

**Master Sciences et Techniques CAC Ageq**  
**Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et**  
**Techniques**

**Amélioration de la qualité et la quantité des produits finis**  
**(des farines) produites par la société Minoteries Houcine**  
**Lahbabi par la méthode d'ACP**

**Présenté par:**

**EL YADDOUNI Zineb**

**Encadré par:**

-Mme BENCHHIBA Wiam                      Minoteries Houcine Lahbabi FES  
-Pr. Mr. EL ASRI Mohammed              FST Fès

**Soutenu Le 17 Juin 2019 devant le jury composé de:**

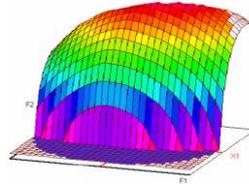
-Pr. M. EL ASRI                                      FST Fès  
-Pr. A. BEN TAMA                                  FST Fès  
-Pr. A. BOULAHNA                                FST Fès

**Stage effectué à : Minoteries Houcine Lahbabi FES**

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0) 35 60 29 53 Fax : 212 (0) 35 60 82 14



## Master ST CAC Ageq

### Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom :** EL YADDOUNI Zineb

**Année Universitaire :** 2018/2019

**Titre:** Amélioration de la qualité et la quantité des produits finis (des farines) produites par la société Minoteries Houcine Lahbabi par la méthode d'ACP.

### Résumé

Le projet de fin d'études effectué à la société Minoteries Houcine Lahbabi a été motivé par le besoin d'appliquer les connaissances scientifiques en matière du traitement statistique acquise à la FST Fès, des données récoltées lors du contrôle de plusieurs paramètres du procédé de fabrication des farines à la société Minoteries Houcine Lahbabi.

Notre objectif principal dans le cadre de ce projet de fin d'études était d'aider la société à améliorer à la fois la qualité et la quantité des produits finis.

Afin de réaliser ce travail nous nous sommes basés sur la collecte et le traitement des données récoltées sur une période allant du juin 2018 au mars 2019 par l'analyse en composante principale (ACP).

**Mots clés:** Analyse des données, traitement statistique, ACP, Minoteries, farines.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

## *A mes parents*

*Ce travail est le fruit de votre amour inépuisable, de l'éducation irréprochable et du soutien constant que vous m'avez prodigué tout au long de ma vie. Ce modeste travail ne saurait exprimer que peu de mon grand amour, ma pure gratitude et ma profonde reconnaissance à votre égard. Que Dieu, tout puissant, vous préserve et vous offre bonne santé et longue vie, et vous récompense pour vos efforts déployés pour moi et ma fratrie.*

## *A mes frères (Hicham & Youness)*

*Pour leur patience et leur soutien qu'ils n'ont cessé d'apporter au cours de ma formation, pour leur véritable et sincère amour. Je leur souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur.*

## *A toute ma famille*

## *A tous mes ami(e)s*

*Pour les magnifiques moments qu'on a partagé ensemble tout au long de ces années.*

## *A tous ce que j'aime et j'estime*

## Remerciement

*Avant d'entamer le vif du rapport, il m'est agréable d'exprimer notre cordiale gratitude à Monsieur **ER-RAFIK Youness** le directeur adjoint du groupe SIOF qui m'a donnée l'opportunité d'effectuer ce stage.*

*Mes remerciements les plus profonds, s'adressent également à Mme **ELMAHDAOUI Sara**, responsable Exploitation au sein de la société Minoteries Houcine Lahbabi qui s'est montrées coopératifs et serviables.*

*Toute ma reconnaissance et mes chaleureux remerciements vont également à Mme **BENCHHIBA Wiam** responsable du laboratoire et du qualité de la société Minoteries Houcine Lahbabi, malgré vos énormes occupations et les grandes responsabilités que vous assumez, vous avez toujours eu le temps de m'écouter, me conseiller et de me diriger afin de mener à bien ce travail, qu'il me soit permis de vous exprimer mes sentiments respectueux.*

*J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant Monsieur **EL ASRI Mohammed** Enseignant chercheur à la FST de Fès qui m'a beaucoup aidé à la recherche de stage. J'ai pu apprécier ses compétences scientifiques et ses qualités humaines ; je tiens également à le remercier pour m'avoir orienté, conseillé et de m'encourager tout au long de la période de mon stage.*

*Je tiens à remercier également les membres du jury (Mr **A. BEN TAMA**, et Mr **A. BOULAHNA**) d'avoir bien voulu juger mon travail.*

*Mes remerciements vont également à notre responsable de MST CAC-Agiq Mr. **EL HADRAMI EL Mestafa** et tous mes professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

## *Liste des abréviations :*

SIOF : La Société Industrielle Oléicole de Fès.

