

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLEB Blida 1
Institut des sciences et des techniques appliquées



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

En Technologie Alimentaire

Présenté par :

Mlle. BENSEGHIR NASSIBA

Dynamique des démarches d'amélioration continue : Utilisation des outils
de qualité pour l'analyse et l'amélioration continue.

Cas semoulerie AMOUR MOUZAIA

Devant le Jury composé de :

M^r.BOUZAR Ahmed Chiheb

MCB, ISTA

Président

M^r. MOUFFOK Nassim

MCB, ISTA

Examineur

M^{me}. AZOUAOU Nassima

MCA, ISTA

Encadreur

Année universitaire : 2024/2025

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLEB Blida 1
Institut des sciences et des techniques appliquées



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

En Technologie Alimentaire

Présenté par :

Mlle. BENSEGHIR NASSIBA

Dynamique des démarches d'amélioration continue : Utilisation des outils
de qualité pour l'analyse et l'amélioration continue.
Cas semoulerie AMOUR MOUZAIA

Devant le Jury composé de :

M^r.BOUZAR Ahmed Chiheb

MCB, ISTA

Président

M^r. MOUFFOK Nassim

MCB, ISTA

Examineur

M^{me}. AZOUAOU Nassima

MCA, ISTA

Encadreur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Allah pour m'avoir accordé la force, la santé, et la patience nécessaire pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice **Dr. AZOUAOU.N**, pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, sa disponibilité, sa rigueur et sa patience tout au long de la préparation de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et partagé leur expertise.

Je remercie également **Dr. Bouzar.A** pour son aide précieuse dans la recherche et l'obtention de mon lieu de stage.

Je remercie chaleureusement l'ensemble du personnel de l'entreprise **SARL SEMOULRIE AMOUR** pour leur accueil, leur collaboration et leur soutien durant mon stage. Un grand merci à **M. Mahmoud hamza** pour sa bienveillance et son soutien tout au long de mon stage.

Mes sincères remerciements vont à l'ensemble du corps enseignant de l'institut des sciences et techniques appliquées de l'Université de BLIDA 1, pour la qualité de leur enseignement, leur encadrement tout au long de ma formation. Je remercie également l'ensemble du personnel administratif pour leur disponibilité et leur accompagnement tout au long de mon parcours universitaire.

Dédicaces

Avec l'expression de ma profonde reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :

À **mes parents**, piliers de ma vie, pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements constants et leur présence rassurante à chaque étape de mon parcours.

À **mes frères et mes sœurs** Yacine, Bouchra, Rida et Maram, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence réconfortante.

À **mes amies** Chahinez, Bouchra, Wafa et Nihad, pour leur amitié fidèle, leur aide précieuse et leur présence à mes côtés tout au long de ce parcours.

Résumé

Le but de l'étude est d'améliorer l'homogénéité de la farine complète au sein de la société Semoulerie Amour. L'étude s'inscrit dans une démarche qualité structurée visant à réduire la variabilité de la composition des produits finis, en particulier la répartition du son et de la farine fine. La méthodologie suivie s'est articulée en deux phases complémentaires : un diagnostic initial basé sur les outils d'analyse des causes (QQQQQCP, diagramme d'Ishikawa et AMDEC procédé), suivi de la mise en œuvre du cycle PDCA pour tester une solution transitoire. L'action corrective a consisté à ajuster la densité apparente du son par modification du procédé de broyage. L'évaluation expérimentale a montré une nette amélioration de la stabilité des mélanges, avec une réduction de l'écart dimensionnel du son de 33,9 %, et une meilleure homogénéité des lots. Les résultats obtenus ont permis de formaliser des recommandations opérationnelles et d'appuyer une proposition d'investissement dans un mélangeur post-silos, en vue de pérenniser la maîtrise de l'homogénéité. Ce travail met en lumière l'apport des outils de la qualité dans la résolution de problèmes techniques concrets en industrie agroalimentaire.

Mots-clés : farine complète, homogénéité, AMDEC, PDCA, amélioration continue, densité du son.

ملخص

الهدف من الدراسة تحسين تجانس دقيق القمح الكامل في مصنع عمور. حيث تندرج الدراسة ضمن مقاربة منظمة للجودة تهدف إلى تقليل التباين في تركيبة المنتجات النهائية، لا سيما فيما يتعلق بتوزيع النخالة والدقيق الأبيض. تم اعتماد منهجية مكونة من مرحلتين متكاملتين: التشخيص الأولي القائم على أدوات تحليل السبب الجذري (QQQOQCP)، ومخطط إيشيكاوا، وتحليل AMDEC للعملية)، يليه تطبيق دورة PDCA لاختبار حل انتقالي. تمثل الإجراء التصحيحي في تعديل الكثافة الظاهرية للنخالة من خلال تعديل عملية الطحن. أظهر التقييم التجريبي تحسناً ملحوظاً في استقرار الخلطات، مع انخفاض بنسبة 33.9% في الانحراف البعدي للنخالة، وتحسين تجانس الدفعة. أتاحت النتائج المُتحصل عليها صياغة توصيات تشغيلية ودعم مقترح للاستثمار في خلاط ما بعد الصوامع لضمان التحكم في الاتساق على المدى الطويل. يُسلط هذا العمل الضوء على مساهمة أدوات الجودة في حل المشكلات التقنية العملية في صناعة الأغذية.

الكلمات المفتاحية: دقيق القمح الكامل، الاتساق، AMDEC، PDCA، التحسين المستمر، كثافة النخالة.

Abstract

The aim of this study is to improve the homogeneity of whole wheat flour at Semoulerie Amour, a company specialized in the production of semolina and flours. This study is part of a structured quality approach aimed at reducing the variability in the composition of final products, particularly in the distribution of bran and fine flour. The adopted methodology was organized into two complementary phases: an initial diagnostic phase using root cause analysis tools (QQQQQCP, Ishikawa diagram, and process AMDEC), followed by the implementation of the PDCA cycle to test a temporary corrective action. This action involved adjusting the apparent density of bran by modifying the grinding process. Experimental evaluations showed a significant improvement in blend stability, with a 33.9% reduction in particle thickness and better lot-to-lot homogeneity. The findings supported operational recommendations and justified an investment proposal for a post-silo mixer, aiming to ensure long-term control of product homogeneity. This work highlights the relevance of quality tools in solving practical technical challenges in the food industry.

Keywords: whole flour, homogeneity, AMDEC, PDCA, continuous improvement, bran density

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des figures 5

Liste des tableaux 6

Liste des abréviations : 7

Introduction 9

Partie bibliographique 1

Chapitre 01. Amélioration Continue : 3

1. Les démarches d'amélioration continue : 3

1.1. L'historique d'amélioration continue : 3

1.2. Définitions et principes de l'amélioration continue 4

1.3. Principe de l'amélioration continue 5

2. Les outils de qualité dans l'amélioration continue 5

2.1. Différence entre démarche, méthode et outil 5

2.2. Méthode et outils qualité 6

2.2.1. Le cycle PDCA 6

2.2.2. QQQCCP : 8

2.2.3. Diagramme d'ISHKAWA 9

2.2.4. Le brainstorming 11

2.2.5. AMDEC 13

Chapitre 2 : Farine complète et Homogénéisation 16

1.1.	Généralités sur le grain de blé :.....	16
1.2.	Description de blé tendre :	16
1.3.	Composition de grain de blé tendre :	17
1.4.	Caractéristiques du grain de blé tendre :.....	19
1.5.	Culture de blé, offre et consommation :.....	20
2.	Définition et caractéristiques de la farine :	21
2.1.	Définition réglementaire :	21
	Source: Boudreau & Ménard , 1992	22
2.2.	Composition chimique de la farine :.....	22
2.3.	Caractéristiques des farines :.....	23
2.4.	Propriétés physico-chimiques :	24
2.5.	Différents types de farine :.....	25
3.	Son de blé :.....	26
3.1.	Définition :	26
3.2.	Composition de son du blé :.....	26
3.3.	Composition physico-chimique du son de blé :.....	26
4.	Processus de transformation :	28
4.1.	Objectif de la mouture :	28
4.2.	Processus de transformation de blé tendre : (Calvel, 1980).....	28
4.2.1.	La réception de blé tendre :	28
4.2.2.	Pré nettoyage	28
4.2.3.	Le nettoyage	28
4.2.4.	Conditionnement	28
4.2.5.	Mouture de blé tendre.....	29
4.2.5.1.	Broyage et tamisage	29
4.2.5.2.	Le convertissage et le claquage	29
4.2.5.3.	Le blutage et sassage	29

4.2.6. Tirage et ensachage du produit fini	29
• L'emballage.....	29
• Etiquetage.....	29
4.2.7. Nature des produits de mouture	30
5. Exigences normatives relatives à l'homogénéité des produits agroalimentaires :	31
6. Les enjeux de l'homogénéisation de la farine complète.....	32
6.1. Le mélange farine-son (farine complète)	32
6.2. Problèmes liés à l'homogénéisation farine-son dans les farines complètes :	32
6.2.1. Déséquilibres physiques lors du stockage en silo.....	32
6.2.2. Effets de la taille des particules de son sur les propriétés technologiques..	33
6.2.3. Impact sur la formation du réseau glutineux et la rhéologie de la pâte.....	33
6.2.4. Variabilité du son et difficultés de standardisation	33
6.3. Technologies d'homogénéisation en agroalimentaire.....	34
PARTIE PRATIQUE.....	35
Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un	
problème d'homogénéité :	36
1. Présentation de l'entreprise	36
1.1. Historique.....	36
1.2. Fiche d'identité	37
1.3. Localisation de l'entreprise	38
1.4. Liste des produits	38
1.5. Cartographie des processus :	40
2. Méthodologie et problématique de la recherche.....	41
2.1. Problématique	42
2.2. Objectifs du travail	43
2.3. Méthodologie de la recherche	43

2.4. Outils qualité mis en œuvre	44
2.4.1. Etape n°1. Identification de problème par le QQQQCCP.....	44
2.4.2. Etape n°2. Analyse des causes par diagramme d'Ishikawa 5M.....	47
2.4.3. Etape n°3. Analyse des risques par la méthode AMDEC	49
2.4.3.1. Définition du périmètre de l'AMDEC.....	49
2.4.3.2. Décomposition du processus analysé	49
2.4.3.3. Identification des modes de défaillance et effets	51
2.4.3.4. Tableau AMDEC	53
2.4.3.5. Interprétation de la criticité et codification AMDEC.....	55
2.4.4. Cycle PDCA.....	61
2.4.4.1. Étape 1. Planification de la solution technique :	61
Mélangeur post-silos	61
2.4.4.1.1. Objectif de l'action planifiée.....	61
2.4.4.1.2. Détails techniques de la solution proposée	61
2.4.4.1.3. Intégration dans le processus existant	63
2.4.4.1.4. Impact attendu :.....	64
2.4.4.1.5. Estimation budgétaire.....	64
2.4.4.1.6. Freins à la mise en œuvre.....	64
2.4.4.2. Étape 2 : Do – Mise en œuvre de l'action planifiée.....	65
2.4.4.3. Étape 3 : Check – Vérification des résultats :	65
2.4.4.4. Étape 4 Act – Ajustement et perspectives.....	68
CONCLUSION.....	72
Bibliographie.....	75
ANNEXES.....	78

Liste des figures

Figure 1. La roue de Deming (PDCA)	7
Figure 2. Diagramme des 5M (Ishikawa).....	10
Figure 3. Grain de blé dur.	16
Figure 4. Grain de blé tendre.	16
Figure 5. Anatomie du grain de blé tendre	17
Figure 6. Schéma du principe de la mouture du blé tendre	30
Figure 7. Logo de la semoulerie Amour (SARL AMOUR, 2025).....	36
Figure 8. Localisation de l'entreprise.....	38
Figure 9. Cartographie des processus de l'entreprise.....	40
Figure 10. Exemple de cas de non-conformité	41
Figure 11. Evolution du taux de cendre et d'humidité	42
Figure 12. Mélangeur post-silo.....	62
Figure 13. Diagramme de positionnement du mélangeur.	63
Figure 14. Tamis de laboratoire.....	66
Figure 15. Micromètre.....	66
Figure 16. Comparaison visuelle des fractions de son après tamisage.....	67

Liste des tableaux

Tableau 1. Composantes de l’outil QQQOCCP.....	8
Tableau 2. Points forts et points faibles de l’outil QQQQCP.....	9
Tableau 3. Points forts et points faibles de l’outil 5M	11
Tableau 4. points forts et points faibles Brainstorming.....	13
Tableau 5. Les quatre questions de base de l’AMDEC.....	13
Tableau 6. Points forts et points faibles AMDEC	15
Tableau 7. Composition chimique du grain de blé.....	18
Tableau 8. Caractéristiques de grain de blé tendre.....	19
Tableau 9. Composition de la farine boulangère.....	22
Tableau 10. Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre.....	24
Tableau 11. Types de la farine de blé tendre.....	25
Tableau 12. Composition en fibres des farines et des sons	26
Tableau 13. Teneur en minéraux et en vitamines du son de blé.....	27
Tableau 14. Comparatif des Technologies d’homogénéisation	34
Tableau 15. Liste des produits alimentaires et leurs formats.	39
Tableau 16. Déploiement du QQQQCCP (élaboré par l’étudiante).....	46
Tableau 17. Grille d’évaluation.....	53
Tableau 18. Tableau AMDEC.....	55
Tableau 19. Niveaux de criticité et priorités AMDEC	56
Tableau 20. Identification des défaillances critiques et mesures correctives.....	58
Tableau 21. Indicateurs de suivi recommandés.....	60
Tableau 22. Estimation des coûts associés à l’installation du mélangeur.	64
Tableau 23. Comparaison des caractéristiques dimensionnelles du son – avant et après modification du broyage.....	67

Liste des abréviations :

AC	Amélioration Continue
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
BPR	Business Process Reengineering
DMAIC	Définir, Mesurer, Analyser, Innover, et Contrôler
ISO	International Organization for Standardization
NF	Normes Françaises
PAQ	Plan d'action qualité
PDCA	Plan – Do – Check – Act (Cycle de Deming)
QOQOCCP	Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Combien ? Pourquoi ?
SMQ	Système de Management de la Qualité
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
TQM	Total Quality Management
TWI	Training Within Industry
MS	Matière Sèche
W	Force boulangère de la farine
USDA	United States Department of Agriculture
CIC	Conseil International des Céréales
FAO	Food and Agriculture Organization
FMECA	Failure Mode Effect Criticality Analysis
5M	Le diagramme d'Ishikawa

INTRODUCTION

Introduction

L'amélioration continue constitue aujourd'hui un levier stratégique essentiel pour les entreprises industrielles souhaitant pérenniser leur compétitivité, optimiser leurs performances et répondre durablement aux attentes des parties prenantes. Elle repose sur des démarches systématiques et cycliques, à l'instar de la méthode PDCA (Plan-Do-Check-Act), visant à identifier les défaillances, analyser leurs causes, mettre en œuvre des actions correctives et en assurer le suivi (Deming, 1986). Dans le secteur agroalimentaire, où la qualité des produits est intimement liée à la stabilité des procédés et à la maîtrise des caractéristiques physico-chimiques, l'amélioration continue est au cœur de toute stratégie de progrès.

Parallèlement, les habitudes alimentaires des consommateurs ont connu une évolution marquée, avec une demande croissante pour des produits plus sains, plus naturels, et mieux valorisés sur le plan nutritionnel. À cet égard, les produits céréaliers dits « complets » notamment les farines intégrales suscitent un intérêt croissant en raison de leur teneur élevée en fibres alimentaires, en vitamines du groupe B et en minéraux (magnésium, fer, zinc) (Bourson, 2009). La farine complète, élaborée à partir du grain entier incluant le son, l'endosperme et le germe, est particulièrement prisée dans les régimes visant la prévention des maladies métaboliques, le renforcement du microbiote intestinal, ou encore la régulation glycémique (Slavin, 2004).

Toutefois, du point de vue technologique, la production de farine complète soulève des problèmes spécifiques liés à l'hétérogénéité du produit. En effet, les différences de densité et de granulométrie entre la fraction fibreuse (son) et la farine, lors du stockage vertical en silos, une séparation gravitationnelle. Ce phénomène de stratification engendre une variabilité importante dans la composition des produits finis, altérant leur homogénéité, leur conformité aux spécifications analytiques (taux de cendres, humidité, fibres) et leur stabilité visuelle et fonctionnelle.

L'objectif de notre travail est de contribuer à l'amélioration de l'homogénéité de la farine complète produite au sein de la société Semoulerie Amour, en réduisant la variabilité de la répartition entre le son et la farine blanche au sein des produits finis, et ce, dans une perspective d'amélioration continue de la qualité du produit. Cette démarche s'inscrit pleinement dans les exigences des systèmes de management de la qualité (SMQ) et vise à garantir la conformité des lots aux spécifications internes, à renforcer la fiabilité des résultats

analytiques, et à améliorer la satisfaction des clients. C'est dans cette optique que ladite entreprise nous a confié la mission de résoudre la problématique suivante :

« Comment améliorer l'homogénéité de la farine complète afin de garantir un produit stable, conforme et répondant aux exigences qualité, en s'appuyant sur une utilisation structurée des outils qualité dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue ? »

À partir de cette problématique, plusieurs questions de recherche secondaires ont été formulées afin de structurer l'étude :

- Quels sont les facteurs physiques et mécaniques responsables de l'hétérogénéité observée dans la farine complète ?
- Dans quelle mesure la modification de la densité apparente du son peut-elle améliorer la stabilité du mélange dans les silos ?
- Quels outils de la qualité permettent d'identifier les causes racines de cette non-conformité technique ?
- Comment structurer une expérimentation efficace à l'échelle industrielle pour valider une solution transitoire ?

Sur la base de ces questions, les hypothèses suivantes ont été posées :

- **H1** : L'écart de densité entre le son et la farine blanche est une cause majeure de la séparation gravitationnelle, responsable de l'hétérogénéité du produit final.
- **H2** : Une modification ciblée du broyage du son permet de réduire la densité spécifique des particules et améliore la stabilité du mélange.
- **H3** : L'intégration d'un mélangeur post-silos constitue une solution technique durable pour maîtriser définitivement la répartition des composants dans la farine complète.

Pour y répondre, nous avons structuré notre travail autour de deux grandes phases :

- Phase 1 – Diagnostic : application des outils de qualité pour l'identification des causes racines du problème (QQQOQCP, diagramme d'Ishikawa, AMDEC procédé).
- Phase 2 – Amélioration : mise en œuvre du cycle PDCA pour tester une action corrective transitoire (ajustement de la granulométrie du son) et évaluer son efficacité.

Ce mémoire est structuré en deux parties principales :

- **Une première partie théorique** dédiée à la revue bibliographique, qui présente les fondements de l'amélioration continue, les propriétés physico-techniques de la farine complète, ainsi que les outils de la qualité utilisés pour l'analyse des procédés.
- **Une seconde partie pratique**, centrée sur l'étude de cas au sein de la Semoulerie Amour, retraçant le diagnostic initial, l'expérimentation menée, les résultats obtenus, et les perspectives proposées pour une amélioration durable du processus.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 01. Amélioration Continue :

1. Les démarches d'amélioration continue :

1.1.L'historique d'amélioration continue :

Le concept d'amélioration continue (AC) s'est développé progressivement dans le contexte de l'histoire industrielle, en réponse aux défis croissants en termes de productivité, de qualité et de compétitivité. Bien que les pratiques liées à l'amélioration des performances existent depuis les débuts de l'organisation du travail, c'est à partir de la fin du XIXe siècle que cette approche a pris une forme structurée.

Les premières démarches modernes d'amélioration continue remontent à 1894, aux États-Unis, avec l'initiative de la société National Cash Register, qui encourageait les suggestions des employés, offrait des récompenses pour les idées d'amélioration, et favorisait le développement personnel dans une logique de collaboration entre ouvriers et encadrement (Singh & Singh, 2015). Ces efforts précurseurs ont ensuite été amplifiés par les théories du management scientifique de Frederick Taylor, qui visait à optimiser les tâches grâce à l'observation et à l'analyse systématique du travail.

