenir les VP partielles à la minute, définies par la relation suivante en fonction du temps.

$$VP_{partielle}(t) = 10^{\frac{T(t)-T_{ref}}{z}}$$

Pour un pas de temps discret d'une minute, on définit la contribution partielle au pas k.

$$\text{VP partielle}, k = 10^{\frac{T_k - T_{\text{ref}}}{Z}}$$

La **VP** totale associée au traitement thermique est l'intégrale des contributions partielles sur la durée du cycle.

$$\text{VP} = \int_{t_0}^{t_f} 10^{\frac{T(t) - T_{\text{ref}}}{Z}}, dt$$

En pratique, en utilisant la méthode de sommation des rectangles d'une largeur  $\Delta t = 1\text{min}$ , on obtient l'approximation numérique suivante.

$$\text{VP} \approx \sum_{k=1}^n 10^{\frac{T_k - T_{\text{ref}}}{Z}}, \Delta t$$

La fig-vp suivante présente la courbe de température à cœur d'un sachet de pois-chiche. Cela nous permet de calculer une **VP** de 40 900 minutes en 2h30 de cuisson. Sans prendre en compte la phase de pré-refroidissement qui contribue également au gain en *VP*, nous obtenons environ 13 864 réductions décimales pour *Enterococcus faecalis*. Ce barème garantit, à priori, la destruction totale des formes végétatives.

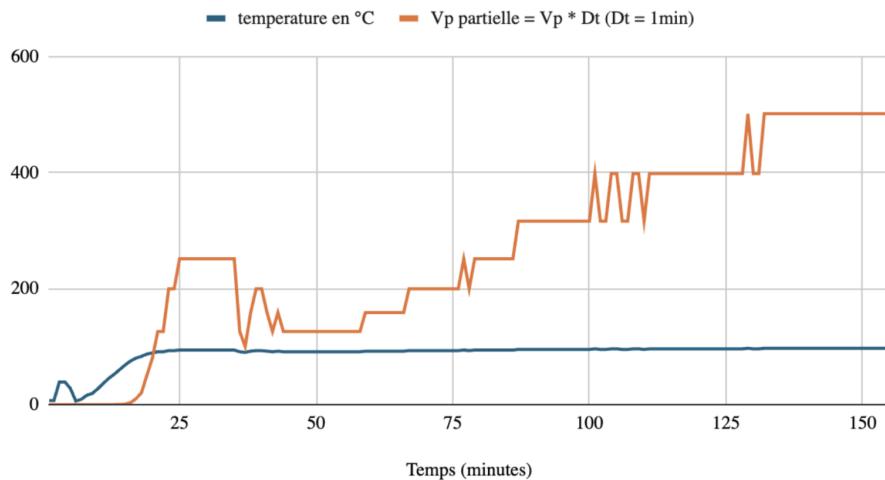


Figure 13: Évolution conjointe de la température à cœur et des valeurs pasteurisatrices partielles ( $\text{VP}^\circ$ ) au cours du temps de cuisson pour un sachet de 2Kg de Haricots Rouges. Source : mesures internes Agriviva

Un second risque identifié pour les produits végétaux pasteurisés, conditionnés sous vide et à longue durée de conservation ( **DLC** ), est la germination de spores pathogènes résiduelles. Les plus couramment impliquées sont celles de *Bacillus cereus* et de *Clostridium botulinum*. *Bacillus cereus* est un microorganisme aérobiose ou anaérobiose facultatif, sporulé. Notre traitement thermique est efficace pour éliminer les formes végétatives, mais les spores, très résistants, peuvent survivre. Toutefois, un refroidissement rapide et un stockage à froid permettent de limiter leur développement, ces spores nécessitant généralement une température minimale de 4°C pour croître (International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) 1996).

Concernant Clostridium botulinum, bactérie anaérobiose strict, on distingue deux grands groupes d'intérêt :

Les souches protéolytiques mésophiles (types A et certaines B), dont les spores présentent une grande résistance thermique. Comme pour B. cereus, leur croissance est inhibée par une température de conservation inférieure à 10–12°C (International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) 1996). Les souches non protéolytiques psychrotropes (type E notamment) peuvent quant à elles se développer à des températures bien plus basses, jusqu'à 3,3 °C. Néanmoins, leurs spores sont moins résistants à la chaleur, et un traitement thermique de 90 °C pendant 10 minutes permet déjà une réduction de l'ordre de 6 log. Notre protocole thermique, à 97 °C pendant plus de 2 heures, permet donc de maîtriser ce risque avec un marge de sécurité significative.