ONICL : Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses

P.E : Prise d'Essaie

ACP : Analyse en Composantes Principales

%P.S : %Poids Spécifique

%PS (soft) : %Poids Spécifiques du blé tendre Soft

%H (soft) : %Humidité du blé tendre Soft

%G. Echaudé S : %Grains Echaudés du blé tendre Soft

%G. cassé S : %Grains cassés du blé tendre Soft

%déchet S : %Déchet du blé tendre Soft

%PS (local) : %Poids Spécifiques du blé tendre local

%H (local) : %Humidité du blé tendre local

%BT-S : %Blé Tendre Soft

%BT-H : %Blé Tendre Hard

%F. Luxe : %Farine Luxe

%F. Luxe Granulée: %Farine Luxe Granulée

%FNBT: %Farine National de Blé Tendre

%F. Ronde Spéciale : %Farine Ronde Spéciale

%F. Fleur : %Farine Fleur

%SON : %SON

%H F. Luxe : %Humidité de la Farine Luxe

%CENDRES F. Luxe : %Cendres de la Farine Luxe

%P F. Luxe : %Protéine de la Farine Luxe

%H FNBT : %Humidité de la Farine National de Blé Tendre

%CENDRES FNBT : %Cendres de la Farine National de Blé Tendre

%P FNBT : %Protéine de la Farine National de Blé Tendre

%H F. L. Granulée : %Humidité de la Farine Luxe Granulée

%CENDRES F. L. Granulée : %Cendres de la Farine Luxe Granulée

%P F. L. Granulée : %Protéine de la Farine Luxe Granulée

%H F. R. Spéciale : %Humidité de la Farine Ronde Spéciale

%CENDRES F. R. Spéciale : %Cendres de la Farine Ronde Spéciale

%P F. R. Spéciale : %Protéine de la Farine Ronde Spéciale

%H F. fleur : %Humidité de la Farine Fleur

%CENDRES F. fleur : %Cendres de la Farine Fleur

%P F. fleur : %Protéine de la Farine Fleur

## Listes des figures :

Figure 1 : Organigramme de la société .....	4
Figure 2 : Diagramme de fabrication .....	5
Figure 3 : Nilema litre .....	6
Figure 4 : Humidimètre .....	6
Figure 5 : Impuretés diverses .....	7
Figure 6 : les grains échaudés .....	7
Figure 7 : les grains cassés .....	7
Figure 8 : Phase d'emballage .....	9
Figure 9 : La gamme des produits du blé dur .....	10
Figure 10 : la gamme des produits du blé tendre .....	11
Figure 11: MultiCheck .....	12
Figure 12: les nacelles avant calcination .....	13
Figure 13: les nacelles après refroidissement .....	13
Figure 14: Matériel pour mesure de l'indice de chute .....	14
Figure 15 : tamisage mécanique .....	15
Figure 16 : Grain de blé .....	17
Figure 17 : Blé tendre .....	18
Figure 18 : blé dur .....	18
Figure 19 : Farine Fleur .....	20
Figure 20 : Farine Ronde spéciale .....	20
Figure 21 : Farine Luxe ronde .....	20
Figure 22 : Farine Luxe .....	21
Figure 23 : FNBT .....	21
Figure 24 : SON de blé .....	21
Figure 25 : tableau de données d'une ACP .....	23
Figure 26 : Principe géométrique de l'ACP .....	23
Figure 27 : Nuage des individus (Husson et al, 2009) .....	24
Figure 28 : cercle de corrélation .....	24
Figure 29 : cercle de corrélation .....	25
Figure 30 : Graphe des « loadings » pour les dix variables .....	32
Figure 31: Graphe des « loadings » pour les variables et les six réponses de la qualité des produits finis .....	33

Figure 32 : Graphe des « loadings » pour « les variables » et le « %SON » .....	35
Figure 33 : Graphe des « loadings » pour « les variables » et la « %F.LUXE » .....	36
Figure 34 : Graphe des « loadings » pour les « variables » et la « %F. Luxe Granulé » .....	37

### *Liste des tableaux :*

Tableau 1 : les normes de la qualité du blé .....	18
Tableau 2 : paramètres de suivi de procédé .....	29
Tableau 3 : paramètres de suivi de la qualité des produits finis.....	29
Tableau 4 : Matrice des corrélations entre les dix variables .....	31
Tableau 5: Pourcentage de variabilité expliquée des variables.....	31
Tableau 6 : Matrice des corrélations pour les variables et les réponses de la qualité des produits finis.....	33
Tableau 7 : Matrice des corrélations pour « les variables » et le « %SON ».....	34
Tableau 8 : Matrice des corrélations pour « les variables » et la « %F. Luxe » .....	35
Tableau 9 : Matrice des corrélations pour les «variables» et la «%F. Luxe Granulée » .....	37

# Sommaire

<i>Introduction générale</i> .....	1
<b>Partie 1 : généralité sur l'entreprise</b> .....	2
<b>I. Aperçu général sur la société d'accueil</b> .....	3
<b>II. Fiche technique</b> .....	3
<b>III. Organigramme de l'entreprise</b> .....	3
<b>IV. Processus de fabrication</b> .....	4
1. <i>Diagramme de fabrication</i> .....	4
2. <i>Description des étapes de fabrication</i> .....	5
<b>V. Gamme des produits de la société</b> .....	9
<b>VI. Les analyses effectuées au laboratoire pour le blé tendre</b> .....	11
1. <i>Humidité</i> .....	11
2. <i>Taux de cendres</i> .....	12
3. <i>l'indice de chute</i> .....	14
4. <i>La Granulométrie</i> .....	14
<b>Partie 2 : Etude bibliographique</b> .....	16
<b>Généralités sur le blé et la farine</b> .....	17
<b>I. Présentation du blé</b> .....	17
1. <i>Définition</i> .....	17
2. <i>Structure du grain de blé</i> .....	17
3. <i>Catégories de blé</i> .....	17
4. <i>Les normes de qualité du blé</i> .....	18
5. <i>Origines des impuretés et incidences sur la qualité</i> .....	19
<b>II. Présentation de la farine</b> .....	20
1. <i>Définition</i> .....	20
2. <i>Type farine produite par les moulins</i> .....	20
<b>Généralité sur l'ACP</b> .....	22
1. <i>Définition</i> .....	22
2. <i>Objectifs de l'ACP</i> .....	22
3. <i>Données d'une ACP</i> .....	22
4. <i>Interprétations géométriques</i> .....	23
5. <i>Analyse des résultats d'une ACP</i> .....	23
<b>Partie 3 : Traitements des données</b> .....	27
<b>Introduction</b> .....	28