L'un des tournants majeurs dans l'histoire de l'amélioration continue a lieu au Japon après la Seconde Guerre mondiale. Le programme américain « Training Within Industry » (TWI), introduit par les forces d'occupation américaine, avait pour but d'augmenter rapidement la productivité japonaise avec peu de moyens (Haddas, et al., 2014). Des experts comme Deming et Juran y apportent alors les bases de la qualité moderne. C'est dans ce contexte que naît la philosophie du Kaizen, popularisée par Masaaki Imai (1986), reposant sur l'idée d'un progrès constant, participatif, à petits pas mais structuré, et intégré à tous les niveaux de l'entreprise (Singh & Singh, 2015).

Dans les années 1980, les concepts japonais d'amélioration continue commencent à s'implanter dans les pays occidentaux, en particulier à travers le Total Quality Management (TQM) et le cycle PDCA (Plan-Do-Check-Act) de Deming. Ces méthodes s'inscrivent dans une logique systémique de maîtrise de la qualité et de réduction des écarts de performance.

Un autre jalon majeur est posé par Motorola en 1987, avec le développement de la méthode Six Sigma. Cette approche, qui repose sur l'analyse statistique des processus, vise à réduire drastiquement les défauts en se fixant un objectif de 3,4 erreurs par million d'opportunités (Pyzdek & Keller, 2010). Six Sigma introduit le cycle DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, et Contrôler), qui structure l'amélioration continue selon une

méthode rigoureuse et orientée résultats. Selon Pyzdek et Keller (2010), les entreprises fonctionnant à un niveau Six Sigma consacrent moins de 5 % de leur chiffre d'affaires à la correction d'erreurs, contre 25 à 40 % pour les entreprises moins performantes.

Au fil du temps, l'amélioration continue s'est imposée comme une culture stratégique, bien au-delà du secteur industriel. Aujourd'hui, elle concerne également l'agroalimentaire, à l'ère de la mondialisation et de la transformation numérique, l'amélioration continue est devenue une composante stratégique des systèmes de management de la qualité, intégrée dans des normes internationales telles que l'ISO 9001 :2015 qui en fait un pilier central de la performance durable (Walter & Behrooz, 2016).

1.2. Définitions et principes de l'amélioration continue

Nous présentons dans ce qui suit plusieurs définitions de l'amélioration continue selon différents référentiels :

L'amélioration continue selon la norme ISO 9000 est « *une activité récurrente menée pour améliorer les performances* ». Elle est donc centrée sur les performances du système de management.

« *L'amélioration continue est un effort constant pour accroître la qualité et la performance à travers de petits changements progressifs dans les processus, en impliquant l'ensemble de l'organisation* ». (Deming, 1986)

Quant au Petit Robert, il définit l'amélioration comme « *une action de rendre meilleur, de changer en mieux. Fait de devenir meilleur, plus satisfaisant* ».

« *L'amélioration continue est une philosophie opérationnelle qui vise à optimiser les processus d'une entreprise de manière systématique et progressive. Elle repose sur l'identification et la résolution continues des inefficacités au sein des processus existants, avec pour objectif d'accroître la productivité, la qualité, et la satisfaction client, tout en réduisant les coûts et les déchets* ». (Laoyan, 2025)

L'amélioration continue est expliquée dans la norme NF (Normes Françaises), par le fait que l'organisme doit améliorer en permanence l'efficacité de son système de management de la qualité : En utilisant une politique qualité, en définissant l'objectif qualité tel que défini par la revue de la direction ou suite à des résultats d'audits internes ou externes, de procéder à l'analyse des données des actions correctives et préventives issues de la gestion des non conformités et des réclamations.

L'amélioration continue désigne une démarche visant à mettre en œuvre des actions régulières et durables afin d'optimiser l'ensemble des processus d'une entreprise, en éliminant

les dysfonctionnements et en valorisant les leviers générateurs de valeur. Cette approche permet de réexaminer périodiquement les pratiques existantes, de remettre en cause les processus établis et de favoriser une croissance soutenue de l'organisation. Mettre en place un processus d'amélioration continue au sein d'une entreprise contribue à stimuler graduellement la performance globale à tous les niveaux, tout en réduisant les coûts et en améliorant l'efficacité, la productivité ainsi que la rentabilité de l'entreprise et de son environnement. Par ailleurs, l'amélioration continue constitue l'un des principes fondamentaux de la norme ISO 9001 relative aux systèmes de management de la qualité. (Bouzourine, Feknous, & Mougafi, 2022).

1.3.Principe de l'amélioration continue

Selon la norme internationale ISO 9001, l'amélioration continue représente le cinquième élément de la gestion de la qualité. Elle a pour objectif de minimiser les dysfonctionnements, l'insatisfaction des clients et les dangers potentiels liés aux procédures de l'entreprise.

Progressif et centré sur la génération de valeur tout en minimisant les pertes, elle ne requiert pas forcément d'importantes dépenses ni de modification organisationnelle. Toutefois, l'amélioration continue elle se différencie de la réingénierie des processus BPR (Business Process Reengineering) ou de l'innovation radicale, qui introduit des transformations majeures qui rompent avec les méthodes, les pratiques et les technologies préexistantes de l'entreprise. (Amélioration Continue, s.d.)

2. Les outils de qualité dans l'amélioration continue

2.1.Différence entre démarche, méthode et outil

Dans le domaine de la gestion de la qualité, il est crucial de distinguer entre les concepts démarche, méthode et outil. Bien qu'ils soient étroitement liés, ils se trouvent à des niveaux d'analyse et d'intervention différents.

Une démarche définit un cadre structuré et global, axé sur une visée stratégique telle que l'excellence ou l'amélioration continue, qui engage toute l'organisation en suivant une philosophie spécifique (Azzabi, 2012). Elle se fonde sur des principes directeurs tels que ceux de la norme ISO 9001 ou du Lean Management.

De plus, une méthode se définit comme un processus structuré permettant de réaliser cette démarche à travers des phases spécifiques et reproductibles. Parmi les exemples pertinents figurent la technique des 5S ou le cycle DMAIC, qui sont employés pour structurer de manière méthodique la résolution de problèmes (Bouzourine, Feknous, & Mougafi, 2022).

Enfin, un outil est un support technique ou visuel utilisé dans le cadre d'une méthode pour faciliter l'analyse, la prise de décision ou l'action. Des instruments tels que le diagramme

d'Ishikawa (5M), le QQQQCP et le brainstorming facilitent l'organisation de la détection des causes et la hiérarchisation des mesures. (Azzabi, 2012) (Bouzourine, Feknous, & Mougafi, 2022)

2.2.Méthode et outils qualité

Dans cette section, nous allons essayer d'établir un lien entre les outils qualité et l'amélioration continue, qui constitue le cœur de ce projet. Pour cela nous commencerons par le pilier fondamental de l'amélioration continue qui est le PDCA, avant de présenter d'autres outils destinés à la résolution de problèmes ou à la prévention.

L'efficacité d'une démarche d'amélioration continue dépend de la qualité du travail entrepris et des actions mises en œuvre par l'entreprise. Cette efficacité est perçue par les clients, qu'ils soient internes ou externes. Pour obtenir cette satisfaction, les entreprises se base sur divers outils et méthodes développés par des experts.

Certains de ces outils sont simples et faciles à adopter, mais peuvent avoir un impact important sur les résultats à long terme dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue. Ainsi, un certain nombre d'outils et de méthodes permettent d'identifier et de résoudre les problèmes, tandis que d'autres permettent notamment à cibler les actions et à rendre le travail plus efficace et plus efficient.

2.2.1. Le cycle PDCA

La littérature relève que la méthode la plus importante et indispensable dans toute démarche qualité est le PDCA, elle s'applique à toutes les étapes d'un processus ou d'une activité, Elle est mobilisable constamment sans fin, car elle s'inscrit dans une logique d'amélioration continue. Aussi appelée « La roue de la qualité » ou « La roue de Deming » en référence à son concepteur William Edwards Deming, qui a introduit ce modèle au en 1950, ce qui a contribué au développement de l'industrie japonaise.

Selon Tague (2004), cette méthode vise principalement l'amélioration continue et l'accroissement de la performance du système de management de la qualité (SMQ).

Le PDCA se subdivise en 4 étapes à savoir :

- **Plan** : Préparer et planifier ce qui va être réalisé.
- **Do** : Réaliser ce qui a été planifié.
- **Check** : Contrôler et comparer ce qui a été réalisé par rapport à ce qui a été planifier
- **Act** : Agir, en adoptons des actions correctives afin de résoudre les écarts ou améliorer la situation actuelle.

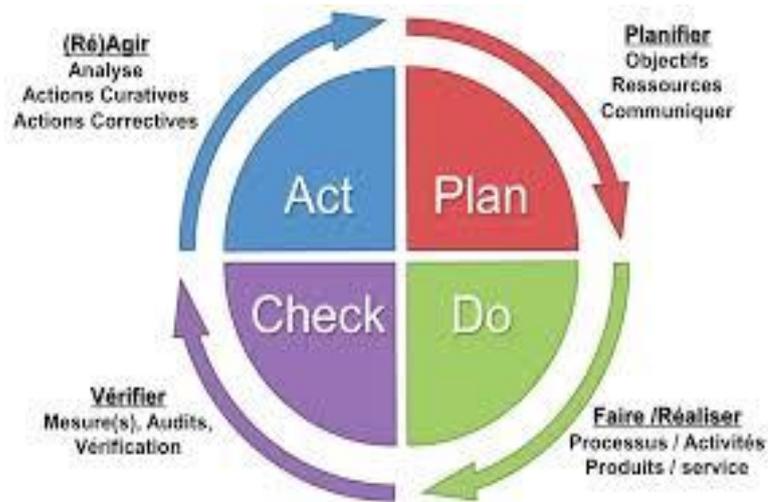


Figure 1. La roue de Deming (PDCA) (certification-qse, s.d.)

Voici plus de détails concernant chaque étape de cette méthode :

Plan :

- Mise en œuvre d'un plan d'action qualité (PAQ) qui identifiera les ressources nécessaires, les intervenants impliqués et les objectifs à atteindre.
- Définition des délais pour chaque objectif du PAQ ;
- Attribution claire des responsabilités et mise en place de procédures pour préciser les attentes et les résultats escomptés.

DO :

- Chaque responsable impliqué dans le PAQ doit exécuter et assurer le suivi de l'avancement des actions, en utilisant les ressources indispensables, les méthodes et les outils appropriés à la phase d'exécution.
- Il est essentiel de suivre strictement le PAQ ainsi que les délais fixés.

CHECK :

- Comparer les résultats obtenus avec ce qui avait été planifié ;
- Contrôler de manière systématique les actions réalisées afin de vérifier leur efficacité ;
- Impliquer les responsables concernés par le PAQ afin de discuter des résultats, partager les constats et favoriser la prise de conscience collective.

ACT : Dans cette phase, deux situations peuvent se présenter :

Si les objectifs ne sont pas atteints :

Les responsables doivent analyser les causes de l'échec. Dans certains cas, on demande de maintenir le même PAQ tout en travaillant de façon plus efficace pour réussir la mise en œuvre, en mobilisant divers outils et en persévérant afin d'atteindre les objectifs arrêtés. En outre, si le PAQ initial s'avère irréaliste au regard des ressources et des capacités de l'entreprise, il devient nécessaire de le réajuster de manière cohérente avec les moyens disponibles, afin de le rendre applicable et pertinent.

Si les objectifs sont atteints :

Chaque responsable valide les résultats obtenus. C'est à ce moment que l'amélioration continue se traduit par de nouveaux objectifs pour le prochain PAQ. L'entreprise poursuit ainsi ses efforts pour optimiser et améliorer ses performances d'une manière durable. In fine, cette étape consiste à prendre des décisions pour le cycle suivant, en ajustant le PAQ selon les résultats obtenus. Ainsi, le cycle PDCA ne s'arrête pas, il se relance dans une dynamique continue d'amélioration. (CHazot, s.d.)

2.2.2. QQQOCCP :

Le QQQOCCP est un outil fondamental de la gestion de la qualité et des démarches d'amélioration continue. Il consiste à poser successivement sept questions : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Combien ? Pourquoi ? il est utilisé pour une analyse approfondie des origines d'un problème ou d'un dysfonctionnement, grâce à une approche systématique permettant d'examiner chaque aspect du sujet. D'après (Azzabi, 2012), l'utilisation du QQQOCCP aide à structurer la réflexion, à identifier les éléments clés et à formuler des réponses pertinentes et ciblées. Cet outil est particulièrement utile dans les processus industriels, où la recherche des causes fondamentales est importante pour maintenir, des normes de qualité. Il facilite aussi l'implémentation de mesures correctives rapides et efficaces.

L'outil facilite également la mise en place d'actions correctives rapides et efficaces, ce qui contribue à l'amélioration continue des processus, tout en garantissant la satisfaction du client et la conformité aux normes de qualité. Sa simplicité et son efficacité de cette méthode en font un outil indispensable pour les entreprises cherchant à résoudre des problèmes de manière structurée et durable.

Le tableau 1 suivant présente les composantes de l'outil QQQOCCP.

Tableau 1. Composantes de l'outil QQQOCCP.

Question	Description
----------	-------------

Chapitre 01 : Amélioration continue

Quoi ?	L'action, l'opération ou l'objet cerné dans l'étude.
Qui ?	Le responsable de l'action, la partie prenante ou l'acteur impacté.
Où ?	L'endroit, la distance, la position ou l'étape.
Quand ?	Le moment, la durée ou la fréquence.
Comment ?	La procédure, le matériel utilisé, la manière avec laquelle le travail est fait.
Pourquoi ?	Pour chercher des raisons et des motifs ou bien pour confirmer certaines réponses.
Combien ?	La quantité, la mesure, la fréquence ou l'intensité impliquée dans le processus.

Source : élaboré par l'étudiante.

Selon Azzabi (2012), l'outil présente des avantages clairs dans le cadre de la gestion de la qualité, tout en soulevant des défis lorsqu'il est mal appliqué.

Tableau 2. Points forts et points faibles de l'outil QQQQCP

QQQQCP	
Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none">• Simple et méthodique.• Incite aux questionnements larges et pertinents.	<ul style="list-style-type: none">• Si les questions sont mal formulées, la méthode perd de son efficacité.

Source : élaboré par l'étudiante.

2.2.3. Diagramme d'ISHKAWA

Aussi appelé diagramme cause-effet, diagramme des 5M ou diagramme en arête de poisson en raison de sa forme, Cet outil a été conçu et utilisé pour la première fois en 1943 au Japon, dans une célèbre société de sidérurgie. Le but était de montrer à un groupe de travail comment identifier et comprendre un problème en s'appuyant sur une analyse d'un ensemble de facteurs. (Weaving case reports into Ishikawa diagrams, 2011)

Le diagramme d'ISHKAWA (Voir Figure 2) a pour objectif de classer les causes possibles d'un problème en grandes familles (les 5M) : Matière, Matériel, Méthode, Milieu et Main d'œuvre. Cet outil de travail en groupe constitue une méthode de créativité mettant en évidence l'ensemble des causes possibles d'un problème et d'en dégager les plus probables (Roger, 2009)

Selon Saeger (2016) le modèle 5M est basé sur deux principes fondamentaux :

- Le nombre de causes principales et secondaires est limité.
- Pour résoudre un problème, il faudra commencer par distinguer les causes principales des causes secondaires.

D'après le professeur Ishikawa, une fois le problème identifié, qu'il soit de nature quantitatif ou qualitatif, la première étape consiste à catégoriser les causes du problème dans ces cinq grandes familles, qui permettent de rechercher les causes racines à savoir :

➤ **Matière :**

Cette famille englobe tous les éléments consommés pendant le processus, qu'il s'agisse de matières premières ou des composants entrant dans la fabrication du produit.

➤ **Main d'œuvre :**

Elle concerne le facteur humain, notamment les problèmes liés aux ressources humaines ; qualification insuffisante, absentéisme, manque de formation...

➤ **Matériel/ machine :**

Il s'agit des équipements, machines et outils nécessaires à la production, tels que les équipements, matériel informatique, pièces de rechange...

➤ **Milieu :**

Ça correspond à l'environnement dans lequel l'entreprise exerce son activité, que ça soit conditions de travail internes ou externes.

➤ **Méthode :**

Elle englobe tous les procédures et modes opératoires utilisés pour réaliser les tâches : méthodes de travail, organisation des flux d'information, consignes de travail, types de management...

Nous pouvons illustrer cela avec le diagramme ci-dessous :

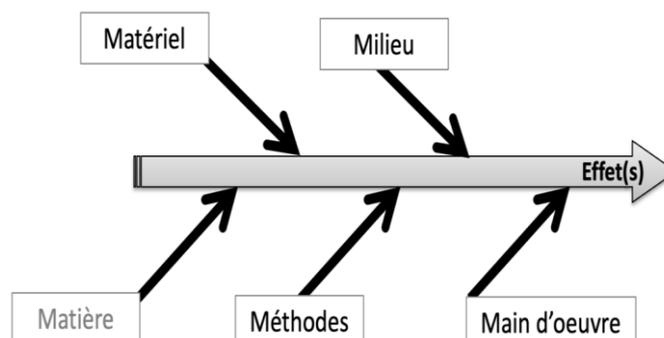


Figure 2. Diagramme des 5M (Ishikawa) (certification-qse, s.d.)

Le Brainstorming est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour identifier les causes potentielles d'un problème, étant donné qu'elle facilite la collecte d'un grand nombre de causes possibles. Dans un second temps, pour chaque cause identifiée dans les grandes familles du diagramme d'Ishikawa, une analyse approfondie est menée, afin d'évaluer son impact et d'identifier d'éventuelles sous-causes. Ces dernières expliquent souvent l'apparition des causes principales.

Après cette analyse détaillée, il est possible d'identifier la raison réelle du problème principal. A ce stade, il est possible définir des solutions adaptées et, si nécessaire, mettre en place des actions préventives afin d'éviter que l'anomalie ne se reproduise. (Teneau, 2009)

Tableau 3. Points forts et points faibles de l'outil 5M

Diagramme des 5M	
Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none">▪ Impliquer de nombreux collaborateurs issus de divers départements et expertises.▪ Déterminer les domaines nécessitant une amélioration poussée par rapport aux autres.▪ Catégoriser presque toutes les causes potentielles liées au problème soumis.▪ Fournir une vision résumée des relations de cause à effet.	<ul style="list-style-type: none">▪ Ne pas accorder la même importance à certaines causes.▪ Nécessite un certain degré de subjectivité.▪ Pas pratique dans le cas d'un problème complexe lorsque les causes racines sont liées entre elles.

Source : élaboré par l'étudiante.

2.2.4. Le brainstorming

Cet outil a été vulgarisé par un publicitaire américain du nom de **Alex Osborne**, célèbre pour sa phrase : « *La meilleure façon d'avoir une bonne idée est d'en avoir beaucoup d'idées* ». Le terme provient de l'anglais « *Brain Storm* », qui combine le mot 'Brain', signifiant cerveau, et 'Storm' qui est tempête. Selon Granger (2025), le principe de cet outil consiste à générer un maximum d'idées possibles en réponse à une question ou à un problème spécifique. Le brainstorming représente est un outil d'investigation visant à trouver des orientations pour résoudre un problème, c'est pourquoi, il faut être ouvert à toutes les idées et toutes les possibilités lors de sa mise en œuvre.

L'utilisation de cet outil nécessite de suivre plusieurs étapes et de respecter des règles précises. Ci-dessous les étapes à suivre pour une séance de brainstorming :

➤ **Préparation**

Lors de cette étape, l'animateur, forme un groupe d'au minimum 5 participants. il est essentiel que la sélection de ces personnes soit pertinente et efficace : elles doivent présenter des points de vue variés, occuper différentes positions hiérarchiques et avoir des expertises complémentaires. L'objectif de cette diversité est de favoriser la richesse des idées produites. Il est également important que les participants se sentent à l'aise et détendus, réunis autour d'une table dans un environnement propice à l'échange. De plus, il est nécessaire de prévoir un tableau ou tout un autre support pour noter les idées exprimées au cours de la séance.

➤ **Définition de la question de départ**

Nommée aussi phase de cadrage, cette dernière a pour objectif de s'assurer que l'ensemble des participants ont bien compris la question posée et ils sont d'accord sur le problème à résoudre, qu'il s'agisse d'identifier une solution ou de déterminer les causes d'un dysfonctionnement et/ou d'un problème. Le sujet doit être énoncé d'une manière claire et précise et compréhensible par les participants.