Cette analyse soutient la possibilité d'une **DLC** de 8 semaines pour notre produit. Afin de la valider, nous avons notamment pris appui sur l'étude de (Nyati 2000) publiée dans Food Control, qui montre qu'un traitement à 90 °C/10 min, suivi d'un stockage à froid, assure la stabilité microbiologique de boulettes de poulet sous vide pendant 70 jours.

En complément des sources scientifiques, nous avons mené des tests de vieillissement en interne et des analyses microbiologiques en laboratoire. Les échantillons ont été produits dans des conditions industrielles, puis stockés à froid pendant les  $\frac{2}{3}$  de la **DLC**. Ensuite, une rupture de la chaîne du froid est simulée (mise à température ambiante), suivie d'un stockage à 8 °C jusqu'à la fin de la **DLC**. Comme nos produits sont destinés à des professionnels, la durée de vie microbiologique des produits correspond à la **DLC**, cela nous dédouane de prendre une marge de sécurité. À l'issue, des tests organoleptiques sont réalisés ou bien les échantillons sont emmenés au laboratoire.

Pour les analyses microbiologiques, nous avons fait appel au laboratoire accrédité AQMC, qui a défini un plan d'échantillonnage pour valider notre **DLC**. Celui-ci comprend plusieurs séries de tests de 5 unités ventes consommateur à différents points de la **DLC**. Nous leur avons également transmis le diagramme de fabrication ainsi que le détail du calcul des VP afin qu'ils définissent les germes à rechercher. A ce jour, tous les tests sont revenus négatifs, nous avons donc pu valider la **DLC** de 8 semaines pour 4 produits. A savoir les pois chiches, les haricots rouges et blancs ainsi que les lentilles vertes !

## 5 Bilan

### 5.1 Les principaux apports pour la structure d'accueil

Le principal apport opérationnel de la mission a été la résolution du problème de gonflement des sachets qui causait des pertes et limitait le capacitaire du four. Le processus initial ne permettait de remplir que 10 des 20 niveaux du chariot de cuisson, soit 100 kg par lot. Grâce à la mise au point du nouveau processus de cuisson, le capacitaire a été optimisé. Pour les lentilles vertes et les haricots rouges, il est désormais possible de remplir les 20 niveaux, augmentant la capacité à 160 kg par lot. Bien que le capacitaire des pois chiches ait été ajusté à 80 kg par lot pour des raisons de conditionnement, l'augmentation globale

pour les autres produits a été de 60% par lot, soit un accroissement du capacitaire journalier total de 300 à 480 kg/jour.

Au-delà des gains quantitatifs, l'optimisation a amélioré la maîtrise opérationnelle de l'atelier. Le processus est devenu plus fiable, avec la réduction quasi totale du risque de délamination des sachets. Cette amélioration a éliminé les pertes nettes de produits et a renforcé la sécurité sanitaire en supprimant les risques de contamination par des sachets fuités.

L'augmentation de la capacité et l'allongement de la **DLC** de 21 jours à 8 semaines ont permis de découpler la production de la demande immédiate. Agriviva peut désormais planifier sa production durant les périodes creuses, notamment les vacances scolaires.

Sur le plan économique, les légumineuses pasteurisées ont déjà atteint un **CA** de 74 197,67 € pour un volume de 16 750,50 kg sur les six premiers mois. Sur une projection annuelle, cela représente un **CA** de 148 k€ et un volume de 33,5 tonnes, ce qui contribuerait à hauteur de 6-7 % du **CA** global d'Agriviva. Les modifications récentes du processus de production n'ont pas eu d'impact négatif significatif sur la marge commerciale comme le montre la Figure 14 suivante. En effet, les économies d'énergie compensent les coûts supplémentaires liés aux emballages.