<b>I. Analyse des données</b> .....	<b>28</b>
<b>1. Paramètres de suivi de procédé cette étude</b> .....	<b>28</b>
<b>2- Analyses en composantes principales</b> .....	<b>30</b>
<b>3- Analyse des résultats et interprétations</b> .....	<b>30</b>
<b>A. Le %SON</b> .....	<b>34</b>
<b>B. Le %Farine Luxe</b> .....	<b>35</b>
<b>C. Le %Farine Luxe Granulé</b> .....	<b>37</b>
<b>Conclusion d'étude</b> .....	<b>38</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>39</b>
<b>Références</b> .....	<b>40</b>

## *Introduction générale*

Le stage est un symbole de rapprochement entre le monde de la formation universitaire et académique et le monde de travail. C'est un élément concret qui assure, après une formation académique, une aide significative à l'insertion et à l'intégration professionnelle et sociales.

En ce qui concerne ce stage, il a été effectué chez les Minoteries Houcine Lahbabi.

Les minoteries sont en perpétuel développement, et la concurrence entre elles est de plus en plus accrue. L'amélioration continue et la recherche de nouvelles performances est une priorité chez les Minoteries Houcine Lahbabi. A ce sujet, l'équipe de production a développée depuis plusieurs années plusieurs paramètres dans les différentes étapes du procédé.

Cependant, l'analyse des résultats de tous ces paramètres à la fois n'est pas facile. Par ailleurs l'analyse de ces paramètres un par un ne permet pas de livrer des résultats, généralement cachés.

Nous proposons dans ce travail, en étroite concertation avec l'équipe de production, le traitement des données récoltées pendant 139 jours de la période allant du juin 2018 au mars 2019. Nous proposons aussi de faire une analyse en composante principale.

Notre travail est composé de trois parties :

- La première partie est consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil, la description des processus de fabrication, les différentes gammes de produits, et les analyses effectuées au laboratoire.
- La deuxième partie est une étude bibliographique qui est organisée en deux parties : Généralités sur le blé et la farine. Et une présentation succincte de l'analyse en composantes principales.
- La troisième et dernière partie est consacrée au traitement des données récoltées par la société pendant 139 jours (du juin 2018 au mars 2019).

# **Partie 1 : Généralité sur l'entreprise**

## **I. Aperçu général sur la société d'accueil :**

Minoteries Houcine LAHBABI, filiale du Groupe SIOF, est une société à responsabilité limitée SARL créée en 1983, et autorisée par l'ONSSA. Elle a comme mission la transformation du blé dur et du blé tendre en semoules et farines.

La structure de la société comporte deux unités de production, «Semoulerie » pour la production des semoules à partir du blé dur et « Minoterie » pour la production des farines en transformant le blé tendre. Il y a aussi un laboratoire qui se charge des analyses.

La société a une capacité de production de 1200 Quintaux/jour de produits à partir du blé tendre et la même capacité pour le blé dur. La matière première utilisée est locale importée (surtout pour le blé dur). La production est destinée essentiellement au marché national.