➤ **La phase de production**

C'est la phase où la créativité et la spontanéité sont favorisées, l'objectif est de générer et de communiquer les idées, telles qu'elles viennent à l'esprit. L'animateur est tenu de motiver les participants et de les encourager à proposer le plus d'idées possibles autour du sujet. Il veille aussi à noter les idées proposées sur un support visible par tous pour favoriser la clarté et d'éviter les répétitions.

➤ **Filtrage des idées et sélection de solution :**

Après avoir remercié tous les membres pour leur participation et leurs efforts fournis, un tri est réalisé afin de récolter les propositions et les idées les plus créatives et le plus pertinentes. Ces idées seront analysées plus en détail pour aboutir à un choix final.

❖ **Les règles à respecter et les erreurs à éviter lors d'un Brainstorming**

- Ne pas critiquer, juger ou éliminer les idées, même les plus 'insensées' car ce sont souvent elles qui sont à l'origine de l'innovation ;

- Ne jamais interrompre un participant, attendre jusqu'à ce qu'il termine de parler puis demander la parole ;
- Ne pas travailler sur une question trop vaste, car cela risque d'éparpiller les idées et de limiter l'efficacité des résultats.
- Favoriser une meilleure ambiance de travail constructive, afin d'encourager la créativité de chacun.

Le tableau 4. Illustre quelques points forts et points faibles du Brainstorming :

Tableau 4. points forts et points faibles Brainstorming

Brainstorming	
Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fourni un important nombre d'idées. ▪ Rapidité et simplicité. ▪ Renforce la confiance personnelle. ▪ Stimule la créativité. ▪ Aucune dépense (presque sans frais). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toutes les idées ne sont pas forcément appropriées. ▪ Un nombre restreint de participants et non l'ensemble des collaborateurs. ▪ Difficile de contrôler un groupe au-dessus d'une vingtaine de participants.

Source : élaboré par l'étudiante.

2.2.5. AMDEC

L'AMDEC est un outil de prévention, qui est utilisé principalement pour identifier et analyser les défaillances potentielles, c'est à dire les futurs problèmes que l'entreprise pourrait faire face.

Développée en 1950 aux Etats-Unis, dans l'industrie aéronautique sous le nom de FMECA (Failure Mode Effect Criticality Analysis), en français c'est (Analyse des Modes de Défaillance et leurs Effets de Criticité) au début des années 1950, elle s'est développée en Europe, dans l'industrie automobile. Elle a été appliquée aux caractéristiques de sécurité dans l'industrie aéronautique. (Benmehdi, 2021)

Selon l'AFNOR, l'AMDEC est définie comme : « *une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système* ».

D'après (Landy, 2007), sa logique de cette méthode repose sur quatre questions :

Tableau 5. Les quatre questions de base de l'AMDEC

Modes De défaillance Potentielle	Effets possibles	Causes possibles	Plan de Surveillance
---	-------------------------	-------------------------	-----------------------------

Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?
------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------

Source : (Landy, 2007)

Cette méthode peut être appliquée sur trois éléments :

➤ **AMDEC produit :**

Ce type d'AMDEC se rapporte directement au produit fabriqué par l'entreprise. Il vise à analyser les différentes caractéristiques du produit afin de garantir sa conformité à la réglementation et aux attentes du client final. L'AMDEC produit est placé sous la responsabilité du concepteur du produit et de son équipe.

➤ **AMDEC processus :**

Utilisé par les pilotes de processus, ce type d'AMDEC vise à réaliser une analyse détaillée des processus dans le but d'identifier leurs aspects critiques et leurs défaillances. L'objectif ultime est d'améliorer la performance du processus en mettant en place des indicateurs et des méthodes de pilotage plus efficaces, en définissant des indicateurs et méthodes de pilotage via des plans d'action correctifs et préventifs, ainsi que l'établissement de mesures préventives ou cas où ça bascule.

➤ **AMDEC procédé :**

Pratiqué sous la responsabilité de celui qui détermine le procédé de fabrication. Ce type Permet de répondre à la question « Comment le procédé doit être mis en œuvre pour répondre aux spécifications et aux exigences de conformités ? »

La réalisation d'une AMDEC suppose le déroulement de la méthode comme suit :

➤ **Initiation :** faire appel à un groupe de travail (des experts)

➤ **L'application de l'analyse fonctionnelle :** elle doit répondre à la question de façon rigoureuse ; le système est analysé sous ses aspects :

- **Externes :** relations avec le milieu extérieur (qu'est ce qui rentre, qu'est ce qui sort)
- **Internes :** analyse des flux et des activités au sein du procédé ou de la machine.

❖ **Évaluation qualitative :**

- 1) Identification des modes de défaillance.
- 2) Identification des causes potentielles de chaque mode.
- 3) Estimation des effets engendrés.

❖ **Evaluation quantitative :** Evaluation de la criticité de ces effets, tel que La criticité (C) est calculée en multipliant les trois notes suivantes : $C=G \times F \times D$.

C : Niveau de criticité.

G : Niveau de gravité.

O : L'occurrence de l'apparition.

D : La non-détection du problème.

- **Planification des actions** : préventives et correctives. (Benmehdi, 2021)

Tableau 6. Points forts et points faibles AMDEC

AMDEC	
Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none">• Utile dans divers secteurs industriels.• Elle est à la fois préventive et corrective.• S'applique à tous les niveaux de l'organisation.• Vise à la satisfaction du client.	<ul style="list-style-type: none">• Parfois les problèmes ne peuvent pas être résolus• Sa conception ne prend pas mal de temps et peut être coûteuse.• Demande beaucoup d'expérience, spécialistes et experts.

Source : élaboré par l'étudiante.

Chapitre 2 : Farine complète et Homogénéisation

1.1. Généralités sur le grain de blé :

Le blé est un monocotylédone qui appartient au genre *triticum* de la famille des graminées, c'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*triticum aestivum*) et le blé dur (*triticum durum*). Ces deux variétés constituent l'essentiel de l'alimentation humaine dans de nombreux pays. Les blés sont consommés après transformation, en semoule pour le blé dur ; destiné essentiellement pour la confection de pâtes, et en farine pour le blé tendre destiné pour les boulangeries et la pâtisserie. (Feillet, 2000)



Figure 3. Grain de blé dur.



Figure 4. Grain de blé tendre.

1.2. Description de blé tendre :

Graminée annuelle, en touffe, atteignant 150 cm de haut, à 2-5 talles ; tige cylindrique, lisse, creuse sauf aux nœuds. Feuilles alternes distique, simples et entières ; gaine arrondie, auriculée ; ligule membraneuse ; limbe linéaire, de 15-10 cm × 1-2 cm, à nervures parallèles, plat. Epi terminal distique de 4-18 cm de long, à épillets sessiles, solitaires sur un rachis en zigzag. Epillet de 10-15 mm de long, comprimé latéralement, à 3-9 fleurs bisexuées dont les 1-2 supérieures sont généralement rudimentaires. Fruit caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces, brune rougeâtre à jaune ou blanc (Céréale et les légumineuses). Les enveloppes sont épaisses sans transparences. Lors de passage entre les cylindriques, se prêtent particulièrement bien à la mouture. (Feillet, 2000)

1.3. Composition de grain de blé tendre :

L'examen histologique de cette graine permet de mieux comprendre la technique de transformation du blé en farine, mais aussi de bien situer la répartition des différents éléments nutritionnels et leur devenir dans les opérations de mouture et de tamisage des farines.

Le grain de blé en demi-coupe fait apparaître trois parties destinées :

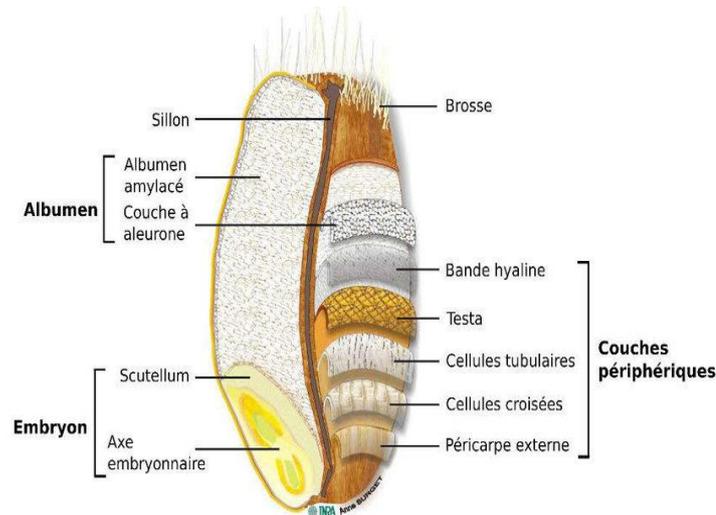


Figure 5. Anatomie du grain de blé tendre (researchgate, s.d.)

- **L'albumen** : constitué de l'album en amylicé (au sein duquel subsistent des cellules Remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois Cellulosique sont peu visible) et de la couche à aleurone (80-85% du grain).
- **Les enveloppes du grain** : formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, Tégument séminal ou testa (enveloppe du grain), cellules tubulaires, cellules croisées, Mésocarpe (13-17%).
- **Le germe** : (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.
- Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15%) et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants pondéralement mineurs (quelque % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines. (FEILLET, 2000)

Chapitre 2 : Farine complète et homogénéisation

Tableau 7. Composition chimique du grain de blé

Nature des composants	Teneur (%ms)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucre libre	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1,5-2,5

Source : Feillet, 2000.

1.4. Caractéristiques du grain de blé tendre :

Les caractéristiques les plus importantes pour la meunerie sont dans le tableau suivant :

Tableau 8. Caractéristiques de grain de blé tendre

Caractéristiques	Description
La force	Les blés atteignent les cours les plus élevés et sont les plus réputés parce qu'ils donnent des grains volumineux de bonne texture, et qui possèdent le plus haut point pouvoir d'absorption d'eau. Le meunier peut mélanger des blés de force à grande proportion de variétés plus faibles, pour avoir une farine de force moyenne.
La saveur	Ce n'est pas un facteur négligeable de la qualité. La saveur peut être modifiée par la présence de l'eau en teneurs élevée.
L'odeur	L'odeur spécifique du blé, c'est l'odeur de blé fraîchement récolté. Les cultures à l'odeur faible sont à peine perceptibles. Les cultures à parfum possèdent une odeur forte spécifique. La teneur élevée en eau et le mauvais conditionnement peut produire une odeur suspecte souvent désagréable.
Rendement en farine	<p>L'humidité :</p> <p>Les meuniers préfèrent les blés secs pour des raisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Faciliter de stockage ▪ Ils ont un meilleur rendement en farine <p>Forme du grain :</p> <p>Plus il est rond, plus la préparation d'amande est grande par rapport au son et plus la possibilité de rendement en farine est élevé.</p> <p>Dimensions des grains :</p> <p>Les grains de différentes dimensions de même épaisseur des enveloppes possèdent la portion d'amande la plus élevée par rapport au son.</p> <p>Adhérence de l'enveloppe à l'amande :</p> <p>Plus on pourra l'on détacher aisément au cours de la mouture, plus l'extraction de la farine sera élevée</p> <p>Pourcentage d'impuretés :</p> <p>Les meilleurs blés contiennent 0.5 à 2% d'impuretés.</p>

Source : Paul, 2007

1.5. Culture de blé, offre et consommation :

▪ Dans le monde :

Selon le Conseil International des Céréales (CIC), la production mondiale de blé tendre pour la campagne 2024/25 est estimée à 796 millions de tonnes, soit une légère baisse par rapport à la campagne précédente, principalement en raison d'une réduction des rendements attendus dans l'Union européenne, notamment en France et en Allemagne, en raison de conditions climatiques défavorables.

En parallèle, la consommation mondiale de blé tendre reste soutenue, portée par la demande alimentaire dans les pays en développement ainsi que par une consommation industrielle croissante.

D'après les dernières données de la FAO, la production mondiale de blé (toutes catégories confondues) s'élève à 795 millions de tonnes en 2024/25, tandis que la consommation est prévue à 791 millions de tonnes, soit un niveau proche de l'équilibre, traduisant une tension modérée sur les marchés internationaux.

Par ailleurs, les stocks mondiaux de blé devraient atteindre environ 311 millions de tonnes à la fin de la campagne, ce qui représente une baisse de 2 % par rapport à l'année précédente, confirmant une légère contraction des disponibilités globales. (CIC, 2024) (FAO, 2024)

▪ En Algérie :

En Algérie, les céréales demeurent la base de l'alimentation, avec une consommation moyenne estimée à 220 kg par habitant et par an. Le blé dur prédomine, occupant environ 43 % des surfaces céréalières, tandis que le blé tendre couvre près de 800 000 hectares. Malgré les efforts pour accroître la production nationale, celle-ci reste insuffisante pour satisfaire la demande intérieure. Selon les prévisions du Département américain de l'agriculture (USDA), la production totale de blé pour la campagne 2024/2025 est estimée à 3 millions de tonnes, cultivées sur un peu plus de deux millions d'hectares. (Musa, 2025) (AgriAlgerie, 2024)

Cette insuffisance de la production nationale conduit l'Algérie à recourir massivement aux importations. Pour la campagne 2023/2024, les importations de blé tendre sont estimées à 7,2 millions de tonnes, soit une augmentation de 11 % par rapport à la campagne précédente. (observalgerie, 2024) Cette tendance place l'Algérie au cinquième rang mondial des importateurs de blé tendre. Les importations totales de blé (tendre et dur) pour la campagne

2024/2025 sont prévues à 9 millions de tonnes métriques, après avoir atteint 9,4 millions de tonnes métriques lors de la campagne précédente. (Algérie-eco, 2024)

2. Définition et caractéristiques de la farine :

2.1. Définition réglementaire :

La farine de blé est le produit élaboré à partir des grains de blé ordinaire, *Triticum aestivum L.* ou blé ramifié, *Triticum compactum Host.*, ou tous mélanges de ces derniers, par procédés de mouture ou de broyage dans lesquels le son et le germe sont partiellement éliminés et le reste réduit en poudre suffisamment fine. (Codex Standard, 1985)

D'après le (Décret exécutif n° 91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain., 1992)

« La farine de panification est le produit de la mouture de graines de céréales aptes à la panification et préalablement nettoyées, sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des germes et enveloppes. »

« La farine complète est constituée de tous les éléments de la graine dont elle est issue dans les proportions où ils s'y trouvaient. »

- La teneur en eau doit-être $\leq 15 \%$
- L'indice de chute compris entre 180 et 280.
- Le W compris entre 130 et 180.
- Le P/L entre 0.45 et 0.65.
- L'indice de ZELENEY de 22 à 30.

La farine de blé tendre est constituée majoritairement de polymères glucidiques (amidon et pentosanes), d'eau, de protéines (hydrosolubles et insolubles), et de lipides. La farine ne comporte pas d'arômes volatils, mais les enzymes endogènes vont générer des précurseurs de composés d'arômes. (Boudreau & Ménard , 1992)

Tableau 9. Composition de la farine boulangère

Éléments	Teneur dans la farine
Eau	14 g / 100 g matière humide
Protéines	9 – 15 g / 100 g matière sèche
Fibres	1,5 – 2 g / 100 g matière sèche
Amidon	70 – 80 g / 100 g matière sèche
Lipides	1 – 2 g / 100 g matière sèche
Sels minéraux	0,5 g / 100 g matière sèche
Vitamines	0,0046 g / 100 g matière sèche

Source: Boudreau & Ménard , 1992

2.2. Composition chimique de la farine :

D'après Feillet (2000), la composition moyenne d'une farine est constituée de :

- **Amidon :**

Représente 65 à 70 % du poids total de la farine, c'est une forme de réserve des glucides chez les plantes. Il contient dans sa structure deux polymères : l'amylose et l'amylopectine. Ces molécules absorbent l'eau, et sous l'effet de la chaleur, elles forment un gel essentiel à la transformation de la farine.

- **Matières minérales :**

Représentant 0.45 à 0.60%, les teneurs en matières minérales sont peu importantes. La pureté de la farine se juge d'après sa teneur en résidu minéral. Les Matières minérales de la farine apparaissent après calcination, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Comme les matières minérales existent en plus grande quantité dans les enveloppes du blé, on conclut que moins il y a de cendres, plus que la farine est pure.

- **Les protéines :**

Elles se retrouvent dans l'endosperme (73 %), le son (19 %) et le germe (8 %). Elles représentent en général 11 à 13.5 %. Elles sont classées selon leurs solubilités en :

- Protéines hydrosolubles : principalement les albumines et les globulines (15 à 20 % des protéines totales).

- Protéines insolubles : (80 à 85 %) dans l'eau dont les gliadines (45 à 50 %) et les gluténines (55 à 60 %) qui forment le gluten.

- **Les lipides :**

Les lipides de la farine de blé tendre sont constitués de 23 classes de lipides saponifiables séparés en 3 groupes (lipides neutres, glycolipides et phospholipides) dont les proportions varient selon leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de l'amidon.

- **Les vitamines :**

Le blé contient une quantité appréciable de vitamines que l'on retrouve surtout dans le son et le germe. On retrouve les vitamines du groupe B avec une teneur d'environ 4.6 mg /kg de grain et la riboflavine avec 1.3 mg/kg. La mouture détruit une partie d'entre eux. Les vitamines C et D sont absentes du grain ; par contre le blé est riche en vitamine E qui peut agir comme agent antioxydant.

2.3. Caractéristiques des farines :

La farine est caractérisée principalement par trois indicateurs technologiques fondamentaux : le taux d'extraction, le taux de blutage et le taux de cendres. Ces paramètres permettent de définir la qualité technologique et nutritionnelle d'une farine, ainsi que son degré de pureté.

- **Le taux d'extraction :**

Est exprimé par le rapport « poids de farine extraite sur 100 Kg de blé mis en œuvre. Il représente donc la quantité de farine retirée de 100Kg de blé (Calvel, 1964). Plus il est élevé,

Plus il y a de risque que la farine contienne du son. La farine de faible taux d'extraction présente de meilleures caractéristiques organoleptiques (couleur plus claire, texture plus fine) et de meilleures performances technologiques, notamment pour la panification. (Cheftel, 1992)

- **Le taux de blutage :**

Représente la quantité de son et remoulage recueillis au cours de la mouture de 100 Kg de blé, Ce paramètre donne une indication sur la quantité de matières non panifiables séparées du produit fini, Il permet également d'estimer l'efficacité du processus de séparation entre les différentes fractions du grain, et influe indirectement sur la qualité nutritionnelle de la farine (Calvel, 1964)

- **Le taux de cendres :**

Chapitre 2 : Farine complète et homogénéisation

Le taux de cendres est un indicateur chimique. Exprime la pureté des farines et correspond à la quantité de minéraux, principalement contenus dans le son, et encore mélangés à la farine. Ces minéraux proviennent en majorité des couches externes du grain, en particulier du son. Ainsi, plus le taux de cendres est faible, plus la farine est considérée comme pure. Cet indice est largement utilisé dans les classements réglementaires des farines. (Boudreau & Ménard, 1992)

2.4. Propriétés physico-chimiques :

▪ Teneur en eau :

Le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage, et doit être inférieur ou égal à 15.5 %. (NA.1132-2008/ ISO 712)

▪ Teneur en cendre :

La détermination du taux de matières minérales, principalement réparties dans les enveloppes et les germes, qui donnent une indication sur le taux d'extraction pour le meunier (NA 733.7 1991/ ISO 2171)

▪ Taux de protéine :

La teneur en protéines, par son intérêt technologique et nutritionnel, est un élément de la valeur d'utilisation du blé.

▪ Acidité :

Les mauvaises conditions de conservation s'accompagnent par d'autres phénomènes : une dégradation enzymatique des lipides se traduisant par un accroissement de l'acidité du milieu, cette acidification constitue un indice d'altération de la qualité technologique.