produit	taille de batch (KG)	Emballages	Main d'œuvre	Energie	Matière première	Total Charges variables	charges fixes	Dotations amortissements (hypothèse de 20T/An)	Total €/kg de produit fini	prix de vente (variable en fonction du client)	marge commerciale (%)
pois chiches	100	0,15	0,35	0,16	1,14	0,66	1,33	0,43	3,55	4,30	0,17
	80	0,19	0,37	0,19	1,14	0,75	1,33	0,43	3,65	4,30	0,15
lentilles vertes	100	0,15	0,32	0,16	1,32	0,62	1,33	0,43	3,70	4,50	0,18
	160	0,19	0,30	0,10	1,32	0,58848625	1,33	0,43	3,67	4,50	0,19
Haricots rouges	100	0,15	0,32	0,16	1,96	0,70	1,33	0,43	4,42	4,88	0,09
	160	0,19	0,30	0,10	1,96	0,63825	1,33	0,43	4,35	4,88	0,11

Figure 14: Analyse des coûts et marge commerciale par produit et taille de batch (hypothèse : 20 tonnes/an). Source interne

La marge dégagée par la vente des produits **5ème gamme** est largement supérieure à celle réalisée sur la vente de la **4ème gamme**. Cet atelier contribue significativement à la pérennité économique de l'entreprise malgré la faible part de **CA** que représente la vente des légumineuses.

Par ailleurs, le projet de cuisson pasteurisatrice ouvre des perspectives de développement importants pour Agriviva. La méthodologie expérimentale établie est facilement reproductible pour d'autres produits amyloacés comme le petit épeautre ou le sorgho, ainsi que pour des légumes précuits comme les carottes et les pommes de terre. Cette capacité à étendre la gamme permettra à Agriviva de conquérir de nouveaux marchés, notamment auprès de la restauration commerciale privée, et de libérer du potentiel de croissance en dehors du marché des légumineuses.

Enfin, l'ensemble des procédures a été formalisé. Les modes opératoires, incluant les nouvelles recettes et les programmes de cuisson et de refroidissement, ont été mis à jour dans le système qualité de l'entreprise (**PMS**). Cette documentation constitue un « kit de transfert » qui rend ce modèle facilement duplicable sur les autres sites du réseau. Sur le plan stratégique, le projet valide l'approche de la plateforme d'appui Cuisinons nos Paysages .

## 5.2 Discussion

Cependant, l'atelier se trouve confronté à un risque réglementaire latent : la loi EGAlim interdit l'utilisation des contenants en plastique utilisés pour la cuisson, le réchauffage et le service en restauration scolaire, universitaire et accueillant des enfants de moins de six ans depuis 1er janvier 2025 (article 28 de la loi EGAlim). Si cette interdiction s'étend aux fournisseurs, cela pourrait nécessiter de revoir l'intégralité du processus mis en place chez Agriviva.

Sur le plan opérationnel, le rinçage des grains après trempage est physiquement éprouvant et expose les opérateurs à des Troubles Musculo-Squelettiques. Aussi, le conditionnement est la partie la plus chronophage car il faut mettre sous vide un produit en partie liquide qui entre donc en ébullition. Tout cela n'est pas sans conséquence sur la charge de travail des équipes. Même si dans l'idéal la production des légumineuses est réalisée lors des périodes creuses, ce n'est pas toujours possible. Ainsi ces opérations augmentent le volume de travail des équipes déjà mises sous pression par le développement rapide d'Agriviva.

Enfin, même si le choix du processus de pasteurisation est largement justifié par la simplicité du processus et des faibles investissements en actifs tangibles nécessaires au lancement d'un tel atelier, ce processus présente des points faibles par rapport à la stérilisation. D'une part, les temps de cuisson restent largement supérieurs à ceux des méthodes classiques de pasteurisation, sans investissements en matériels, la productivité de l'atelier est limitée à environ 300–400 kg/jour. D'autre part, les produits doivent être stockés à froid ce qui peut générer de l'encombrement dans les chambres froides.

## 5.3 Principaux acquis d'expérience

Sur le plan personnel, le plus gros défis fut de concilier des visions divergentes entre la nécessité de rentabilité immédiate d'Agriviva et l'approche de R&D à long terme de CnP. Il fallait faire attention à concevoir une solution qui répondait aux deux exigences : à savoir livrer un processus immédiatement rentable tout en approfondissant l'approche expérimentale.