## **II. Fiche technique :**

**Forme juridique :** SARL

**Date de création :** 1983

**Directeur générale :** M. Khalil Lahbabi

**Capitale social :** 10 000 000 DHs

**Siege sociale :** zone ind, sidi Brahim I, rue EL Khaourizmi, lot.21-30000 Fès

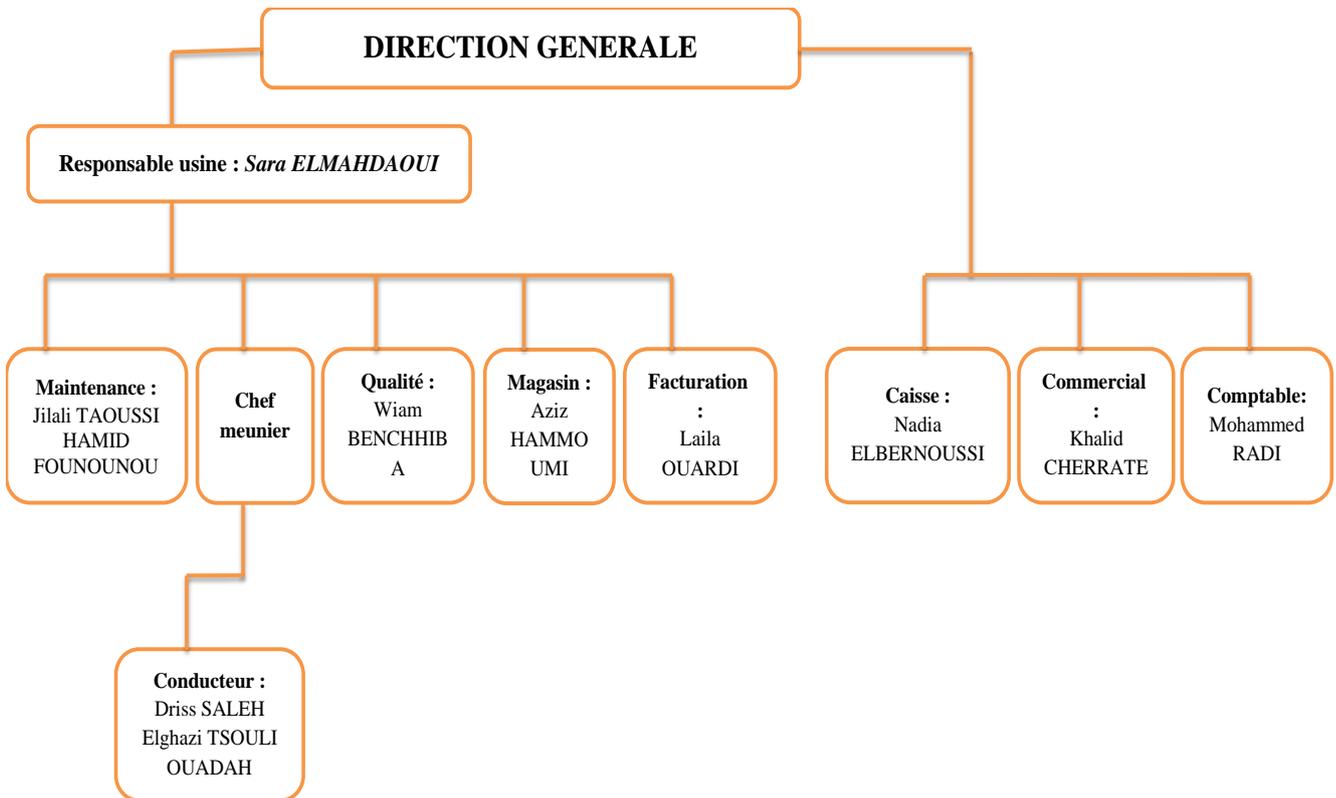
**Effectif :** entre 20 et 50

**Activité :** Minoterie industriel, semoulerie

**Dénomination commerciale :** Sahl sais et Minoterie Houcine LAHBABI

## **III. Organigramme de l'entreprise :**

La société minoteries Houcine Lahbabi se caractérise par une organisation interne bien spécifique comme le montre l'organigramme de la figure 1 suivant :



**Figure 1 : Organigramme de la société**

#### **IV. Processus de fabrication :**

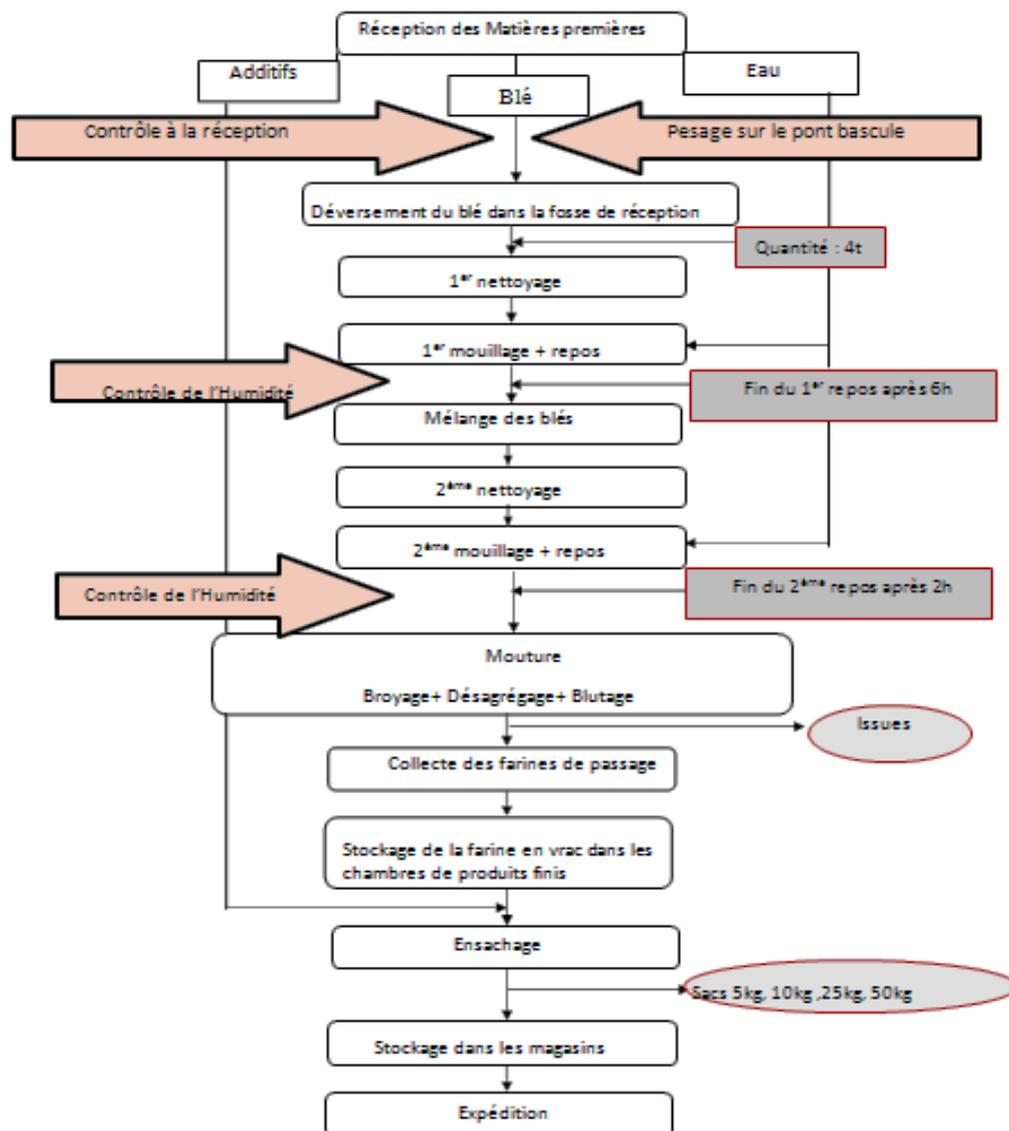
La fabrication des farines et semoules se fait à travers plusieurs étapes successives et répétitives. Ceci est facilité par la structure de la minoterie qui est composée du rez-de-chaussée en plus de 5 étages. Chaque étage est divisé en trois parties : **Nettoyage**, **Mouture** et **Produit fini**. Comme les farines et les semoules constituent des produits de base dans la boulangerie et la fabrication de pâtes alimentaires, ils demandent donc un suivi et un contrôle rigoureux des différents paramètres qui permettent l'obtention d'un produit sain et salubre.