Tableau 10. Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre

Caractéristique	Valeur
Teneur en eau (%)	$\leq 15,5$
Teneur en cendre (MS%)	0,56-0,67 (farine courante) < 0,6 (farine supérieure)
Teneur en protéines (MS%)	> 8
Acidité (g/L de H ₂ SO ₄)	0,045 - 0,05
Teneur en matière grasse (MS%)	< 1,4

Source: Feillet, 2000

2.5. Différents types de farine :

La classification des farines, est basée sur la teneur en cendres ou matières minérales. Du type 45 à 150, on passe de la farine la plus blanche (faible taux d'extraction en farine) à la plus « piquée », riche en enveloppes du grain (taux d'extraction en farine élevé). Cette différenciation est basée principalement sur la notion de pureté ou de blancheur, et ne correspond pas à une notion de valeur technologique même si le travail des pâtes est plus aisé avec des farines blanches qu'avec des farines bises et complètes. (Godon & Willam, (1998))

Tableau 11. Types de la farine de blé tendre

Type de farine	Nom commun	Quantité de farine pour 100 kg de blé	Taux de minéraux (%) (taux de cendres)	Utilisation
T 45	Farine supérieure	65 kg	Moins de 0,5	Pâtisserie ; viennoiserie
T 55	Farine blanche	75 kg	0,5 à 0,6	Pain courant ; biscottes
T 65	Farine bise	78 kg	0,62 à 0,75	Biscuiterie
T 80	Farine semi-complète	80 à 85 kg	0,75 à 0,90	Pains spéciaux
T 110	Farine complète	85 à 90 kg	1 à 1,20	Pains bis
T 150	Farine intégrale	90 à 98 kg	Plus de 1,4	Pains complets

Source: Godon & Willm, 1998

3. Son de blé :

3.1.Définition :

Le son de blé est l'un des sous-produits de la mouture sèche du blé tendre. Il se compose de couches extérieures du grain du blé avec une partie de l'albumen (couche d'aleurone et petite quantité de l'album en amylacée). Il représente 10 à 17% du blé moulu. (Hassan, 2008)

3.2.Composition de son du blé :

Le son de blé est principalement formé par les enveloppes et la couche à aleurone riches en glucides, cellulose, hémicellulose protéines. La couche interne du son, l'aleurone, est enlevée lors de la mouture et elle retrouve dans le son. (Peyron, 2003). Elle représente 6 à 7 % du poids du grain et contient des cellules riches en protéines et renferme des concentrations importantes de molécules d'intérêt nutritionnel, soit 40 % de minéraux et 20 % de protéines du son. Elle contient aussi d'autres composantes bioactives comme la lignine (phytoœstrogène) et les acides phénoliques.

Les enveloppes sont constituées de cellulose, hémicellulose (pentosane) et de lignine formée par un ensemble de monosaccharides dont la teneur est variable. Il s'agit d'une source de fibres alimentaires insolubles et d'acides phénoliques. Elles contiennent aussi des composés bioactifs comme la bêtaïne et la choline.

Les pentosanes sont des polysaccharides appartenant à deux familles : les arabinoxylanes et les arabinogalactanes. La cellulose est un homopolysaccharide cristallin, principalement retrouvé dans le péricarpe, mais absent dans la couche à aleurone. Les chaînes de celluloses confèrent aux parois du grain une résistance chimique et physique. (Pomeranz, 1988)

3.3.Composition physico-chimique du son de blé :

Le son de blé est très riche en fibres par rapport à la farine blanche. En effet, la teneur en fibre augmente du centre du grain vers les parois.

Chapitre 2 : Farine complète et homogénéisation

Désignation	Fibres totales %	Hémicelluloses (% des fibres)	Cellulose (% des fibres)	Lignine (% des fibres)
Farine blanche	3-4	80	19	1.0
Farine complète	12-15	74	20	6.0
Son fin	28-32	75	16	9.0
Gros son	40-50	74	18	7.0

Source: Feillet, 2000

Les parties périphériques du grain de blé représentent une source importante en minéraux. En effet, l'assise d'aleurone, représentant l'une des couches formant le son de blé, est très riche en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et en minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe).

Tableau 13. Teneur en minéraux et en vitamines du son de blé.

Minéraux (mg/100g de son)		Vitamines (mg)	
Potassium	1000-1500	Vitamine E	2-6
Magnésium	500-700	Vitamine B1	0.4-0.8
Calcium	100	Vitamine B2	0.1-0.2
Sodium	5-30	Vitamine PP	4-6
Zinc	10-50	Vitamine B6	0.5-1

Source: Feillet, 2000

Les protéines présentent 10 à 20% de la matière sèche du son de blé. Elles sont liées aux acides aminés aromatiques et aux arabinoxylanes. Ils se situent dans le cytoplasme des cellules aleurones. Les protéines du son de blé ont un rôle important dans la mise en place de la structure des parois. Le son contient aussi une faible quantité de lipides. On les trouve au niveau de l'épiderme sous forme d'une fine couche et au niveau de la testa sous forme de couches épaisses. Les lipides jouent un rôle important dans la résistance au stress biotique et abiotique. Ils représentent une barrière physico-chimique sélective au passage de nombreux composés. (Beaugrand, 2020).

4. Processus de transformation :

4.1.Objectif de la mouture :

L'objectif technologique de la mouture consiste à séparer l'amande farineuse du son et du germe puis à réduire l'amande en farine. Pour obtenir ce résultat, il faut que le blé soit industriellement pur (nécessité d'un nettoyage) et préparé d'une façon optimale (incorporation d'eau suivie d'un temps de repos adéquat ; et différenciation à faire pour le blé tendre : blé soft ; medium ; hard) (BOURSON, 2009).

4.2.Processus de transformation de blé tendre : (Calvel, 1980)

4.2.1. La réception de blé tendre :

L'unité de la minoterie reçoit la matière première (blé tendre) par des camions. Une fois que le grain arrive au moulin le service de réception effectue les opérations suivantes :

- Le contrôle du poids à son arrivé s'effectue au moyen d'un pont bascule automatique.
- Le déchargement du grain sur les trémies placées à proximité des cellules de stockage.
- Le contrôle de la qualité du grain par des analyses organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques.

4.2.2. Pré nettoyage

C'est une étape initiale avant le nettoyage proprement dit, qui permet d'éliminer certaines impuretés présentes dans le lot de blé réceptionné après le déchargement dans la trémie dans une grille retient la grosse impureté. Par la suite un séparateur nettoyeur aspirateur travaillant à fort débit pour éliminer les grosses et les fines impuretés.

4.2.3. Le nettoyage

Pour obtenir une bonne mouture du blé, il est nécessaire de retirer au préalable tous les éléments indésirables (cailloux, petits grains, céréales étrangères, etc.). Ces méthodes reposent sur l'utilisation de l'air ou d'un tamis et d'une circulation d'air (petites pierres, paille), ou encore sur un aimant (pour les particules métalliques). Suite à ce processus de purification, le blé est entreposé dans des silos.

4.2.4. Conditionnement

Le conditionnement joue un rôle crucial dans le processus de transformation du blé. Il s'agit de mouiller les grains de blé pour favoriser une répartition rapide de l'eau à travers l'albumen et

les enveloppes. L'objectif du conditionnement est d'altérer la structure physique du grain afin d'assurer une séparation optimale entre l'amande du grain et son enveloppe.

Le conditionnement se déroule en deux étapes:

- 1- Le mouillage est l'absorption de l'eau par le grain.
- 2- La répartition de l'eau absorbée à l'intérieur du grain, pendant le temps de repos.

4.2.5. Mouture de blé tendre

Le processus de mouture du blé consiste à transformer le grain en un produit final, la farine. Cette étape est effectuée à l'aide d'un ensemble d'appareils à cylindres et plansichters.

4.2.5.1. Broyage et tamisage

Le blé tendre est broyé par cisaillement à l'aide de cylindres du broyage dont la surface cannelée en vue de bien dégager l'albumen des enveloppes du grain, ces grains passent entre deux cylindres tournants à des vitesses différentes.

Les produits résultants du broyage sont ensuite tamisés. Cette opération, réalisée grâce à un plansichter, va permettre de les séparer et de classer en fonction de leur taille.

4.2.5.2. Le convertissage et le claquage

Le convertissage et le claquage permet la réduction des semoules et des fins obtenus lors du broyage et sont soumis à quatre ou cinq passages à travers des appareils à cylindre.

4.2.5.3. Le blutage et sassage

Le blutage est la première séparation du son de la farine, il se pratique dans des appareils de tamisage. Le sassage est une seconde opération de tamisage et de séparation des produits selon leur densité. Le sasseur doit séparer les particules de son et classer les semoules et les gruaux provenant des plansichters de façon à obtenir un produit propre à faible teneurs en cendres.

4.2.6. Tirage et ensachage du produit fini

- **L'emballage**

L'emballage constitue l'image du produit, il doit être conforme aux normes d'hygiène de santé et de sécurité, et doit refléter la qualité du produit.

- **Etiquetage**

La fiche informative du produit doit contenir tout renseignement utile (Slogan, appellation, poids et date limite de consommation ou autres informations concernant son utilisation).

4.2.7. Nature des produits de mouture

- **Farine** : elle est constituée par des particules d'amande très fines de blé résultant de sa Réduction.
- **Finotsetgrains** : ils viennent de différents passages d'appareils à cylindres, ils sont des produits vêtus similaires.
- **Issus** : représentent les particules et les fragments d'enveloppes des grains, on distingue des grains par les sons et les remoulages.
- **Son** : constitué par des enveloppes du grain, on distingue deux sortes de son qui sont son gros, son fin.
- **Remoulage** : ce sont des mélanges d'enveloppes plus au moins finement broyé, on trouve : le remoulage blanc et le remoulage bis. (Bourson, 2009)

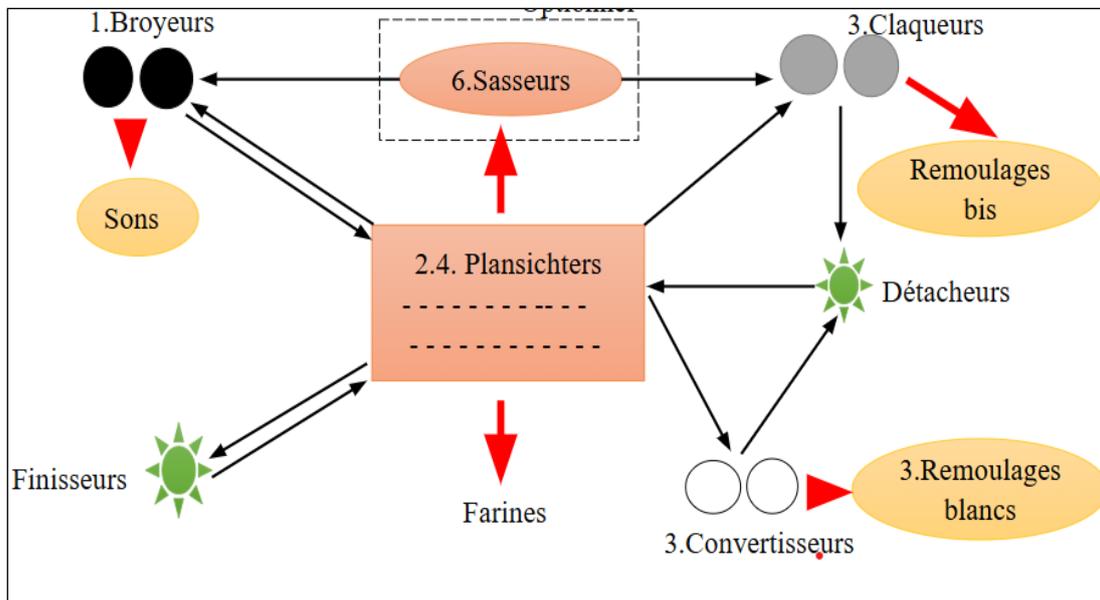


Figure 6. Schéma du principe de la mouture du blé tendre (Autran, 2000)

5. Exigences normatives relatives à l'homogénéité des produits agroalimentaires :

L'homogénéité des produits agroalimentaires, en particulier ceux composés d'éléments de tailles, densités ou textures différentes, représente un enjeu central dans la maîtrise de la qualité produit. Cette homogénéité est à la fois une exigence de conformité aux normes de qualité, un gage de sécurité sanitaire, et un critère de satisfaction client.

Les référentiels internationaux les plus couramment appliqués dans les industries agroalimentaires, tels que la norme ISO 9001 :2015 et la norme ISO 22000 :2018, imposent des exigences précises en matière de maîtrise des procédés, de surveillance des caractéristiques des produits et de conformité aux spécifications établies.

Selon la norme ISO 9001 :2015, la production doit être réalisée dans des conditions contrôlées qui garantissent la reproductibilité et la conformité du produit final (ISO, 2015, 8.5.1). Cela implique la mise en œuvre de moyens adaptés pour assurer la stabilité et l'uniformité des caractéristiques critiques du produit. Dans ce contexte, l'homogénéité devient un indicateur fondamental de la maîtrise des procédés, particulièrement lorsque des mélanges sont impliqués. De plus, la même norme souligne l'importance de l'identification, de la traçabilité et de la surveillance continue de ces caractéristiques tout au long du processus de production (8.5.2, 9.1.1).

Par ailleurs, la norme ISO 22000 :2018, qui régit les systèmes de management de la sécurité des denrées alimentaires, considère que toute variation non maîtrisée dans la composition ou la structure d'un produit est susceptible de compromettre sa sécurité ou sa conformité réglementaire. En effet, une mauvaise homogénéité peut engendrer des déséquilibres nutritionnels, des défauts fonctionnels ou technologiques, ou encore des erreurs dans l'étiquetage nutritionnel, notamment en ce qui concerne la teneur en fibres, matières sèches ou autres composants différenciés (ISO, 2018, 8.5.1 et 8.9).

Ces normes exigent donc la validation des étapes de transformation qui conditionnent la répartition des constituants dans le produit, y compris lors des phases de stockage, de transport interne ou de conditionnement.

6. Les enjeux de l'homogénéisation de la farine complète

6.1. Le mélange farine-son (farine complète)

La farine complète, issue de la mouture du grain entier de blé, se distingue par sa richesse en éléments nutritionnels essentiels grâce à la présence du son, de l'albumen et du germe dans des proportions naturelles.

Le son, en particulier, apporte une teneur élevée en fibres, minéraux (fer, magnésium, phosphore) et composés bioactifs aux propriétés antioxydants, ce qui confère à la farine complète des bénéfices reconnus pour la prévention des maladies chroniques telles que le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires et certains cancers.

En plus de ses qualités nutritionnelles, le son joue également un rôle bénéfique sur la santé digestive en améliorant le transit intestinal. Ces avantages font de la farine complète un ingrédient stratégique pour répondre aux enjeux de nutrition préventive et de formulation d'aliments plus sains. (Gómez, Gutkoski, & Bravo, 2020)

6.2. Problèmes liés à l'homogénéisation farine-son dans les farines complètes :

6.2.1. Déséquilibres physiques lors du stockage en silo

Dans l'industrie de la meunerie, la farine complète est souvent obtenue par recombinaison post-mouture de la farine blanche issue de l'endosperme avec les fractions de son et de germe.

Cette approche, bien qu'efficace pour atteindre les profils nutritionnels requis, présente des limites majeures en matière d'homogénéité, notamment lors du stockage en silo. En raison des différences de densité et de granulométrie entre la farine (fine) et le son (grossier), une séparation physique progressive s'observe au fil du temps. Cette stratification gravitationnelle, accentuée par les vibrations et les mouvements du silo, génère des variations importantes dans la composition des lots au moment de l'ensachage.

En pratique, les premiers sacs issus du fond du silo contiennent une proportion plus élevée de farine blanche, tandis que les derniers sont enrichis en son, ce qui entraîne des écarts significatifs de taux d'humidité et de cendre, mettant en péril la conformité du produit aux exigences normatives. (Cai, 2014) (Gómez, Gutkoski, & Bravo, 2020).

6.2.2. Effets de la taille des particules de son sur les propriétés technologiques

La granulométrie du son est un facteur critique dans la stabilité du mélange et dans les performances de panification. Des particules de son trop grosses désorganisent le réseau glutineux, compromettant l'élasticité de la pâte et réduisant le volume des pains. À l'inverse, une micronisation excessive du son augmente sa capacité d'absorption d'eau, ce qui peut durcir la mie et complexifier la gestion de l'hydratation durant le pétrissage (Bressiani, 2017). Les études comparant des farines complètes moulues intégralement à celles obtenues par recomposition montrent systématiquement que ces dernières présentent une qualité technologique inférieure, notamment en matière de développement de la pâte et de régularité de la structure. (Packkia-Doss, 2019)

6.2.3. Impact sur la formation du réseau glutineux et la rhéologie de la pâte

Une homogénéisation défailante impacte directement la structure et la stabilité du gluten. Le son, s'il est mal dispersé, agit comme une barrière physique et chimique à la réticulation du réseau glutineux, limitant la rétention gazeuse pendant la fermentation. Ceci affecte la texture finale du pain, sa hauteur, ainsi que sa densité. Par ailleurs, la présence non uniforme de fibres insolubles crée des déséquilibres hydriques dans la pâte, ce qui modifie son comportement rhéologique au pétrissage et à la cuisson. (Katina, 2006)

6.2.4. Variabilité du son et difficultés de standardisation

L'hétérogénéité intrinsèque du son influencée par la variété de blé, les conditions culturelles et le procédé de mouture complique la maîtrise de l'homogénéisation. Le pouvoir de gonflement, la teneur en fibres solubles et en composés phénoliques varient fortement d'un lot à l'autre, ce qui rend difficile l'établissement de protocoles standards de recomposition et de mélange. Cette instabilité constitue un obstacle à la production de farines complètes uniformes, tant sur le plan technologique que nutritionnel. (Noort, 2010)

6.3. Technologies d'homogénéisation en agroalimentaire

Tableau 14. Comparatif des Technologies d'homogénéisation

Technologie	Principe de fonctionnement	Avantages	Adaptation au problème de séparation farine-son
Mélangeur dynamique à vis verticale	Une vis centrale tourne lentement pour remonter le produit du bas vers le haut dans un silo ou une cuve.	Mélange continu, faible consommation d'énergie, réduit la ségrégation naturelle.	Parfait pour les silos : maintien homogène de farine et son pendant stockage et ensachage.
Mélangeur à ruban hélicoïdal	Un ruban en spirale tourne autour d'un axe horizontal, mélangeant le produit dans toute la cuve ou chambre de mélange.	Bon pour les poudres hétérogènes, faible cisaillement.	Peut être utilisé en amont de l'ensachage pour garantir l'uniformité des lots.
Fluidisation par air pulsé	Injection d'air à basse pression à la base du silo crée une turbulence douce qui empêche le tassement différentiel.	Sans pièces mobiles, bon pour les silos de grande capacité.	Évite la stratification farine-son pendant le stockage.
Mélangeur en ligne (tuyauterie)	Mélange mécanique ou pneumatique dans une conduite avant remplissage des silos ou avant ensachage.	Compact, précis, facile à intégrer dans une ligne existante.	Idéal pour recombinaison farine blanche et le son juste avant remplissage du silo ou de l'emballage.
Mélangeur à palettes rotatives	Bras équipés de palettes tournent dans une cuve, créant un mélange tridimensionnel rapide et homogène.	Très efficace, temps de mélange court.	Efficace pour recombinaison des lots farine-son en pré stockage ou juste avant production.
Agitateur central avec retour gravitaire	Le produit est remonté mécaniquement, puis retombe naturellement en cascade dans le silo.	Bon compromis pour les produits de densités variables.	Permet de maintenir l'uniformité dans le silo en fonctionnement cyclique.

Source : élaboré par l'étudiante.

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité :

1. Présentation de l'entreprise

Semoulerie Amour « SAM » est une entreprise agroalimentaire algérienne spécialisée dans la transformation des céréales. Son activité principale consiste à transformer le blé dur en semoule supérieure et le blé tendre en farine et fabriquer du couscous et des pâtes alimentaires.

- La première unité réalisée est spécialisée dans la production de la semoule d'une capacité de 200 Tonnes/ 24h.
- La seconde unité réalisée est spécialisée dans la production de la farine d'une capacité de 200 Tonnes/ 24h.
- En 2011 une autre unité a été réalisée. Cette dernière est spécialisée dans la production de couscous avec une capacité de transformation de 1800Kg/h.
- Récemment L'entreprise a lancé une nouvelle ligne de pâtes alimentaires en février 2025 avec une capacité de transformation de 2000 Kg/h.



Figure 7. Logo de la semoulerie Amour (SARL AMOUR, 2025)

1.1. Historique

La société semoulerie Amour de Mouzaia a été créée en Avril 2001 par les frères Amour, forts de leur expérience dans le domaine des conserves de fruits et légumes pendant plus de 20 ans, La SAM a étendu son activité en fabrication du Couscous en juillet 2012.