Un autre acquis fondamental de cette expérience fut de développer des compétences en communication. Ce stage fut l'occasion d'échanger avec de nombreux acteurs, notamment avec les chercheurs du CIRAD, les équipes du laboratoire d'analyses, le responsable de la cuisine centrale ou encore les différents fournisseurs d'équipements. Cette position pivot m'a fait prendre conscience de l'importance de préparer mes échanges à l'avance. Cela m'a réellement permis de gagner en efficacité lors des rencontres tout en gardant confiance en mon point de vue même lorsque j'étais mis en difficulté.

Ce fut également l'occasion de me rendre compte d'une de mes faiblesses qui concerne un autre aspect de la communication. Il s'agit du partage transparent et rapide de mes difficultés. Trop souvent j'ai gardé les points bloquants pour moi alors qu'un rapide échange avec un collègue aurait résolu rapidement la situation. Aussi, dans ce contexte particulier avec des collègues à Montpellier débordés et des référents projet à Paris, j'aurais dû partager plus souvent des mails synthétiques concernant mon avancement, les hypothèses que je souhaitais tester ainsi que les décisions que je prenais. Cela aurait facilité le partage des informations au sein de toute l'équipe.

Par ailleurs, être au contact de Jeanne Ferry m'a grandement fait progresser sur la compétence validation. Jeanne m'a vraiment démontré l'importance de la rigueur nécessaire à chaque étape de l'avancement d'un projet, depuis le diagnostic initial de la situation jusqu'à la mise en place des essais et la rédaction des comptes rendus. Cette rigueur fût indispensable pour garantir la validation du processus, du mode opératoire, de la [DLC](#) ou encore des résultats des différents tests. En effet des comptes rendus d'essais clairs et complets évitent de rouvrir des discussions plusieurs semaines après leur réalisation, ou encore un mode opératoire bien rédigé constitue un outil de référence qui facilite la validation et l'appropriation d'un processus par les équipes de production. Un grand merci à Jeanne pour cela !

## 6 Conclusion

En apportant une solution au problème de gonflement des sachets de cuisson et en allongeant la [DLC](#) à huit semaines, le projet a permis de fiabiliser l'atelier cuisson et de sécuriser son rôle dans la stratégie d'Agriviva. Ces améliorations ont directement renforcé la flexibilité et les rendements de la production, répondant ainsi aux contraintes opérationnelles générées par la croissance rapide de l'entreprise.

Sur le plan économique, le fait d'intégrer la pasteurisation de façon durable aide Agriviva à améliorer sa rentabilité et à moins dépendre des faibles marges de la [4ème gamme](#). Le développement d'une nouvelle offre de produits pasteurisés soutient également la croissance de l'entreprise qui part à la conquête de comptes clés chez de nouveaux clients tout en montrant sa capacité à s'adapter et à évoluer.

Au-delà des résultats pour Agriviva, la mission a montré l'intérêt du modèle d'appui de Cuisinons nos Paysages. Elle a prouvé qu'une expertise extérieure pouvait aider à transformer un atelier local en un exemple reproductible dans d'autres légumeries de territoires.

Enfin, ce stage fût une réelle expérience d'apprentissage. J'y ai travaillé sur des sujets variés, de la [R&D](#) à la gestion de projet, et j'ai souvent joué un rôle de lien entre les équipes, les responsables et des partenaires comme le [CIRAD](#). Cela m'a appris à quel point la rigueur et la communication sont essentielles dans le métier d'ingénieur.