##### **1. Diagramme de fabrication :**

La partie intéressante pour la farine est l'amande, le défi du meunier est de séparer de façon optimale les différents constituants du grain afin de les valoriser. Une fois livré au moulin, le blé est nettoyé afin d'éliminer les impuretés, puis humidifié et reposé pour faciliter la séparation de l'amande de ses enveloppes.

La transformation du blé dur et du blé tendre suit pratiquement les mêmes étapes avec quelques différences au niveau du temps de repos.

Le diagramme représenté dans la figure 2 mentionne le processus de fabrication :



**Figure 2 : Diagramme de fabrication**

**2. Description des étapes de fabrication :**

Les principales étapes de transformation peuvent être regroupées comme suit :

**a. La réception :**

Après l'arrivée des camions chargés du blé en vrac, ils passent directement sur un pont bascule qui permet de peser la quantité à l'entrée. Dans cette étape, un échantillon du blé est pris pour faire les analyses au laboratoire de la minoterie. Ces analyses permettent de donner une idée globale sur la qualité du blé à la réception et donc l'accepter ou le refuser selon les critères exigés.

Les analyses effectuées à la réception sont :

**\*Poids spécifique (PS) des grains** : est mesuré en kg/hl. Il reflète la densité de grains. C'est un indicateur du taux d'extraction de la farine. On l'appelle aussi masse à l'hectolitre. C'est la masse

volumique apparente des grains mesurés. La mesure est faite à l'aide d'un **Nilema litre** (figure 3). Le résultat sont exprimés en Kg/hectolitre.



**Figure 3 : Nilema litre**

***\*L'humidité :*** Paramètre essentiel qui est vérifié à chaque arrivée du blé, pour s'assurer que l'humidité du blé réceptionné ne dépasse pas les 12%. Il est déterminé à l'aide de l'Humidimètre (figure 4).



**Figure 4 : Humidimètre**

***\*L'agréage :*** il permet de donner une idée sur le rendement de la matière première par le calcul des pourcentages des grains échaudés, des grains cassés et du déchet. Cela se fait à l'aide des tamis superposés à ouvertures de mailles différentes.



**Figure 5 : Impuretés diverses** **Figure 6 : les grains échaudés** **Figure 7 : les grains cassés**

**\*Le temps de chute :** il permet de déterminer l'activité enzymatique des blés et des farines. Cette méthode mesure l'alpha-amylase, enzyme présente dans le blé. Plus l'indice de chute est élevé, plus la farine est apte aux panifications et cuissons.

Après ce contrôle à la réception, la quantité du blé est déversée dans la fosse de réception qui est couverte par une bâche pour prévenir la pénétration des nuisibles ou toute autres sources de contamination. Ensuite le blé est transporté à l'aide d'un transporteur à chaîne vers un élévateur à godet qui fait monter le blé vers les trois silos de réception d'une capacité de 85 tonnes à chacun.

#### **b. La préparation :**

##### **\*Le Nettoyage :**

Dans cette étape le blé est débarrassé de ces impuretés puis stocké dans les silos de réception jusqu'à son utilisation.

Le chef meunier assemble minutieusement les blés en fonction de la farine souhaitée et selon la qualité de chaque variété du blé. Le mélange choisi passe par une balance qui est réglée pour peser 4 tonnes de blé, puis il est débarrassé de toutes ses impuretés qui peuvent être source de contamination. Le coupage du blé (mélange) peut être effectué soit au début soit après le 1<sup>er</sup> repos.

Différentes machines interviennent lors du nettoyage ; **le séparateur** élimine les gros déchets, **l'épierreur** porte bien son nom, **le trieur cylindrique** élimine les grains cassés et colorés, **La brosse à blé** (appelée **épointeuse** pour le blé dur) décolle la balle du grain et les poussières et le "tarare" aspire ce qui est plus léger que le blé et **le trieur optique** qui consiste à séparer les grains en fonction de la couleur, donc éliminer tout ce qui n'est pas blé. Il y a en outre des magnétiques (aimant) avant les principales machines du moulin (jusqu'au conditionnement) : ils captent tout ce qui est métallique.