La SAM a été certifiée « ISO 22000 », par l'organisme de certification allemande reconnue à l'échelle mondiale TUV en juillet 2014 et elle a maintenu sa certification à ce jour.

1.2. Fiche d'identité

- **Nom** : SARL SEMOULERIE AMOUR
- **Société mère** : Groupe AMOUR
- **Siege Social** : Zone industrielle Amour Noureddine-Mouzaia Blida (Algérie)
- **Secteur** : Agro-alimentaire
- **Forme juridique** : Société à responsabilité limitée
- **Date de création** : 2000
- **Date de démarrage** : 2001
- **Inauguration de la nouvelle unité** : février 2025 pour les pâtes alimentaires.
- **Superficie totale** : 49 459 m²
- **Activité principale** : transformation des blés en farine et semoule, et de semoule en couscous et pâtes alimentaires et commercialisation.
- **Effectifs** : 260
- **Directeur** : Mr. Othman Amour
- **Téléphone** : +213(0) 25 24 81 22/23/24.
- **Fax** : 025 24 81 20
- **Email** : contact@semoulerieamour.com

Source : SARL AMOUR, 2025

1.3. Localisation de l'entreprise

Zone Industrielle Amour Noureddine, Mouzaia, Blida, Algérie.



Figure 8. Localisation de l'entreprise (Google Maps 2025)

1.4. Liste des produits

L'entreprise SAM propose une large gamme de produits céréaliers répondant aux différents besoins des consommateurs. Cette diversité est structurée autour de quatre grandes familles de produits : la semoule, la farine le couscous et les pâtes alimentaires.



Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Le tableau suivant présente l'ensemble de la gamme :

Tableau 15. Liste des produits alimentaires et leurs formats.

Type de Produit	Variété	Format Disponible(kg)			
Couscous	Fin	1	5	10	
	Moyen	1	5	10	
	Gros	1	5	10	
	complet	1			
Semoule	Fine	1	5	10	25
	Demi-Gros	1			
	Moyenne	1	5	10	25
Farine	Panifiable	5	25	50	
	Supérieure	1	5	10	
	Complète	1	5		
	Mix Farine/semoule	1			
Pâtes Alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Torsade, ▪ Escargot, ▪ Penne, ▪ Tube, ▪ Code (4,6) ▪ Vermicelle, ▪ Tiltli, ▪ Langue d'oiseux ▪ Trida 	500 g			

Source : élaboré par l'étudiante.

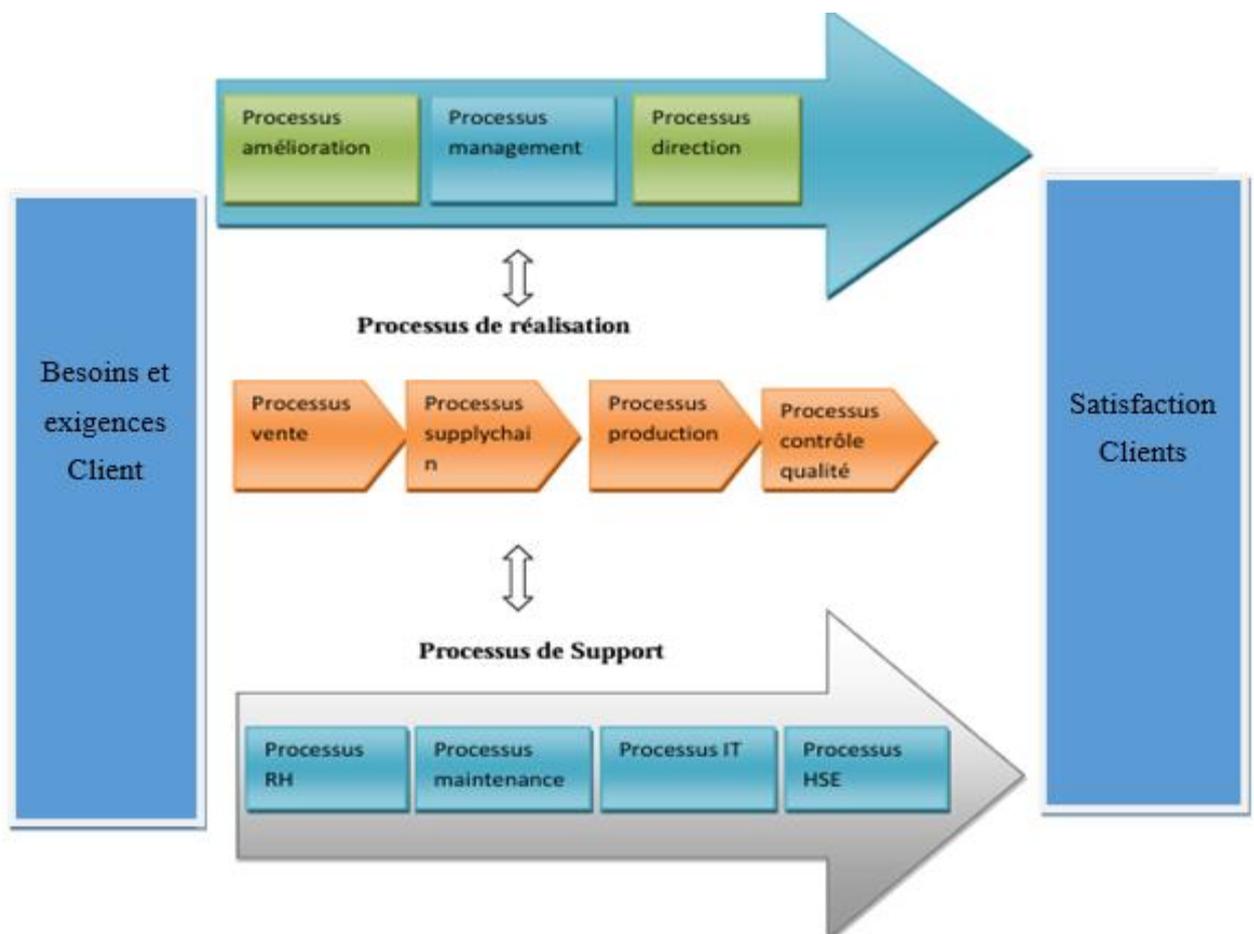
1.5. Cartographie des processus :

La cartographie des processus de SAM permet de représenter de manière structurée et visuelle l'organisation interne de notre entreprise. Elle distingue trois grandes catégories :

- Les processus de pilotage : définissent les orientations stratégiques, assurent le suivi des performances et pilotent l'amélioration continue du système.
- Les processus de réalisation : liés aux activités principales créant de la valeur pour le client, telles que la production de biens ou la fourniture de services.
- Les processus de support : assurent les fonctions de soutien nécessaires au bon fonctionnement de l'entreprise (ressources humaines, maintenance, informatique, etc.).

La figure ci-dessous illustre cette organisation selon une approche orientée client et intégrant les principes de l'amélioration continue.

Figure 9. Cartographie des processus de l'entreprise (SARL AMOUR 2025)



2. Méthodologie et problématique de la recherche

Dans le cadre de mon stage pratique effectué au sein du Semoulerie Amour Mouzaïa, une problématique liée à la qualité de la farine complète m'a été confiée par le Responsable Management Qualité (RMQ). En effet, l'entreprise est confrontée à un défaut d'homogénéité du produit fini, principalement dû à une répartition inégale du son dans le mélange final. Ce phénomène engendre des variations de composition, impactant directement la conformité du produit.

Une non-conformité a été observée visuellement sur le terrain, illustrant une dissociation partielle entre le son et la farine. En effet, la proportion de son est supérieure à celle de la farine, ce qui entraîne un manque d'homogénéisation du produit fini.



Figure 10. Exemple de cas de non-conformité liée à une mauvaise homogénéisation observée dans la semoulerie.

En complément de cette observation, un suivi mensuel du taux de cendres et du taux d'humidité a été réalisé sur la période depuis juin 2024 à mai 2025 basé sur des données internes de l'entreprise. Ces deux paramètres physico-chimiques constituent des indicateurs essentiels de la qualité du produit fini, car ils sont en lien direct avec la stabilité du mélange entre la farine et le son.

La figure ci-dessous présente l'évolution de ces valeurs sur 30 échantillons prélevés tout au long de la période. L'objectif de ce suivi est de mettre en évidence les éventuelles fluctuations, signes d'un manque d'homogénéisation.

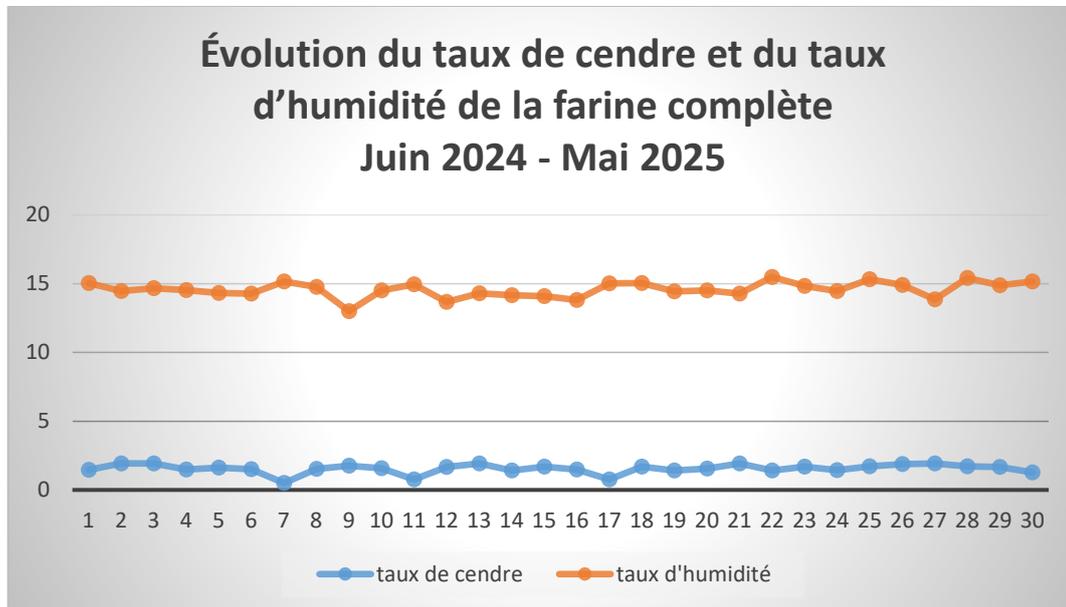


Figure 11. Evolution du taux de cendre et d'humidité (élaborée par l'étudiante).

L'analyse de l'évolution du taux de cendre et du taux d'humidité met en évidence des variations significatives, en particulier pour le taux de cendre, qui est entre 0,7 % et 1,5 %. Ces écarts traduisent une non-uniformité dans la composition de la farine complète, notamment en ce qui concerne la répartition du son. Cette instabilité confirme la présence d'un problème d'homogénéisation, cohérent avec les observations faites sur le terrain.

2.1. Problématique

Ces constats, à la fois visuels et analytiques, permettent de valider l'existence réelle et mesurable d'un écart qualité significatif, affectant la régularité du produit. Ils justifient ainsi l'engagement d'une démarche structurée d'analyse et d'amélioration et pour cette raison, que ladite entreprise nous a confié la mission de résoudre la problématique suivante :

« Comment améliorer l'homogénéité de la farine complète afin de garantir un produit stable, conforme et répondant aux exigences qualité, en s'appuyant sur une utilisation structurée des outils qualité dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue ? »

2.2. Objectifs du travail

À la lumière des constats établis sur le terrain et des données analytiques collectées, ce travail s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue visant à corriger une non-conformité structurelle affectant la qualité de la farine complète produite par la Semoulerie Amour.

L'objectif principal de cette étude est de proposer une solution technique et organisationnelle permettant d'améliorer l'homogénéité de la farine complète, en agissant sur la dissociation partielle observée entre la farine et le son. Il s'agit, plus globalement, d'assurer la régularité du produit fini, conformément aux exigences qualité internes et aux attentes des clients.

2.3. Méthodologie de la recherche

Dans une logique d'amélioration continue fondée sur l'approche processus, la présente étude adopte une méthodologie visant à analyser de manière systémique une non-conformité qualité observée sur un produit fini. La démarche repose sur une combinaison d'observations empiriques, d'analyses documentaires, de données techniques internes et sur l'utilisation structurée d'outils qualité. Elle a pour objectif de diagnostiquer les causes du dysfonctionnement, d'en évaluer la portée, et de proposer des axes d'amélioration cohérents avec les exigences du système de management de la qualité.

L'approche adoptée s'articule autour d'une succession d'étapes complémentaires, visant à permettre une compréhension approfondie du problème qualité dans son contexte opérationnel. Elle s'appuie sur l'analyse d'un cas réel observé dans l'environnement de production, sans perturber les activités en cours, en mobilisant les outils qualité comme leviers d'analyse, de structuration de l'information, et d'aide à la décision. Cette méthodologie est à la fois structurée et pragmatique, adaptée aux contraintes et aux réalités du terrain.

Afin d'atteindre l'objectif principal de ce travail, plusieurs objectifs opérationnels ont été poursuivis à travers la démarche méthodologique :

- Observer le déroulement du processus concerné à travers des visites sur le terrain et des échanges avec le personnel impliqué.
- Collecter les données techniques disponibles afin d'évaluer les variations de la qualité du produit fini.
- Utiliser des outils qualité accessibles, tels que le QQQCCP et le diagramme d'Ishikawa, pour organiser l'analyse du problème de manière structurée.

- Identifier les causes probables du défaut d'homogénéité, en les classant selon les principales catégories influentes ;
- Prioriser les facteurs de risque selon leur criticité dans le but de dégager des pistes d'amélioration cohérentes avec le contexte industriel étudié.

Dans une vision d'amélioration continue, la résolution de problèmes représente un levier méthodologique essentiel permettant de déterminer, comprendre et corriger les dysfonctionnements identifiés dans les organisations. Dans cette étude, elle a été utilisée comme démarche structurante pour analyser les données collectées à travers des entretiens, de l'observation sur terrain et l'analyse documentaire.

La sélection des outils qualité repose sur leur complémentarité, leur pertinence par rapport à la problématique étudiée, et leur capacité à structurer une démarche rigoureuse. Les outils suivants ont été mobilisés successivement, étape par étape :

Le QQQQCCP, outil de questionnement systématique, a été utilisé pour cadrer la situation de manière factuelle et identifier les éléments clés du contexte opérationnel.

- **Le diagramme de Ishikawa** : a permis de cartographier l'ensemble des causes potentielles selon les grandes familles d'influence (Main-d'œuvre, Méthodes, Milieu, Matières, Matériel) ;
- **L'AMDEC procédés** a été mise en œuvre afin d'évaluer la criticité des modes de défaillance potentiels à travers une grille structurée prenant en compte la gravité, la fréquence et la détectabilité ;
- **Le cycle PDCA** a servi de cadre conceptuel pour envisager une démarche d'amélioration continue de manière itérative, structurée en quatre phases : planification, exécution, vérification et ajustement.

Ces outils ont été utilisés de manière complémentaire, dans le respect des bonnes pratiques en matière d'analyse qualité, avec pour objectif de produire un diagnostic approfondi, documenté et exploitable.

2.4. Outils qualité mis en œuvre

2.4.1. Etape n°1. Identification de problème par le QQQQCCP

Face à une non-conformité liée à l'homogénéité de la farine complète, une analyse a été conduite à l'aide de l'outil QQQQCCP, afin de structurer la compréhension du problème et d'en poser les bases techniques. Il a permis de recueillir les faits de manière claire et précise, en s'appuyant sur les retours croisés du laboratoire qualité, de l'équipe de production et du responsables qualité.

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Chaque axe de questionnement a été exploré pour cerner l'origine et les manifestations du défaut. Le tableau 16 qui en résulte offre une synthèse opérationnelle et directement exploitable pour la suite de l'analyse.

Il constitue ainsi un point de départ essentiel pour approfondir les causes possibles du dysfonctionnement, guider les investigations futures, et définir les actions correctives à mettre en œuvre. Ce cadrage s'intègre pleinement dans une démarche de maîtrise de la qualité et d'amélioration continue.

Tableau 16. Déploiement du QQQQCCP (élaboré par l'étudiante)

QQQQCP Cadrer le problème	Processus control qualité	Date : 06 mai 2025
Donnée d'entrée	Non-conformité liée à une mauvaise homogénéisation de la farine complète.	
Qui ? Qui a constaté le problème d'homogénéité ? Qui est impacté par ce problème ?	Le problème d'homogénéité a été constaté par le laboratoire qualité.	
	Directement : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratoire qualité ▪ Clients 	Indirectement : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Service commercial ▪ Consommateurs finaux
Quoi ? Quel est exactement le problème ?	Défaut d'homogénéité dans le mélange farine - son dans le produit fini farine complète.	
Où ? À quel stade du processus le problème est-il observé ?	À la fin de la chaîne de production, lors du transfert du produit depuis les silos, on remarque un manque d'homogénéité avec une variation anormale du pourcentage de son et de farine.	
Quand ? Depuis quand ce problème est-il observé ? Est-il constant ou intermittent ? Est-ce lié à un changement de matière, de fournisseur, de machine ?	Le problème d'homogénéité est observé depuis le lancement du processus. Il est de nature variable, apparaissant de façon intermittente selon les lots. Aucune corrélation claire n'a encore été établie avec un changement de matière première, de fournisseur ou de machine.	
Comment ? Comment se manifeste le défaut ? Le mélange se déphase ? Quelle méthode de mélange est actuellement utilisée ?	Le défaut se traduit par un mélange non uniforme, avec un pourcentage déséquilibré de son et de farine selon les zones. Aucune méthode de mélange complémentaire n'est utilisée après le stockage de la farine et du son dans les silos.	
Combien ? Quelle est la fréquence du défaut	Le défaut survient parfois, mais se manifeste principalement après chaque démarrage et en fin de production.	
Pourquoi ? Pourquoi ce problème est-il important ?	Le défaut impacte la qualité réelle et perçue du produit, provoque des non-conformités clients et affecte la sécurité et les performances.	
Donnée de sortie	Le problème est causé par un manque d'homogénéisation dans les silos de stockage, entraînant une séparation entre la farine et le son.	