## Bibliographie

- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). 2020. « Table de composition nutritionnelle des aliments Cional 2020 ». 2020. <https://cional.anses.fr/>.
- C. Lefevre, L. Akissoe, P. Bohuon. 2021. « Modeling the gelatinization-melting transition of the starch-water system in pulses (lentil, bean and chickpea) ». Autre publication scientifique. CIRAD. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117983>.
- Charrière, Séverine, Christel de la Broise, et Nicolas Crinquant. 2021. « Transition alimentaire, outils de transformation et plateformes logistiques: Modèles économiques et de développement ». Guide Territoires Conseils E290. Édité par Julia Labarthe et Sylvain Baudet. Banque des Territoires. <https://www.banquedesterritoires.fr/transition-alimentaire-outils-de-transformation-et-plateformes-logistiques>.
- Conseil national de la restauration collective. 2022. « Les mesures de la loi EGAlim, complétée par la loi Climat et résilience concernant la restauration collective ». Guide. Conseil national de la restauration collective. [https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/septembre2022\\_brochure\\_restaucoll.pdf](https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/septembre2022_brochure_restaucoll.pdf).
- Erica Siguemoto, Jean-Michel Meot, Christian Mestres. 2024. « Compartmental water uptake model of pulses during hydrothermal processing: Example of application to cooking of navy beans ». Autre publication scientifique. CIRAD. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111723>.
- Hyytiä-Trees, Eija, Eija Skyttä, Mirja Mokkila, Arvo Kinnunen, Miia Lindström, Liisa Lähteenmäki, Raija Ahvenainen, et Hannu Korkeala. 2000. « Safety Evaluation of Sous Vide-Processed Products with Respect to Nonproteolytic Clostridium botulinum by Use of Challenge Studies and Predictive Microbiological Models ». *Applied and Environmental Microbiology* 66 (1): 223-29. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.1.223-229.2000>.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). 1996. *Microorganisms in Foods 5: Characteristics of Microbial Pathogens*. London: Blackie Academic & Professional. <https://link.springer.com/book/9780412473500>.
- Khrisanapant, Prit, Sze Ying Leong, Biniam Kebede, et Indrawati Oey. 2021. « Effects of Hydrothermal Processing Duration on the Texture, Starch and Protein In Vitro Digestibility of Cowpeas, Chickpeas and Kidney Beans ». *Foods* 10 (6): 1415. <https://doi.org/10.3390/foods10061415>.
- Nyati, Hilda. 2000. « An Evaluation of the Effect of Storage and Processing Temperatures on the Microbiological Status of Sous-Vide Extended Shelf-Life Products ». *Food Control* 11 (6): 471-76. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(00\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(00)00013-X).
- Pälchen, K., B. Van den Wouwer, D. Duijnsens, M. E. Hendrickx, A. Van Loey, et T. Grauwet. 2022. « Utilizing Hydrothermal Processing to Align Structure and In Vitro Digestion Kinetics between Three Different Pulse Types ». *Foods* 11 (2): 206. <https://doi.org/10.3390/foods11020206>.
- Pôle Économie et Prospective des Chambres d'agriculture d'Occitanie. 2021. « L'économie agricole en Occitanie : note de synthèse 2021 ». Note de synthèse. Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie. <https://occitanie.chambres-agriculture.fr/sinformer/ressources-documentation/toutes-les-publications/publication/leconomie-agricole-en-occitanie-note-de-synthese-2021>.
- Synafap. 1991. « Arrêté du 15 juillet 1991 relatif au guide de bonnes pratiques hygiéniques des plats préparés réfrigérés élaboré par le Syndicat national des fabricants de plats préparés (Synafap) ». Légifrance. juillet 1991. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGISCTA000006152753>.

Syndicat national des fabricants de plats préparés (SYNAFAP). 2012. *Guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP des entreprises fabricantes de produits traiteurs frais et réfrigérés*. Guides de bonnes pratiques d'hygiène 5951. Paris: Direction de l'information légale et administrative (Les éditions des Journaux officiaux). <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb426425683>.

Wainaina, Irene, Elizabeth Wafula, Daniel Sila, Clare Kyomugasho, Tara Grauwet, Ann Van Loey, et Marc Hendrickx. 2021. « Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*): Factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality ». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20 (4): 3690-3718. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12770>.

Wang, N., J. F. Panozzo, J. Wood, L. J. Malcolmson, G. C. Arganosa, B.-K. Baik, D. Driedger, et J. Han. 2012. « AACCI Approved Methods Technical Committee Report: Collaborative Study on a Method for Determining Firmness of Cooked Pulses (AACCI Method 56-36.01) ». *Cereal Foods World* 57 (5): 230-34. <https://doi.org/10.1094/CFW-57-5-0230>.

Wood, Jennifer A. 2017. « Evaluation of Cooking Time in Pulses: A Review ». *Cereal Chemistry* 94 (1): 32-48. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-16-0127-FI>.