### **\*Mouillage :**

Le blé est ensuite mouillé par un mouilleur automatique (mouilleur intensif pour le blé tendre) avant de le reposer au moins 24 heures dans les silos de repos pour le blé tendre, et 6 heures pour le blé dur. Ce procédé permettra une meilleure séparation entre l'amande et l'enveloppe du grain de blé. Après la fin du premier repos un contrôle de l'humidité est effectué pour vérifier que sa valeur a passé de 12% à 14.5%. Ensuite, le blé mouillé et reposé passe encore une fois dans une épunteuse puis dans un mouilleur intensif pour le deuxième repos qui prend 2 heures dans les silos.

#### **a. La mouture :**

La mouture consiste en plusieurs passages successifs du blé dans un appareil à cylindres suivis d'un tamisage : ces successions d'étapes sont répétées plusieurs fois. À chaque étape, après le tamisage, une partie de la farine est extraite et les autres produits sont orientés vers un nouvel appareil à cylindres. Un échantillon est prélevé avant l'appareil à cylindre B1 pour vérifier le taux d'humidité.

-Le blé effectue plusieurs passages dans des appareils à cylindres en acier cannelé qui séparent grossièrement l'amande du blé de ses enveloppes. Cette première étape est appelée « **broyage** ».

-Les semoules sont ensuite écrasées par des cylindres lisses. Ce sont les opérations de « **claquage** », puis de « **convertissage** », qui diminuent encore la taille des particules et continuent la séparation de l'amande farineuse et des particules d'enveloppe.

-Parallèlement au travail des cylindres, les **plansichters** permettent de tamiser les produits obtenus après chaque passage entre les cylindres. En fonction de leur taille, certains de ces produits sont orientés vers d'autres appareils à cylindres à travers des sasseurs, et une partie de farine est extraite.

-La farine obtenue est envoyée dans une chambre à farine au fur et à mesure de son arrivée, en attendant d'être tirée en sacs.

#### **b. Emballage :**

Pour la mise en sacs, le poids de la farine conditionnée est contrôlé très précisément par une balance réglée selon le produit fini désiré.

Des renseignements obligatoires figurent sur les sacs : nom et adresse du meunier, dénomination de vente, type de farine, date limite d'utilisation optimale (trois mois en général), le numéro de lot et le poids net.

La figure 8 suivante illustre la phase d'emballage dans la société Minoteries Houcine Lahbabi :



**Figure 8 : Phase d'emballage**

## **V. Gamme des produits de la société :**

Pour répondre aux besoins de ces clients, la minoterie met sur le marché une gamme des produits diversifiés destinée soit à la consommation directe ou bien pour une autre industrie, celle de la fabrication des pâtes alimentaires.

### **\*Les produits du blé dur :**

Les produits obtenus à partir de la transformation du blé dur sont :

- ❖ **Farine complète de blé dur**
- ❖ **Finot de blé dur**
- ❖ **Semoule grosse de blé dur**
- ❖ **Semoule fine de blé dur**
- ❖ **Farine extra de blé dur**
- ❖ **Farine courante de blé dur**

Nous représentons dans la figure 9 la gamme des produits du blé dur de la société Minoteries Houcine Lahbabi sous la dénomination commerciale « Sahl sais ».



Figure 9 : La gamme des produits du blé dur

**\*Les produits du blé tendre :**

Les produits obtenus à partir de la transformation du blé tendre sont :

- ❖ Farine Luxe Ronde de blé tendre
- ❖ Farine Luxe de blé tendre
- ❖ Farine nationale de blé tendre (FNBT)
- ❖ Farine Ronde Spéciale de blé tendre
- ❖ Farine Fleur de blé tendre
- ❖ SON

Nous représentons dans la figure 10 ci-dessous l'ensemble des produits du blé tendre proposés par la société Minoteries Houcine Lahbabi :



Figure 10 : la gamme des produits du blé tendre

## VI. Les analyses effectuées au laboratoire pour le blé tendre:

Ces analyses régulièrement appliquées dans les unités de production des farines de blé tendre, ont pour but de contrôler la qualité de la farine obtenue au niveau de laboratoire.

Le contrôle de qualité a pour but d'assurer le respect des règles ou des normes de la farine. Les différents types d'analyses effectués sont:

### 1. Humidité :

L'humidité est un test de qualité qui s'effectue sur le blé et la farine. Ce test consiste à déterminer la quantité d'eau dans le produit.

#### a. Principe :

C'est une méthode consiste à un étuvage à pression atmosphérique à une température entre 130 et 133°C pendant une durée de 1h30min pour les farine, de 2h pour blé broyé et semoule et de 20h pour blé entier. La perte d'eau est exprimée en pourcentage.

Expression de résultats :

$$H\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

H : humidité de produit

$m_0$  : masse de produit avant étuvage

$m_1$  : masse de produit après étuvage

Il est déterminé à l'aide de MultiCheck représenté dans la figure 11 ci-après :



**Figure 11: Image représentant le MultiCheck**

**Interprétation des résultats :**

L'humidité ne doit pas être supérieur 15% pour les farines, car s'il la dépasse, la farine pourra s'acidifier très rapidement.

## **2. Taux de cendres :**

C'est la quantité de matières minérales, principalement contenus dans le son. C'est l'indice du degré de pureté de la farine. Plus le taux de cendre est faible plus la farine est pure.