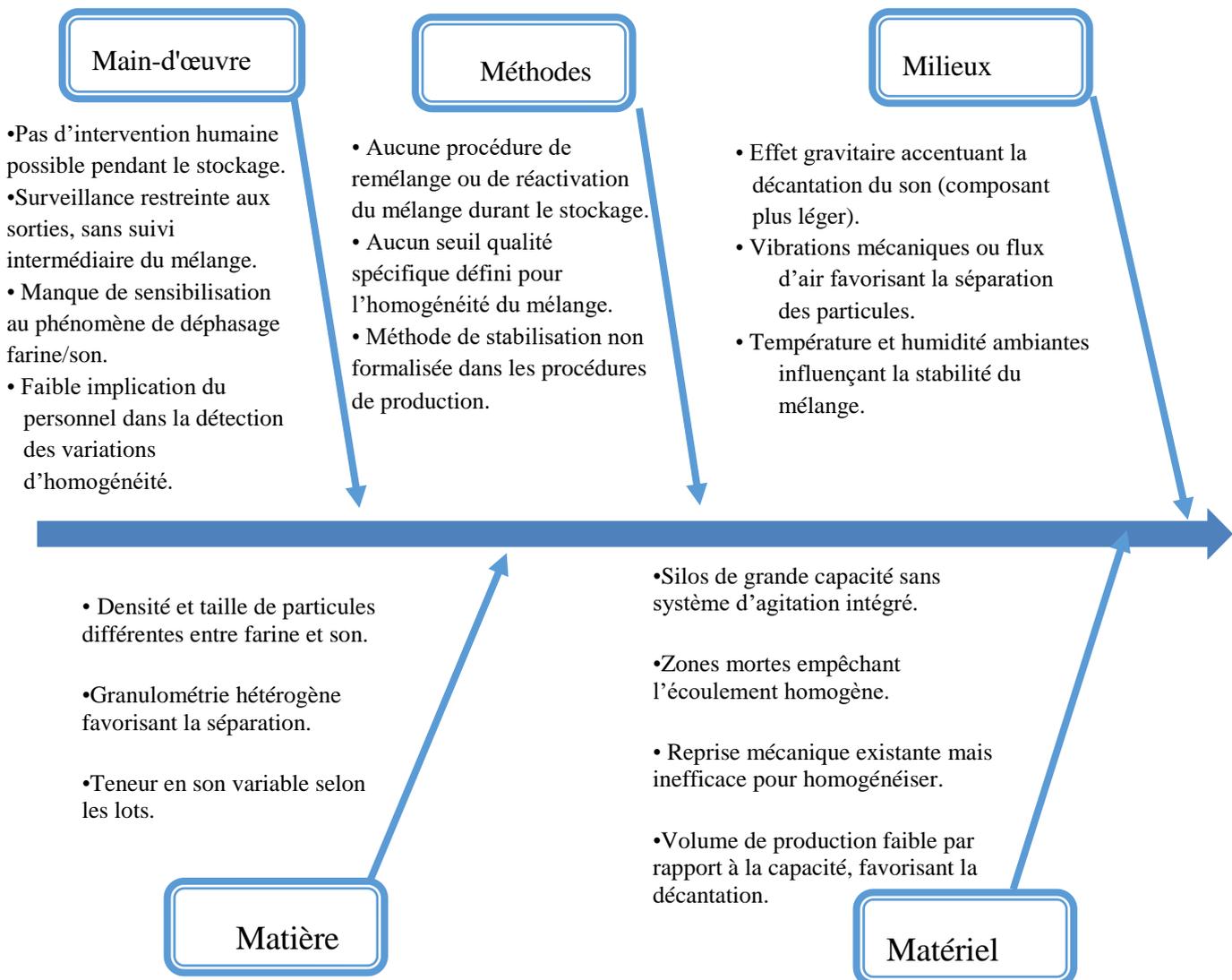
2.4.2. Etape n°2. Analyse des causes par diagramme d'Ishikawa 5M

Une fois le problème clairement défini à travers l'outil QQQCCP, il devient essentiel d'en analyser les causes potentielles afin d'envisager des actions correctives pertinentes. Dans cette optique, une analyse approfondie a été menée à l'aide du diagramme causes-effets. Cet outil est particulièrement adapté pour identifier, organiser et visualiser les causes possibles d'un dysfonctionnement en les structurant selon les cinq grandes catégories du modèle des 5M : Main-d'œuvre, Méthodes, Matériel, Milieu, Matière.

La démarche a débuté par une séance de brainstorming réunissant les membres des services qualité et production, dans le but de recueillir un maximum d'hypothèses sans jugement préalable. Ces idées ont ensuite été classées selon les 5M afin de structurer l'analyse et d'en faciliter l'interprétation.

Ce travail a permis de faire émerger plusieurs causes plausibles à l'origine à la non-homogénéisation de la farine complète. Parmi elles, on retrouve notamment l'absence d'un système de mélange dans les silos, l'inexistence de procédure de remélange, l'absence de surveillance humaine durant le stockage, ainsi que des caractéristiques physiques intrinsèques aux matières utilisées (notamment la différence de densité entre farine et son). Ces éléments sont détaillés dans la figure ci-dessous, catégorie par catégorie.

Diagramme d'Ishikawa :



Source : élaboré par l'étudiante.

Le recours au diagramme d'Ishikawa a permis de modéliser avec rigueur l'ensemble des causes susceptibles d'altérer l'homogénéité de la farine complète. Grâce à son approche systémique et sa structuration selon les axes des 5M, cet outil a mis en évidence la complexité intrinsèque du problème, mettant en évidence des défaillances à plusieurs niveaux du processus : équipements inadaptés, absence de protocoles de remélange, surveillance insuffisante, conditions environnementales instables et variabilité des caractéristiques matière.

Cette représentation graphique a non seulement facilité l'analyse croisée des interactions entre facteurs, mais elle a également permis de dégager une vision globale du déséquilibre qui affecte la stabilité du mélange. Elle montre que l'hétérogénéité constatée ne résulte pas d'une cause unique, mais d'un enchaînement de conditions défavorables, à la fois techniques, organisationnelles et physiques.

Le diagramme d'Ishikawa apporte ainsi une valeur ajoutée considérable à l'étape de diagnostic, en fournissant une cartographie précise des points critiques du processus. Il constitue un support analytique solide pour orienter les phases suivantes, notamment l'évaluation de criticité par l'outil AMDEC, en vue de cibler les leviers d'action prioritaires avec pertinence et efficacité.

2.4.3. Etape n°3. Analyse des risques par la méthode AMDEC

L'AMDEC est un outil d'analyse itérative de systèmes utilisée pour l'étude des causes de défaillances et de leurs effets, qui peuvent affecter ses composants. Il sert au concepteur de s'assurer que la définition du produit, du processus de fabrication et des moyens associés garantit l'aptitude de la solution technique envisagée à répondre aux besoins spécifiés.

2.4.3.1. Définition du périmètre de l'AMDEC

- **Type d'AMDEC :** AMDEC procédé (Process)

Nous avons mobilisé pour cette étude l'AMDEC procédé, car la défaillance majeure analysée est la perte d'homogénéité de la farine complète liée à la séparation entre le son et la farine qui se manifeste lors des opérations de stockage et de distribution, c'est-à-dire dans une étape du procédé et non dans la conception du produit ou de l'équipement. L'AMDEC produit aurait été pertinente si la recette de la farine ou ses composants posaient problème. De même, l'AMDEC conception n'était pas adaptée car il ne s'agissait pas ici d'un développement de nouvel outil mais de l'optimisation d'un procédé existant.

- **Objectif**

Identifier les causes de non homogénéisation du mélange farine/son, évaluer leur criticité, et proposer des actions correctives visant à maintenir une homogénéité optimale du produit fini.

- **Équipe AMDEC :** Responsable qualité, responsable maintenance, chef de production.

2.4.3.2. Décomposition du processus analysé

Le processus de stockage de la farine complète a été segmenté en trois étapes clés, chacune présentant des vulnérabilités spécifiques susceptibles de compromettre la stabilité du mélange farine/son. Ces phases ont été analysées à travers une approche systémique afin de mieux cerner les origines physiques et organisationnelles du défaut d'homogénéisation observé.

1. Remplissage du silo

Cette première phase correspond au transfert de la farine complète depuis la ligne de production vers les silos de stockage, par le biais de systèmes mécaniques et pneumatiques.

Durant cette étape dynamique, plusieurs mécanismes physiques peuvent induire une séparation précoce des fractions solides :

- Une vitesse de chute excessive lors du déversement engendre une classification granulométrique spontanée, où les particules fines et légères (son) restent en surface, tandis que les plus denses (farine) s'accumulent en fond de silo ;
- L'absence de dispositifs de diffusion ou de répartition (bras oscillant, vis orientable) limite la dispersion latérale du flux, créant des zones de dépôt localisées ;
- Des hauteurs de chute mal maîtrisées favorisent une sédimentation différentielle, responsable d'un profil de stratification difficilement réversible.

Un remplissage mal piloté constitue ainsi un facteur déclencheur critique d'hétérogénéité, souvent masqué à ce stade par l'aspect homogène du mélange en vrac.

2. Stockage dans le silo

Cette phase statique correspond à la période durant laquelle la farine complète demeure entreposée dans le silo, en attente de conditionnement. Plusieurs éléments structurels et organisationnels rendent cette étape propice à la désorganisation du mélange :

- Les silos de grande capacité (jusqu'à 80 tonnes) ne sont utilisés que partiellement (environ 8 tonnes en moyenne), ce qui amplifie les effets gravitationnels et perturbe la cohésion matière par flux d'air internes ou condensation ;
- Le temps de séjour observé est souvent trop court pour permettre une stabilisation naturelle du mélange. À l'inverse, il est insuffisant pour déclencher des mécanismes de tassement homogène ou de redistribution spontanée ;
- L'absence de tout système de brassage ou d'agitation interne (vis verticale, plateau tournant, etc.) ne permet pas de contrer les phénomènes de déphasage par densité ou granulométrie ;
- Aucune procédure de surveillance intermédiaire n'est mise en œuvre durant cette phase, ce qui empêche toute détection précoce d'une séparation progressive.

Dans ces conditions, la phase de stockage agit comme un amplificateur des déséquilibres initiaux, rendant le défaut d'homogénéité encore plus critique en aval.

3. Vidange/distribution

Cette phase finale consiste à extraire la farine complète depuis le fond du silo, en vue de son transfert vers les unités de conditionnement. Elle représente une étape stratégique et déterminante sur le plan technique, dans la mesure où elle conditionne directement la conformité du produit fini avant sa livraison au client.

Plusieurs constats problématiques ont été relevés à ce niveau :

- La vidange par gravité, réalisée sans système de redistribution ou d'agitation, engendre un écoulement déséquilibré caractérisé par le phénomène de "cône inversé", où la matière située au centre est extraite en priorité, au détriment des fractions périphériques, compromettant ainsi la représentativité globale du mélange.
- L'absence de dispositif de reprise homogène, tel qu'une vis sans fin ou un système mécanique d'agitation en fond de silo, empêche toute correction des déséquilibres physiques accumulés durant le stockage statique.
- Bien qu'un contrôle qualité soit effectué après la vidange, celui-ci n'est pas en temps réel, ce qui signifie que les écarts de granulométrie ou de teneur en fibres ne sont identifiés qu'à posteriori, lors d'analyses en laboratoire ou, dans le pire des cas, après que le produit a atteint le client.
- Ce défaut de régulation en boucle fermée entre l'extraction du produit et la validation qualité constitue un point critique dans le pilotage du processus, réduisant la capacité de réaction immédiate en cas de dérive.

En somme, cette étape revêt une importance critique dans la maîtrise de la qualité du produit final. Toute variation non détectée dans l'homogénéité du mélange peut conduire à des non-conformités externes, nuire au respect des exigences contractuelles et affecter négativement la perception du client et la réputation de l'entreprise.

2.4.3.3. Identification des modes de défaillance et effets

L'analyse fonctionnelle du processus de stockage et de distribution de la farine complète a permis d'identifier plusieurs modes de défaillance critiques, susceptibles de compromettre l'homogénéité du mélange farine/son à différents stades du procédé. Ces défaillances résultent d'une combinaison de phénomènes physiques, de limites structurelles et de lacunes organisationnelles, que l'AMDEC a permis de structurer de manière rigoureuse.

Les principaux modes de défaillance identifiés sont les suivants :

- **Stratification verticale du mélange farine/son**

- **Origine** : Différence de densité entre les composants, accentuée par une vitesse de chute excessive lors du remplissage.
- **Effets** : Constitution de couches distinctes dans le silo (son en surface, farine en profondeur), rendant impossible un prélèvement représentatif à la sortie.
- **Conséquences** : Déséquilibre en fibres, non-conformité aux spécifications, variabilité produit entre les sacs.
- **Séparation progressive pendant le stockage**
 - **Origine** : Absence de mouvement mécanique interne dans le silo ; flux d'air ou vibrations internes ; volumes de remplissage partiels amplifiant les effets gravitaires.
 - **Effets** : Sédimentation lente, non perceptible visuellement ; déphasage amplifié par la durée du séjour et la granulométrie différenciée.
 - **Conséquences** : Perte de cohésion du mélange ; rendu produit incohérent d'un lot à l'autre.
- **Vidange non homogène (effet de cône inversé)**
 - **Origine** : Vidange centrée sans redistribution latérale ; absence de système de reprise en fond de silo.
 - **Effets** : Extraction sélective de certaines fractions ; première matière vidangée non représentative de l'ensemble.
 - **Conséquences** : Produit final non conforme ; écarts de qualité non détectés avant expédition.
- **Variabilité des matières premières**
 - **Origine** : Teneur en son fluctuante entre les lots ; humidité irrégulière ; absence de normalisation du mélange en amont.
 - **Effets** : Modification du comportement du mélange selon la charge ; ségrégation plus ou moins marquée.
 - **Conséquences** : Difficulté à maintenir une qualité constante ; affaiblissement de la robustesse process.
- **Défaut de contrôle qualité en temps réel** :
 - **Origine** : Contrôle parfois limité à une analyse post-production en laboratoire.
 - **Effets** : Incapacité à détecter immédiatement les écarts ; absence de réaction en ligne.
 - **Conséquences** : Livraison de lots non conformes ; réclamations clients ; retours ou pertes financières.

2.4.3.4. Tableau AMDEC

Pour faciliter l'évaluation, nous avons utilisé une grille qui contient les principaux critères de l'analyse AMDEC avec des valeurs d'évaluation qui varient entre 1 jusqu'à 4. Ainsi, le facteur de criticité obtenu varie de 1 à 64.

Tableau 17. Grille d'évaluation

Critère valeur	Gravité	Fréquence	DéTECTABILITÉ
1	Effet mineur	Très rare	Détection très facile
2	Effet modéré	Peu fréquent	déTECTABLE par contrôle interne
3	Effet grave	Fréquent	difficilement déTECTABLE
4	Effet critique	Très fréquent	indéTECTABLE

Source : élaboré par l'étudiante.

DéTECTABILITÉ :

La valeur 1 est donnée pour les défaillances dont la détection est très facile à l'aide des moyens déjà en place ou grâce à l'observation directe des opérateurs, comme une variation visible de la densité de la farine, une texture non uniforme ou une couleur hétérogène à la sortie du silo.

Les problèmes ayant une valeur de 2 ou 3 sont déTECTABLES de manière plus difficile et nécessitent :

- La présence constante des opérateurs,
- Des moyens spécifiques de contrôle (test de tamisage, échantillonnage systématique),
- Ou la mise en place d'un système de contre-mesures visuel ou sensoriel.

Finalement, la valeur 4 est attribuée aux défaillances indéTECTABLES même avec des moyens techniques ou humains disponibles, notamment lorsque la séparation farine/son reste invisible jusqu'au conditionnement final.

Fréquence :

Le critère de fréquence est particulièrement difficile à évaluer avec précision, car nous ne disposons pas de données statistiques internes fiables. La fréquence est fortement liée aux

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

conditions d'exploitation des silos, à la conception technique des installations, et à la durée moyenne de stockage. Pour cette étude, nous avons donc estimé la fréquence en nous appuyant sur :

- Les observations d'opérateurs,
- Les remarques du service qualité,
- Et des entretiens informels avec les responsables de production.

Gravité :

L'échelle de gravité s'étend de 1 à 4. La valeur 1 est attribuée aux défaillances n'ayant aucun effet notable sur la qualité ou la conformité de la farine. La valeur 2 est réservée aux défauts mineurs qui affectent légèrement la qualité du mélange sans le rendre impropre à la consommation. La valeur 3 s'applique aux situations où le produit final devient non conforme (non homogène, à rejeter ou à reconditionner). Enfin, une gravité de 4 est attribuée aux défaillances critiques qui peuvent entraîner :

- Un rejet de lot complet,
- Une non-conformité aux normes de certification,
- Des réclamations clients répétées,
- Ou une atteinte à l'image de marque de l'entreprise.

À l'aide de cette grille d'évaluation, nous avons pu établir avec précision les cotations G, F, D nécessaires à la construction du tableau AMDEC de notre étude.

Tableau 18. Tableau AMDEC

Source : élaboré par l'étudiante.

	N°	Étape	Mode de défaillance	Effet potentiel	G	F	D	Criti (C = G×F×D)
A	1 2	Remplissage du silo	Stratification verticale farine/son	Couches distinctes, produit homogène	q3	33	22	11
B	1	Stockage dans le silo	Absence de mélangeur	Déphasage amplifié par densité	32	23	34	
C	1	Vidange/distribution	Effet de cône inversé à la vidange	Sortie inégale du produit (riche en son ou en farine)	3	3	3	11
	2		Défaut de contrôle qualité en temps réel	Écarts non détectés avant expédition	3	2	3	11

2.4.3.5. Interprétation de la criticité et codification AMDEC

L'interprétation des résultats de l'analyse AMDEC repose sur une classification des indices de criticité ($C = G \times F \times D$) en trois intervalles distincts, permettant de prioriser les actions correctives à mettre en place. Le tableau ci-dessous présente cette grille d'analyse, qui constitue une aide à la décision pour le pilotage des risques.

Tableau 19. Niveaux de criticité et priorités AMDEC

Intervalle de criticité	Niveau de priorité	Interprétation	Codes AMDEC associés
$C \leq 10$	Priorité mineure	Criticité négligeable : les modes de défaillance ayant une faible criticité ne posent généralement pas de problème majeur, mais ils ne doivent pas être négligés totalement.	
$10 < C \leq 20$	Priorité moyenne	Criticité tolérable : nécessite une étude complémentaire ou une action préventive ciblée. Requiert une analyse d'impact avant décision.	A1 ,C1 ,C2
$C > 20$	Priorité majeure	Criticité intolérable : exige une intervention rapide, des décisions structurées et un plan d'action correctif rigoureux.	B1

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Source : élaboré par l'étudiante.

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Tableau 20. Identification des défaillances critiques et mesures correctives

N°	Étape du processus	Mode de défaillance	Effet observé	Action corrective proposée	Type d'action	Responsable(s)
A1	Remplissage du silo	Stratification verticale farine/son	Couches distinctes, déséquilibre fibreux	-Installer un système de remplissage à diffusion contrôlée. -Réduire la hauteur et la vitesse de chute. - Réduire la densité apparente du son en agissant sur le taux de compactage ou d'humidité en amont.	Technique / Matière	Production / Qualité
B1	Stockage dans le silo	Absence de mélange dynamique	Sédimentation progressive non visible	-Installer une cuve mélangeuse post-silo pour homogénéiser le mélange avant conditionnement. - Étudier l'agitation passive (vibration douce, fond mobile).	Technique	Maintenance / Projet
C1	Vidange / distribution	Effet de cône inversé	Sortie non représentative (excès de son ou farine)	-Ajouter un système de reprise homogène (vis horizontale fond de silo). - Installer une cuve mélangeuse intermédiaire entre le silo et la ligne de conditionnement.	Technique / Matériel	Maintenance / Production
C2	Vidange / distribution	Défaut de contrôle qualité en temps réel	Détection trop tardive des écarts	-Mettre en place un système de contrôle en ligne (granulométrie, capteurs optiques, densité). -Augmenter la fréquence d'échantillonnage manuel à la sortie. -Élaborer un protocole de blocage automatique du lot en cas de non-conformité détectée.	Organisationnel (pilotage du procédé)	Qualité / Production

Source : élaboré par l'étudiante.

L'application rigoureuse de la méthode AMDEC au processus de stockage et de distribution de la farine complète a permis de cartographier de manière structurée l'ensemble des dysfonctionnements potentiels affectant l'homogénéité du mélange farine/son. En s'appuyant sur une décomposition fine des étapes critiques du procédé à savoir :

- Le remplissage des silos, le stockage statique et la vidange/distribution
- L'analyse a mis en évidence des défaillances systémiques, combinant à la fois des facteurs physiques (différences de densité, stratification, ségrégation), structurels (absence de brassage, défauts de conception des silos) et pilotage du procédé (contrôle qualité tardif, manque de surveillance en ligne, absence de retour d'information en temps réel).

Les modes de défaillance identifiés, tels que la stratification verticale du mélange, le phénomène de « cône inversé » à la vidange ou encore l'instabilité granulométrique induite par la variabilité des matières premières, ont été analysés selon leur gravité, fréquence et détectabilité, permettant une priorisation objective des risques à traiter. L'intérêt majeur de cette approche réside dans la formulation d'actions correctives concrètes, techniquement viables et économiquement adaptées au contexte de production. Parmi ces leviers d'optimisation, on peut citer :

- L'ajout d'une cuve mélangeuse post-silo, destinée à réhomogénéiser le mélange avant conditionnement, en compensant les effets de séparation accumulés durant le stockage
- La réduction de la densité apparente du son par un réglage granulométrique en amont, afin de limiter les différentiels de sédimentation à l'origine du déphasage matière ;
- La mise en place d'un système de contrôle qualité en ligne ou en quasi-temps réel, pour assurer une détection rapide des écarts critiques avant expédition.

Ces actions, intégrées dans une logique de maîtrise des procédés et d'amélioration continue (Kaizen, PDCA), visent à renforcer la robustesse opérationnelle de la ligne de production tout en assurant la conformité produit face aux exigences réglementaires, normatives et contractuelles.

Ainsi, l'AMDEC ne se limite pas à une simple cartographie des défaillances, mais constitue un véritable outil décisionnel stratégique, facilitant la mise en œuvre d'améliorations ciblées et durables. Elle contribue, à travers une gestion proactive des risques, à réduire les coûts de non-qualité, à fiabiliser la performance industrielle et à soutenir l'image de marque de l'entreprise dans un marché de plus en plus exigeant.