### **a. Principe :**

Inflammation d'une prise d'essai à une température de 900°C ou 550°C (+ou-) 10°C jusqu'à combustion complète de la matière organique.

Mode opératoire

#### **a. 1. Préparation des nacelles :**

- ✚ Chauffer les nacelles pendant 10 minutes dans l'étuve.
- ✚ Laisse refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur et les peser.

#### **a. 2. Prise d'essai :**

- ✚ Si c'est du blé il faut broyer presque 5 grammes.

- ✚ Placer 5 grammes farine dans la nacelle.

Nous illustrons dans la figure 12 ci-dessous les nacelles avant calcination :



**Figure 12: les nacelles avant calcination**

### **a. 3. Incinération :**

- ✚ Placer la nacelle avec son contenu dans le four.
- ✚ Laisser la porte ouverte jusqu'à ce que la matière s'enflamme.
- ✚ Quand la flamme s'éteint, compter 16 heures du moment où la température atteint 550°C pour la méthode lente et 1heure du moment où la température atteint 900°C pour la méthode rapide.

Retirer la nacelle du four et la mettre refroidir dans dessiccateur pendant 45min et la peser. Ces nacelles sont représentées dans la figure 13 ci-dessous :



**Figure 13: les nacelles après refroidissement**

### **b. Résultat :**

Le taux Cendre

$$TC\%=(M1/M0)* 100$$

M<sub>0</sub> : masse en gramme de prise d'essai

M<sub>1</sub> : masse en gramme de résidu

### 3. *l'indice de chute :*

C'est l'indice qui permet d'évaluer l'activité enzymatique d'un échantillon. Les enzymes traités sont les amylases qui hydrolysent l'amidon en glucose. On les rencontre dans des lots dont le processus de germination est entamé.

**Amylase** : c'est une enzyme protéique qui hydrolyse l'amidon en glucose.

**Amidon** : Il est composé des molécules de glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ).

#### a. Principe :

L'amidon, composant majoritaire de la farine, est un sucre complexe. Pour le dégrader, il faut des enzymes appelées **amylases** ( $\alpha$ -et  $\beta$ -amylases). Cette technique repose sur l'état de viscosité de la farine qui doit être sous forme d'un gel, obtenu généralement à partir d'environ 7 grammes de farine avec de 25 ml d'eau distillée. En effet, il faut savoir qu'à une température d'environ  $70^\circ C$ , le mélange d'eau et de la farine devient un gel (empois d'amidon). Si l'amidon est dégradé par les enzymes, on obtient un fluide. Par contre si le gel reste visqueux, l'action enzymatique est moindre.

#### Mode opératoire

Après mélange d'eau et de farine dans un tube, on agite manuellement une vingtaine de fois afin d'obtenir une suspension homogène. Ensuite on place le piston agitateur dans le tube en raclant les parois de celui-ci. Puis on plonge le tube dans le bain-marie de l'appareil FALLING Number. Les matériels pour mesure l'indice de chute sont représentés dans la figure 14 suivant :



Figure 14: Matériel pour mesure de l'indice de chute

### 4. *La Granulométrie :*

La granulométrie consiste à déterminer la composition en grosseur c'est-à-dire la taille des particules qui constituent la farine ou produit de mouture.

### **a. Principe :**

L'essai de tamisage consiste à faire passer une prise d'essai à travers une série de tamis garnis de tissu de mailles de plus en plus fermées, à l'aide d'une tamisage mécanique (figure 15). Les refus et les extractions sont exprimés en pourcentages %.



**Figure 15 : tamisage mécanique**

### **b. Intérêts :**

L'appréciation de la granulométrie d'une farine peut apporter les renseignements tout d'abord sur le passé technologique du produit à savoir la dureté, la vitrosité, la friabilité des grains, le réglage des cylindres et le digramme de blutage du moulin. Mais la granulométrie d'une farine permet surtout de prévoir un certain comportement de celle-ci lors de son utilisation.

## **Partie 2 : Etude bibliographique**

# Généralités sur le blé et la farine

## I. Présentation du blé :

### *1. Définition :*

Le blé est une céréale qui donne de la farine pour faire le pain et les pâtes alimentaires.

### *2. Structure du grain de blé :*

Un grain de blé (Figure 16) se compose de trois parties principales :

- ✚ **Les enveloppes ou sons** : 13% ils sont soudés à l'amande et constituées de couches de cellules superposées riches en matières minérales et possèdent une quantité élevée en fibres.
- ✚ **Amande** : 84% elle est constituée de granules d'amidon enchâssés dans le réseau protéiques.
- ✚ **Germe** : 3% constituée la future plante et assure l'identité génétique. [1]



**Figure 16: Grain de blé**

### *3. Catégories de blé :*

Il existe de nombreuses variétés de blé dans le monde, mais de manière générale, elles sont toutes regroupées en deux catégories :

#### **a. Les blés tendres:**

Ces grains des blés tendres (figure 17) ont d'une forme arrondis, avec des enveloppes épaisses et d'une cassure blanche. Ils s'adaptent bien à la mouture. Ainsi qu'ils permettent d'obtenir une farine de bonne qualité, ayant de bonnes aptitudes pour la panification. [2]