Tableau 21. Indicateurs de suivi recommandés

Indicateur	Objectif	Fréquence de mesure	Responsable
% de lots non conformes sur la teneur en fibres	Suivre l'efficacité des actions sur l'homogénéité finale	Hebdomadaire	Responsable Qualité
Nombre de réclamations clients liées à l'hétérogénéité	Mesurer l'impact externe de la variabilité produit	Mensuel	Service Client / Qualité
Taux de détection des écarts en ligne (vs post-analyse)	Vérifier la performance du contrôle en temps réel	Hebdomadaire	Responsable Contrôle qualité
Temps moyen de séjour des lots dans le silo	Contrôler la durée de stockage pour minimiser la décantation	Quotidien	Superviseur de production

Source : élaboré par l'étudiante.

2.4.4. Cycle PDCA

2.4.4.1. Étape 1. Planification de la solution technique :

Mélangeur post-silos

L'hétérogénéité observée dans la composition finale de la farine complète, notamment en ce qui concerne la répartition irrégulière du son et de la farine fine, nécessite la mise en place d'une action corrective en amont de l'ensachage. Afin d'améliorer la qualité des lots produits et de stabiliser les paramètres analytiques (taux de fibres, d'humidité et de cendres), la planification a porté sur l'introduction d'un mélangeur post-silos dans la ligne de conditionnement.

2.4.4.1.1. Objectif de l'action planifiée

L'objectif est de garantir une homogénéité optimale du mélange farine-son avant le conditionnement, par un mélange dynamique contrôlé, visant à :

- Assurer une répartition uniforme des composants, quelle que soit la densité ou la granulométrie.
- Réduire les variations de composition d'un sac à l'autre.
- Optimiser la conformité aux normes qualité en vigueur.

2.4.4.1.2. Détails techniques de la solution proposée

Le modèle retenu est un mélangeur horizontal à double ruban hélicoïdal (ribbon mixer), conçu pour le traitement de matières pulvérulentes à faible cohésion, telles que les mélanges farine-son. Il est particulièrement adapté aux contextes où une homogénéité rapide et efficace est requise.

- ❖ Modèle : WSX-350
- ❖ Capacité par cycle : environ 2 tonnes
- ❖ Débit estimé : 350 kg / 8 minutes
- ❖ Puissance moteur : 5,5 kW
- ❖ Matériau : acier au carbone /inox .
- ❖ Vitesse de rotation : 46 tours/min
- ❖ Origine : Zhengzhou Runxiang Machinery Equipment (Chine)



Figure 12.mélangeur post-silo



Figure 13.mélangeur à ruban horizontal



Figure 14.mélangeur hélicoïdal

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Ce type de mélangeur fonctionne grâce à un système d'agitation à double hélice (une vis intérieure poussant le produit vers l'extérieur, une vis extérieure le ramenant vers le centre), ce qui génère un flux convectif transversal très efficace. Cette configuration permet de réduire le temps de mélange à quelques minutes seulement tout en assurant une excellente homogénéité.

2.4.4.1.3. Intégration dans le processus existant

L'installation du mélangeur est prévue en sortie de silo, juste avant l'ensacheuse. Le produit, après être gravitairement transféré depuis le fond du silo, sera dirigé vers une trémie d'alimentation du mélangeur. Une fois homogénéisé, le mélange est transféré vers le système d'ensachage via un convoyeur incliné ou une vis d'extraction.

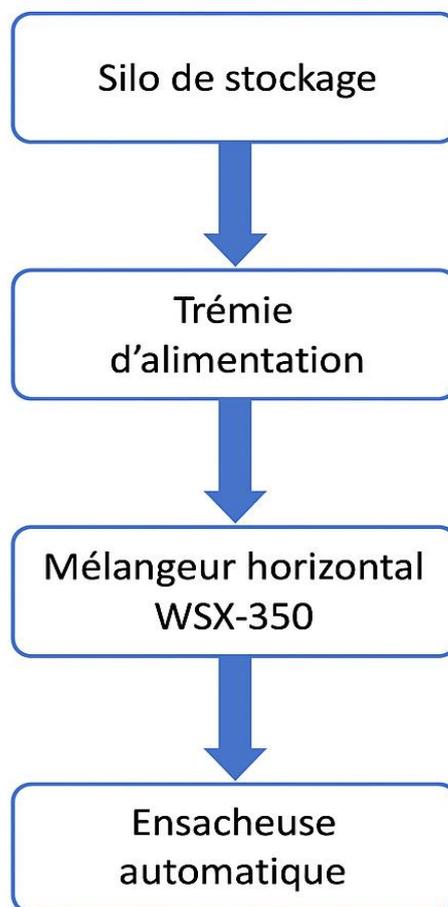


Figure 15. Diagramme de positionnement du mélangeur dans la chaîne de production.

Source : élaboré par l'étudiante.

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

Cette solution ne nécessite pas de modification majeure du schéma de production existant, mais un simple raccordement structurel entre la sortie du silo et l'entrée du mélangeur.

2. 4.4.1.4. Impact attendu :

La mise en place du mélangeur permet :

- Une réduction des écarts entre lots, améliorant la conformité aux spécifications produits.
- Une meilleure fiabilité des résultats analytiques (taux de cendres, humidité, fibres).
- Une valorisation du produit par une constance visuelle et nutritionnelle.
- Une meilleure image qualité auprès des distributeurs et des consommateurs.

2.4.4.1.5. Estimation budgétaire

Selon le devis reçu de la société Zhengzhou Runxiang Machinery Equipment en juin 2025, le coût du mélangeur WSX-350 est de **537 300 DZD** en EXW (hors transport et installation). À cela s'ajoutent des frais estimatifs de :

Tableau 22. Estimation des coûts associés à l'installation du mélangeur.

Poste de dépense	Montant estimé (DZD)
Achat du mélangeur	537 300
Transport international + dédouanement	162 000
Installation & mise en service	67 500
Total estimé	766 800 DZD

Source : élaboré par l'étudiante.

2.4.4.16. Freins à la mise en œuvre

Malgré les avantages indéniables de cette solution, le budget nécessaire à son acquisition n'a pas pu être validé à ce stade. Les contraintes financières actuelles de l'entreprise ne permettent pas d'engager cette dépense à court terme, notamment en raison de la priorisation d'autres investissements techniques.

En l'absence de financement immédiat, une mesure transitoire a été mise en œuvre : la réduction de la densité apparente du son. Cet ajustement consiste à modifier légèrement le broyage des fractions de son en amont, dans le but de rapprocher sa densité de celle de la farine. Bien que

cette solution n'égalise pas l'efficacité d'un mélangeur dynamique, elle permet de limiter partiellement la stratification lors du stockage en silos et de stabiliser la qualité des lots dans une certaine mesure.

2.4.4.2. Étape 2 : Do – Mise en œuvre de l'action planifiée

En raison de l'absence de budget disponible pour l'acquisition immédiate d'un mélangeur post-silos, une mesure transitoire à faible coût a été mise en œuvre dans le but d'atténuer le phénomène de stratification gravitationnelle des composants de la farine complète dans les silos. Cette action correctrice consiste à intervenir en amont, sur le procédé de broyage du son, afin d'en modifier la densité apparente. L'objectif recherché est de réduire l'écart de densité entre le son et la farine, pour limiter la tendance naturelle à la séparation pendant le stockage vertical.

Actions techniques concrètes déployées :

- Ajustement de la granulométrie du son : modification des grilles de tamisage dans l'unité de broyage, avec adoption de tamis à mailles plus fines.
- Réglage ciblé des cylindres secondaires : réduction de l'écartement et du niveau de compression afin de produire un son plus fin, à structure moins fibreuse et donc plus homogène au mélange.
- Mise en place d'un système de suivi en ligne : surveillance en temps réel de la répartition son/farine via des échantillonnages dynamiques pendant le remplissage et la vidange des silos.

Cette mesure a été appliquée sur deux séries de production hebdomadaires, avec un suivi quotidien des paramètres qualité sur les produits finis (sacs de farine complète de 1kg). L'intervention visait à analyser l'effet réel de l'ajustement de la densité du son sur la stabilité du mélange pendant les cycles complets de stockage.

2.4.4.3. Étape 3 : Check – Vérification des résultats :

Afin d'évaluer plus précisément l'impact de la modification du broyage sur la structure physique du son contenu dans la farine complète, une analyse granulométrique a été menée en laboratoire à l'aide d'un tamiseur mécanique normalisé. Pour cette étude comparative, 100 grammes de farine complète ont été prélevés sur d'anciens lots, puis sur des lots issus de la nouvelle configuration de broyage. Les échantillons ont été soumis à un tamisage vibratoire multi-étages, réalisé avec un équipement conforme aux normes, permettant de séparer les fractions selon leur taille particulière.

L'objectif était d'isoler la fraction de son afin d'analyser ses caractéristiques dimensionnelles. Après séparation, les particules de son ont été mesurées à l'aide d'un micromètre électronique de précision, afin de quantifier leur épaisseur moyenne.



Figure 17. Micromètre



Figure 16. Tamis de laboratoire

Les résultats obtenus montrent une différence notable entre les deux séries : les anciens lots présentaient une épaisseur moyenne de 4,310 mm, tandis que les nouveaux lots affichaient une valeur réduite à 2,850 mm.

Cette réduction significative de la taille des particules confirme l'efficacité du nouveau réglage de broyage dans l'obtention d'un son plus fin et plus homogène, condition préalable à une meilleure stabilité du mélange en silo.

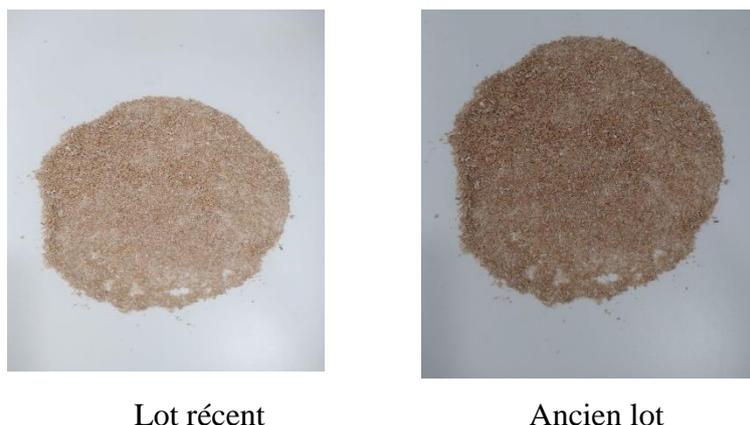


Figure 18. Comparaison visuelle des fractions de son après tamisage

- a) Échantillon issu d'un ancien lot de farine complète (granulométrie plus grossière, particules de son épaisses).
- b) Échantillon issu d'un lot récent, traité selon le nouveau réglage de broyage (granulométrie plus fine, structure plus homogène).

Tableau 23. Comparaison des caractéristiques dimensionnelles du son – avant et après modification du broyage

Paramètre mesuré	Ancien lot	Lot récent	Variation (%)
Épaisseur moyenne des particules (mm)	4,310	2,850	33,9 %
Homogénéité visuelle (observation)	Faible	Bonne	—

La comparaison entre les deux lots met en évidence une amélioration nette de la finesse du son obtenu après modification du procédé de broyage. Cette évolution, mesurée à la fois de manière visuelle (Figure 15) et dimensionnelle (épaisseur au micromètre), démontre l'effet direct de l'ajustement des paramètres mécaniques sur la qualité de la fraction fibreuse. En réduisant la granulométrie du son, on diminue sa densité spécifique et donc sa tendance à se séparer de la farine blanche sous l'effet de la gravité lors du stockage vertical.

Les résultats obtenus confirment ainsi l'hypothèse initiale selon laquelle l'hétérogénéité des lots de farine complète provenait en grande partie d'un déséquilibre de densité entre les composants. Le nouveau réglage permet une recombinaison plus stable des particules, notamment durant le remplissage et la vidange des silos.

Par ailleurs, les mesures analytiques complémentaires (teneur en cendres, fibres totales et humidité) menées sur les sacs ensachés issus de ces lots montrent une réduction notable de la variabilité inter-lots, traduisant une meilleure homogénéité globale du produit fini.

- Ces résultats validés permettront d'étayer la décision d'investissement dans une solution technique définitive (mélangeur post-silos), en démontrant le lien entre ajustements physiques en amont et performances qualitatives en aval.

2.4.4.4. Étape 4 Act – Ajustement et perspectives

L'analyse des résultats obtenus au cours de la phase de vérification a permis de tirer des enseignements concrets sur l'efficacité de la mesure transitoire appliquée en amont du conditionnement. Bien que cette solution alternative fondée sur l'ajustement de la granulométrie du son ait permis une réduction significative de la variabilité entre lots, elle ne permet pas de garantir, à elle seule, une homogénéité optimale du mélange farine-son sur l'ensemble de la chaîne de production.

- Capitalisation sur les résultats positifs

Les observations recueillies lors du suivi qualité (paramètres analytiques et homogénéité visuelle) démontrent une amélioration réelle de la stabilité du produit fini, confirmant la pertinence de la démarche corrective entreprise. En particulier, la réduction de l'épaisseur des particules de son a conduit à un meilleur équilibre gravitationnel entre les constituants, réduisant ainsi les effets de séparation dans les silos.

Ces résultats constituent un levier d'appui stratégique pour argumenter l'investissement futur dans une solution plus robuste, et pour asseoir une démarche d'amélioration continue structurée au sein de l'entreprise.

- Limites et ajustements à considérer :

Cependant, plusieurs limites ont été identifiées et nécessitent une prise en compte dans la suite de la démarche :

- Le processus reste fortement opérateur-dépendant, notamment en ce qui concerne les réglages des équipements de broyage.
- La solution actuelle n'intègre aucun système de mélange post-stockage, laissant persister des risques de recombinaison lors du transfert vers l'ensacheuse.
- L'efficacité de l'approche est sensible aux variations de débit, aux vibrations mécaniques et à la durée de stockage, qui ne peuvent être maîtrisées de manière constante.

- Décision stratégique et perspectives :

Au regard des éléments précédents, il a été décidé de maintenir provisoirement la solution transitoire, tout en mettant en œuvre des actions complémentaires de formalisation et de pilotage qualité, notamment :

- L'introduction d'une fiche de contrôle spécifique à l'homogénéité du produit fini, intégrée au poste d'ensachage, afin de garantir un suivi systématique des lots à risque.
- La rédaction d'un protocole opératoire standardisé (SOP) pour le réglage du broyage, destiné à limiter les écarts de performance liés aux facteurs humains.
- L'organisation de séances de formation ciblées pour les opérateurs impliqués dans la conduite de la ligne.

En parallèle, les données issues de cette expérimentation seront utilisées pour étayer un dossier technique et financier, à présenter lors de la prochaine réunion de planification budgétaire. Ce dossier mettra en évidence :

- Le lien démontré entre ajustements mécaniques et qualité produit,
- Le retour sur investissement estimé en termes de conformité, satisfaction client et réduction des rebuts,
- La nécessité d'une solution structurelle, à savoir l'intégration d'un mélangeur post-silos, comme levier de stabilisation durable de la qualité.

La mise en œuvre du cycle PDCA appliqué à la problématique d'hétérogénéité de la farine complète dans le processus de conditionnement a permis de structurer la démarche d'amélioration continue de manière rigoureuse et progressive. Chaque étape de la planification à l'évaluation des résultats a contribué à objectiver les choix techniques et à construire une réponse adaptée aux contraintes réelles de l'entreprise. Cependant, la phase de planification a mis en évidence la nécessité d'un mélangeur post-silos pour assurer une homogénéité optimale du produit, tandis que la phase d'action (Do) a permis de tester une solution transitoire à moindre coût, centrée sur la réduction de la densité du son par ajustement de broyage. En outre, L'évaluation des résultats (Check) a montré une amélioration tangible de la stabilité des lots, tant au niveau visuel qu'analytique, confirmant la pertinence de l'intervention. Enfin, la phase d'ajustement (Act) a permis de formaliser les acquis, d'identifier les limites de la solution

Chapitre 03. Mise en œuvre des outils qualité pour résoudre un problème d'homogénéité

actuelle, et de définir un cap stratégique clair : le renforcement progressif de la maîtrise de l'homogénéité par un investissement ciblé.

Cette approche structurée a permis de transformer une problématique technique en opportunité d'amélioration, en s'appuyant sur des données objectives et reproductibles. Elle illustre pleinement l'intérêt de la démarche PDCA dans un contexte industriel réel, en tant qu'outil de pilotage qualité, mais également comme levier de décision stratégique au service de la performance globale de l'entreprise.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'améliorer l'homogénéité de la farine complète produite par la société Semoulerie Amour. Il s'agissait de garantir la qualité, la stabilité et la conformité du produit fini en proposant une solution technique associée à un pilotage adapté du procédé. Cette solution vise à limiter la dissociation partielle observée entre la farine et le son. L'enjeu est d'assurer la régularité du produit fini, conformément aux exigences qualité internes et aux attentes des clients.

Notre étude de cas met en exergue l'apport des outils de la qualité dans la résolution de problèmes techniques concrets en industrie agroalimentaire.

Notre travail nous a amené à puiser dans la littérature abordant les concepts liés à l'amélioration continue, tout en mettant en évidence les démarches et outils permettant d'identifier, analyser et résoudre les problèmes qualité. Ainsi, que celle se rapportant aux caractéristiques du grain de blé, de la composition de la farine complète et des défis liés à son homogénéisation.

L'étude a révélé que la principale origine des hétérogénéités constatées dans les lots de farine complète réside dans la séparation gravitationnelle entre le son et la farine fine lors du stockage en silos. Pour pallier ce phénomène, nous avons adopté une méthode basée sur deux phases complémentaires : un diagnostic initial basé sur les outils d'analyse des causes (QQOQCP, diagramme d'Ishikawa et AMDEC procédé), suivi de la mise en œuvre du cycle PDCA pour tester une solution transitoire.

Ainsi, notre travail nous a permis d'obtenir des résultats significatifs : l'épaisseur moyenne des particules de son a été réduite de 4,310 mm à 2,850 mm, soit une amélioration de 33,9 %, favorisant une meilleure intégration des composants dans le mélange final. Cette amélioration s'est manifestée d'une réduction notable de la variabilité analytique des produits finis et d'une plus grande régularité d'un lot à l'autre

Toutefois, la solution transitoire présente des limites intrinsèques, notamment sa dépendance à la stabilité des réglages de broyage et aux conditions de stockage. C'est pourquoi une proposition d'investissement dans un mélangeur post-silos a été formulée, permettant une homogénéisation dynamique, plus fiable et durable. Cette orientation ouvre des perspectives concrètes d'optimisation structurelle du procédé, en lien avec les exigences d'un système de management de la qualité (type ISO 9001 / ISO 22000).

Ces résultats permettent de répondre à la problématique de notre recherche en identifiant un moyen d'améliorer l'homogénéité de la farine complète, afin de garantir un produit stable, conforme et répondant aux exigences qualité, grâce à une utilisation structurée des outils qualité dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue.

Quant aux hypothèses de notre recherche, l'analyse du processus a permis de valider les hypothèses formulées au début de l'étude. La première hypothèse (H1) est confirmée : la différence de densité et de granulométrie entre le son et la farine blanche constitue un élément déterminant dans la séparation gravitationnelle observée lors du stockage en silos, expliquant l'hétérogénéité des lots de farine complète. La deuxième hypothèse (H2) est également vérifiée : l'ajustement du broyage du son, en réduisant la taille des particules, a permis de limiter les écarts de densité et d'améliorer significativement la stabilité du mélange, ce qui s'est traduit par une bonne homogénéité du produit fini.

Enfin, la troisième hypothèse (H3) est appuyée par les résultats de l'analyse et des solutions techniques : l'intégration d'un mélangeur post-silos constitue une réponse durable pour maîtriser l'homogénéisation. Ainsi, les hypothèses ont été validées, apportant des réponses concrètes à la problématique initiale et ouvrant des perspectives d'optimisation durable du procédé.

En somme, ce travail illustre comment une problématique technologique peut-être maîtrisée grâce à l'application rigoureuse des outils qualité, dans une logique d'amélioration continue. Il constitue pour l'entreprise une base solide pour renforcer la performance de son processus de fabrication, tout en répondant aux attentes croissantes du marché en matière de constance du produit, de valeur nutritionnelle et de traçabilité.

Toutefois, la principale limite de ce travail réside dans la contrainte de temps, qui n'a pas permis de suivre de manière approfondie les effets à long terme de la solution transitoire appliquée (ajustement de la densité du son). De plus, l'impact réel de la solution définitive proposée, à savoir l'intégration d'un mélangeur post-silos, n'a pas pu être évalué concrètement. Enfin, l'accès partiel aux documents internes de l'entreprise a restreint la portée de certaines analyses techniques. Ces limites ouvrent des perspectives pour des études complémentaires, visant à valider durablement les résultats obtenus et à approfondir l'optimisation du procédé.

Références Bibliographiques

Bibliographie

- Agri Algérie. (2024). Blé : L'Algérie va dépasser le Maroc avec une récolte record. Récupéré de : <https://www.agrialgerie.com/ble-algerie-depasse-le-maroc-recolte-record>.
- Algérie-Eco. (2024). Algérie : les prévisions de production, d'importation et de consommation de céréales. Consulté le 13 mai 2025. <https://www.algerie-eco.com/2024/10/08/algerie-les-previsions-de-production-dimportation-et-de-consommation-de-cereales>
- Amélioration Continue. (S.d.). Consulté le 29 avril 2025. <https://www.managersenmission.com/management-de-transition/expertises/amelioration-continue>.
- Armand, B. (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation.
- Azzabi, L. (2012). Contribution à l'amélioration d'un système de production (Thèse de doctorat). Université d'Angers, France.
- Beaugrand, J. (2020). Bases cytologiques et moléculaires de la dégradation enzymatique du son de blé tendre (Thèse de doctorat). Université de Reims Champagne-Ardenne.
- Benmehdi, S. (2021). La contribution de Management de la qualité dans la Gestion des risques. *Advanced Research in Economics and Business Strategy*.
- Boudreau, A., & Ménard, G. (1992). Le blé : qualité, post-récolte.
- Bourson, Y. (2009). Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine. Éditions Techniques de l'Ingénieur.
- Bouzourine, I., Feknous, M., & Mougafi, A. (2022). Outils d'amélioration continue de la qualité en industrie pharmaceutique (Thèse de doctorat). Université Saâd Dahlab - Blida 1.
- Bressiani, J. O. (2017). Effect of the whole wheat flour characteristics on the quality of whole wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*.
- Cai, L., Chen, N., Kong, K., & Kim, Y. (2014). Influence of Bran Particle Size on Bread-Baking Quality of Whole Grain Wheat. *Cereal Chemistry*.
- Calvel, R. (1964). *Traité de boulangerie moderne*. Paris.
- Calvel, R. (1980). *La boulangerie moderne*. Paris.

- Certification-QSE. (S.d.). Cycle PDCA : roue de Deming. Consulté le 29 avril 2025. <https://www.certification-qse.com/cycle-pdca-roue-de-deming/>
- Chazot, A. (s.d.). Un guide complet sur le cycle d'amélioration continue. Consulté le 29 avril 2025. <https://qualopsys.fr/pdca>
- Cheftel, J. (1992). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments.
- CIC. (2024). Récupéré de : https://www.igc.int/fr/gmr_summary.aspx
- Codex Standard. (1985). Norme Codex pour la farine de blé.
- Décret exécutif n° 91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain. (1992, 8 janvier). Journal Officiel de la République Algérienne, n° 02.
- Deming, W. E. (1986). Hors de la Crise (J.-M. Gogue, Trad.). Édition numérique.
- FAO. (2024). Récupéré de : <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>
- Feillet, P. (2000). Le grain de blé. Paris.
- Godon, B., & Willm, C. (1998). Les industries de première transformation des céréales. Paris.
- Gómez, M., Gutkoski, L., & Bravo, N. (2020). Understanding whole-wheat flour and its effect in breads. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
- Granger, L. (2025). Brainstorming. Consulté le 8 mai 2025. <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/remue-meninges>
- Haddas, M., Asiri, M., Mukhalid, R., Alahmari, S., Al-Qathtani, S., & Hasan, S. (2014). Continuous Improvement – Development with Time. *International Journal of Computer Applications*.
- Hassan, E. G. (2008). Effect of Fermentation and Particle Size of Wheat Bran on the Antinutritional Factors and Bread Quality. *Pakistan Journal of Nutrition*.
- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., & Autio, K. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *Food Science and Technology*.
- Landy, G. (2007). AMDEC - Guide pratique. AFNOR.
- Laoyan, S. (2025, avril 17). Qu'est-ce que l'amélioration continue ? Définition, méthodes et outils. Consulté le 11 mai 2025. <https://asana.com/fr/resources/process-improvement-methodologies>.
- Melbous, M. (2025, avril). Évaluation de l'impact du système de management de la sécurité des denrées alimentaires (Thèse de doctorat). Université de Blida 1.

- Musa, Z. (2025, mai 7). Leader du blé au Maghreb. Consulté le 13 mai 2025. <https://www.afrik.com/leader-du-ble-au-maghreb-l-algerie-accelere-sa-marche-vers-l-autosuffisance>
- Noort, M. W. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science*.
- ObservAlgérie. (2024). L'Algérie 5e importateur mondial de blé tendre en 2024. Consulté le 13 mai 2025. <https://observalgerie.com/2024/01/29/economie/algerie-5e-importateur-mondial-ble-tendre-2024>
- Outil brainstorming. (S.d.). Consulté le 6 mai 2025. <https://la-qualite-au-carre.com/outil-brainstorming-principe/>
- Packkia-Doss, P., & Babu, B. (2019). Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume. *Journal of Food Engineering*.
- Paul, C. (2007). *Céréales et alimentation: une approche globale*. INRA.
- Peyron, S. (2003). Influence of Structural Characteristics of Aleurone Layer on Milling Behavior of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.).
- Pomeranz, Y. (1988). *Wheat Chemistry and Technology* (3e éd.). American Association of Cereal Chemists.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*.
- ResearchGate. (S.d.). Anatomie du grain de blé tendre. Consulté le 10 mai 2025. https://www.researchgate.net/figure/Anatomie-du-grain-de-ble-tendre-Le-grain-de-ble-est-constitue-de-trois-parties_fig7_317814710
- Roger, E. (2009). *Le grand livre de la qualité*. Paris : AFNOR.
- Saeger, A. (2016). *Le diagramme d'Ishikawa*. Bruxelles: 50Minutes.fr.
- Singh, J., & Singh, H. (2015). Continuous improvement philosophy – Literature review and directions. *Benchmarking: An International Journal*.
- Teneau, G. A. (2009). *Guide commenté des normes et référentiels*. Eyrolles.
- Walter, T., & Behrooz, L. (2016). Continuous Quality Improvement as a Central Tenet of TQM: History and Current Status. *Quality Innovation Prosperity*.
- Weaving case reports into Ishikawa diagrams. (2011). Consulté le 4 mai 2025. <https://blogs.bmj.com/case-reports/2011/04/26/weaving-case-reports-into-ishikawa-diagrams>

ANNEXES

Annexe 1. Fiche technique du produit.

	FICHE TECHNIQUE PRODUIT	Version A
	Farine Complète	Page 2/2

Spécification	Details	Références réglementaires, normatives
Produit	Farine Complète de blé tendre	/
Compositions	-Blé Tendre: <i>Triticum aestivum</i> -Eau traité	Norme codex pour la farine de blé Codex Stan 152-1985 (rév. 1-1995)
Spécifications Physico-Chimiques	-Humidité: 15.5% max -Taux de cendres: min1.75% - max1.85%NI	Norme codex pour la farine de blé Codex Stan 152-1985 (rév. 1-1995)
Spécifications Techniques	80% de la farine doit Passer au travers d'un tamis de 212 microns	Norme interne
Spécifications biologique	Moisissures et Levures: 10^3 ufc/g -Clostridium sulfito réducteur: 10^2 ufc/g -Escherichia coli 10 ufc/g -Staphylocoques à coagulase+ : 10^2 ufc/g -Bacillus cereus: 10^5 ufc/g Mycotoxines -Aflatoxine B1:2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Aflatoxine B1+B2+G1+G2: 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Ochratoxine: 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Deoxynivalénol: 750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Zéaralénone: 75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques): -Benzo[a]pyrène: 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$	-Arrêté interministériel du 04 octobre 2016. -Journal officiel de l'Union européenne 20.12.2006 FR

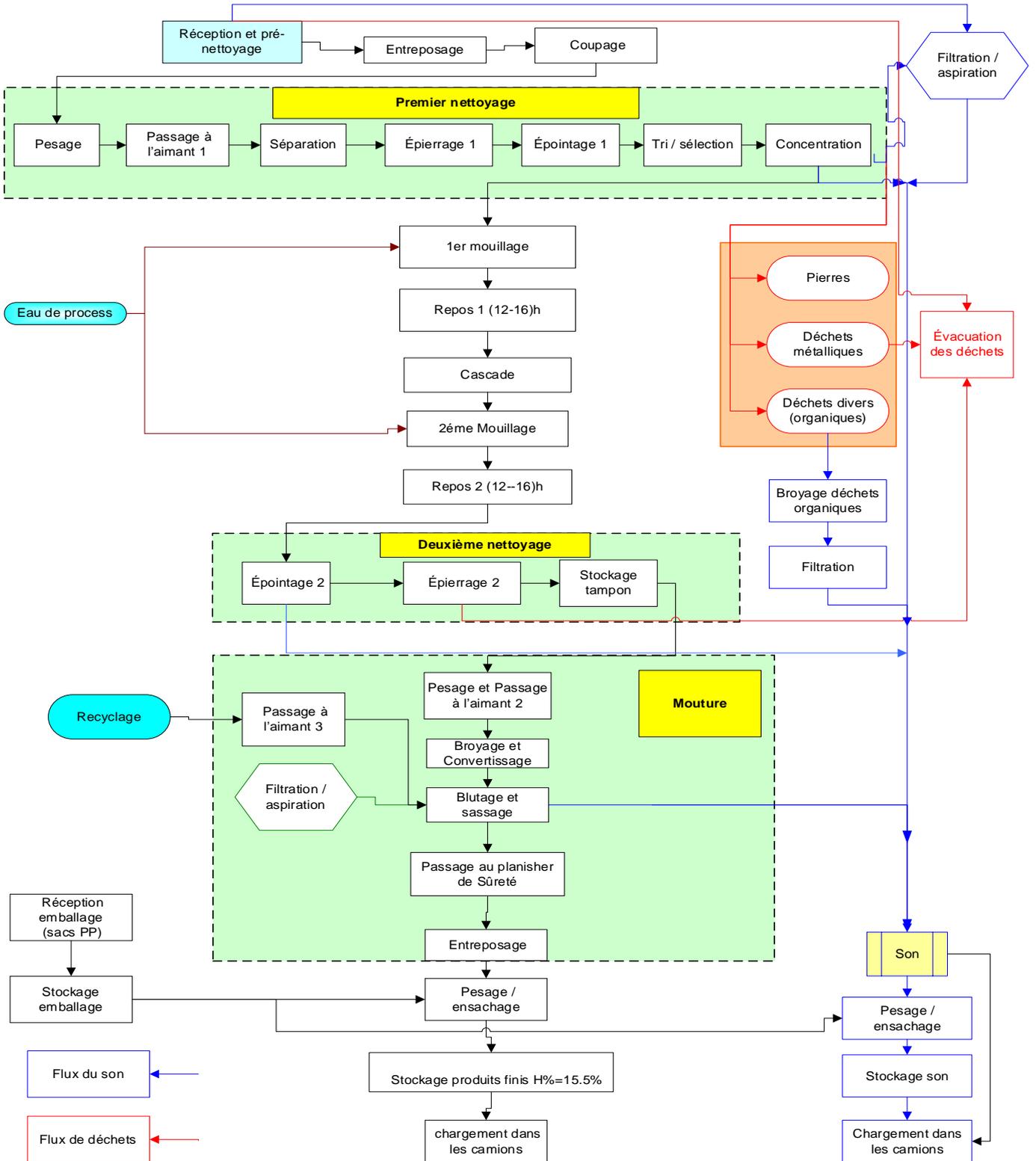
Spécifications Chimiques	-HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques): -Benzo[a]pyrène: 1µg/kg Allergène: Déconseiller pour la population à maladie coeliaques	
Methodes de conditionnement / Emballege	Dans des sacs d'ordre alimentaire : 1,5,10 kg	DIRECTIVE 2002/72/CE DE LA COMMISSION du 6 août 2002
ETIQUETAGE	- La dénomination de vente -la liste des ingrédients - La quantité nette -la date de durabilité minimale ou la date lirnite de consommation - Les conditions particulières de conservation -Le nom ou la raison sociale, la marque déposée et l'adresse de fabricant -le pays d'origine -le mode d'emploi et les précautions d'emploi -L'étiquetage nutritionnel - L'identification du lot de fabrication et/ou la date de fabrication -les ingrédients provoquant des allergies ou des intolérances -Code de produit GTIN	Décret exécutif n°13-378 du 09 novembre 2013 fixant les conditions et les modalités à l'information de consommateur
DUREE DE VIE	-6 mois	/
CONDITIONS DE LIVRAISON	-Camions propres	JORA du 16 avril 2017
CONDITIONS DE STOCKAGE	- Magasin Propre Ventilé et bien éclairé. -A l'abri de la chaleur et de l'humidité	fixant les conditions d'hygiène et de salubrité los du processus de mise à la consommation humaine des denrées alimentaires

Annexe

		JORA du 16 avril 2017 fixant les conditions d'hygiène et de salubrité los du processus de mise à la consommation humaine des denrées alimentaires
USAGE PREVU	préparation culinaire qui nécessite une cuisson Utilisé par toute la population sauf la population sensible (intolérante) au gluten	/

Source : SARL semoulerie AMOUR

Annexe 2. Diagramme de fabrication de la farine.



Source : SARL semoulerie AMOUR

Annexe 3. devis mélangeur industriels



ZHENGZHOU RUNXIANG MACHINERY EQUIPMENT CO.,LTD

Tel: 86 371 55960109

Fax: 86 371 55960109

Mobile:+8615838007835

website:www.rxpelletmachine.com

E-mail:susan@pelletmilling.com

Skype:annieshuang1129

Golden Machinery Equipment Co.,Limited

Register No. 60323-252-000-25-06-25

From :Ms.Susan

Date:June.25th,2025

Quotation for 2000kg Powder Mixer Machine

Stainless Steel Mixer machine

Working principle: for the mixing of raw material, making every kind of raw material and water mixed together. The whole machine is made of stainless steel. High efficiency, easy operation



Quality, price, time and service is the tenet of our business.

Credit, reposal, negotiation and cooperation is our standard.

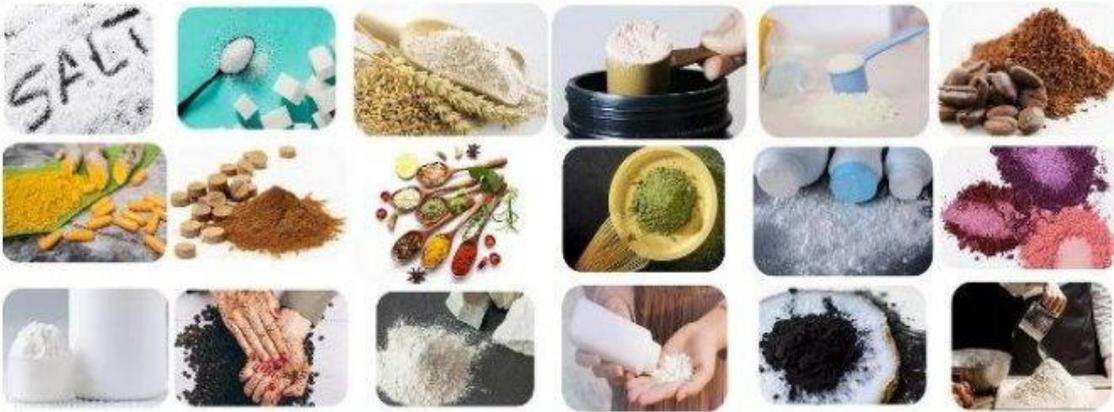
ZHENGZHOU RUNXIANG MACHINERY EQUIPMENT CO.,LTD



Tel: 86 371 55960109 Fax: 86 371 55960109
Mobile:+8615838007835 website:www.rxpelletmachine.com
E-mail:susan@pelletmilling.com Skype:annieshuang1129

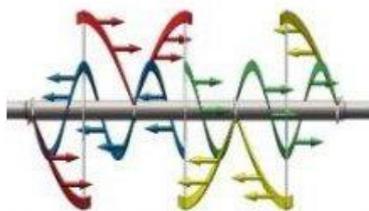
Aplication:

Any kinds of Solia powder material.

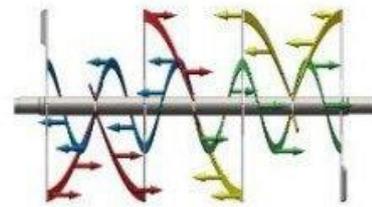
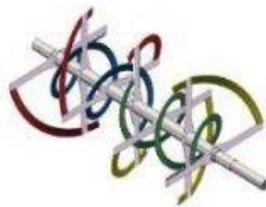


Working Principle:

Horizontal double ribbon blender is used to mix different powder, powder with liquid spray, powder with granule etc. Under the special design, the double ribbon agitator makes the material to get a high effective convective mixing in short time.



The outer ribbon brings material from sides to the center.



The inner ribbon pushes material from the center to sides.



ZHENGZHOU RUNXIANG MACHINERY EQUIPMENT CO.,LTD

Tel: 86 371 55960109

Fax: 86 371 55960109

Mobile:+8615838007835

website:www.rxpelletmachine.com

E-mail:susan@pelletmilling.com

Skype:annieshuang1129

Technical information and price list:

Model	Capacity	Motor	Power Supply	Effective Volume	Turning Speed	Weight	Dimension	EXW Price(USD)
WSX-350 (Carton steel)	350 kg/8min	5.5 kw	Customized	2000L	46rpm	490 kg	1500*1200 *1800mm	\$3980

About us:

ZHENGZHOU RUNXIANG MACHINERY EQUIPMENT CO.,LTD

ABOUT US
关于我们

ZHENGZHOU RUNXIANG MACHINERY EQUIPMENT CO., LTD. (FORMERLY ZHENGZHOU MACHINERY EQUIPMENT CO., LTD.) LOCATED IN ZHENGZHOU CITY, HENAN PROVINCE NEAR THE NEAREST AIRPORT IS KNOWING INTERNATIONAL AIRPORT, THE NEAREST HIGH-SPEED RAIL STATION IS ZHENGZHOU EAST STATION ON ZHENGZHOU STATION MAINLY ENGAGED IN A WIDE RANGE OF MACHINERY AND EQUIPMENT BUSINESS, ESPECIALLY IN THE AGRICULTURE AND FOOD PROCESSING MACHINERY FIELD MORE THAN 15 YEARS.

OUR COMPANY HAS ALWAYS BEEN ADHERING TO THE "QUALITY FIRST, SERVICE FIRST, AND CUSTOMER AND COMMON DEVELOPMENT" PURPOSE, HAS PASSED ISO 9001:2015 CERTIFICATION, TO CREATE A DIVERSIFIED, GLOBAL MANAGEMENT AND EQUIPMENT ENTERPRISES FOR THE STRATEGIC OBJECTIVES, IN THE MANAGEMENT OF MAINTAINING FIRST-CLASS QUALITY, GOOD REPUTATION AND PERFECT SERVICE TO WIN A HIGH REPUTATION, LEADING MACHINERY OPENED IN INTERNATIONAL MARKET SINCE 2011, AND BECOMING THE MAIN MEMBER OF THE INTERNATIONAL TRADE ENTERPRISES IN HENAN, WE HAVE SOME PATENT CERTIFICATION WE GOT IN THE PAST SEVERAL YEARS.

PATENT NO. OF TROUBLE-MAKING IS 200481115568.0
 PATENT NO. OF BANANA PEELER MACHINERY IS 201120281648.6
 PATENT NO. OF FRUIT PEELER MACHINERY IS 201120281650.4
 PATENT NO. OF PULPING MACHINERY IS 201120281651.1