**Figure 17 : Blé tendre**

**b. Les blés durs :**

Blés de semoulerie, ses grains sont durs et allongés, souvent même pointus, avec une cassure légèrement jaune (figure 18). La farine obtenue est moins convenable à la panification. [2]



**Figure 18 : blé dur**

**4. Les normes de qualité du blé :**

Le tableau 1 ci-dessous résume les normes de la qualité du blé d'après l'Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). [3]

<b>Caractéristiques</b>	<b>Norme</b>
<b>Humidité</b>	$\leq 14\%$
<b>Protéines</b>	$\geq 9\%$
<b>P.S</b>	$\geq 79\text{kg/hl}$
<b>Grains vitreux</b>	$\geq 80\%$
<b>Grains cassés</b>	$\leq 2\%$
<b>Grains Echaudés</b>	$\leq 2,5\%$

**Tableau 1 : les normes de la qualité du blé**

## ***5. Origines des impuretés et incidences sur la qualité :***

Les grains présentant une altération sont les suivants :

### **• Les grains cassés :**

Ce défaut provient le plus souvent du battage, la cassure est le plus souvent transversale et irrégulière chez les blés durs et les tendres à grains vitreux. Et le plus souvent longitudinal suivant le sillon chez le blé tendre à texture farineuse. Les blés secs et vitreux et surtout les blés durs sont les plus sensibles aux chocs, les grains dont l'endosperme est partiellement découvert sont considérés comme grain brisé.

Les grains endommagés par battage et les grains dont le germe a été enlevé appartiennent également à ce groupe.

La présence de grains cassés dans un lot de céréales engendre une perte plus ou moins sérieuse par la suite de leur élimination totale ou partielle au cours des opérations de nettoyage.

### **• Les grains germés :**

Se rencontrent dans les lots provenant de la récolte ayant reçu des pluies abondantes au moment de leur dernier stade de végétation, au cours de la moisson ou au cours de leur conservation en meules mal abritées.

### **• Les grains échaudés :**

Il s'agit des grains desséchés avant la maturation à la suite d'un défaut d'alimentation.

Les grains échaudés sont rabougris; rides, déformés par la perte de substances, les grains échaudés à une incidence sur le rendement en mouture, du fait de l'élimination de ces grains lors de nettoyage.

### **• Les grains caries ou boutés :**

Les grains caries sont globuleux, brun et très léger, ils sont remplis d'une poche noire (spore) à odeur de poisson pourri. Leur présence communique à la farine lors de la mouture une teinte grisâtre et une odeur fétide désagréable, ils sont reconnaissable à l'œil nu par une coloration noirâtre des poils de la brosse au sommet du grain et donnent une farine sale lors de la mouture. [4]

## II. Présentation de la farine :

### *1. Définition :*

La farine est le produit obtenu après la mouture du grain de blé, ce sont des très fines particules résultant de la réduction de l'amande.

### *2. Type farine produite par les moulins:*

Les moulins fabriquent environ 5 types de farine et le SON. Chacune est utilisée soit pour faire du pain ou des gâteaux ...

**Fleur farine :** (figure 19) c'est une farine pâtissière ultra blanche et extra fine. Avec un taux de cendre est **0.50% maximum.**



**Figure 19 : Farine Fleur**

**Farine Ronde spéciale :** une farine avec une granulométrie supérieure (figure 20). Avec un taux de cendre entre **[0,61 - 0,79]%**



**Figure 20 : Farine Ronde spéciale**

**Farine Luxe Granulé :** (Figure 21) destiné à la fabrication des pains. Avec un taux de cendre est **0.60% maximum.**



**Figure 21 : Farine Luxe ronde**

**Farine luxe :** une farine idéale pour la fabrication des pains. Avec un taux de cendre entre [0,51 – 0,65]%. Cette farine est représentée dans la figure 22.



**Figure 22 : Farine Luxe**

**La farine nationale de blé tendre FNBT :** c'est une farine subventionnée par l'état. Avec un taux de cendre [0,80 – 1,10]%, la FNBT est représenté dans la figure 23 suivant [5]



**Figure 23 : FNBT**

**Le SON :** est un coproduit constitué par l'enveloppe du caryopse des céréales après séparation de l'amande. Lors de la mouture des céréales, le son fait partie des issues, c'est-à-dire des résidus obtenus après séparation de la farine par tamisage ou blutage [6]. Le SON est représenté dans la figure 24 ci-dessous :



**Figure 24 : SON de blé**

# Généralité sur l'ACP

## 1. Définition :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. Elle consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélés » en statistique) en nouvelles variables non corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées 'composantes principales', ou axes principaux. L'ACP permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

L'Analyse en Composantes Principales est une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives (continues ou discrètes) se présentant sous la forme de tableaux à M observations / N variables. Elle permet d'explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus. [7]

## 2. Objectifs de l'ACP :

Lorsqu'on étudie simultanément un nombre important de variables quantitatives, comment en faire un graphique global ? La difficulté vient de ce que les individus étudiés ne sont plus représentés dans un plan, espace de dimension 2, mais dans un espace de dimension plus grande.

L'objectif de l'Analyse en Composantes Principales est de revenir à un espace de dimension réduite en déformant le moins possible la réalité. Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales. [7]

## 3. Données d'une ACP :

On possède un tableau rectangulaire de mesure dont les colonnes sont des **variables** quantitatives et dont les lignes représentent des **individus** statistiques, comme s'est mentionné dans le tableau de la figure 25 ci-dessous.

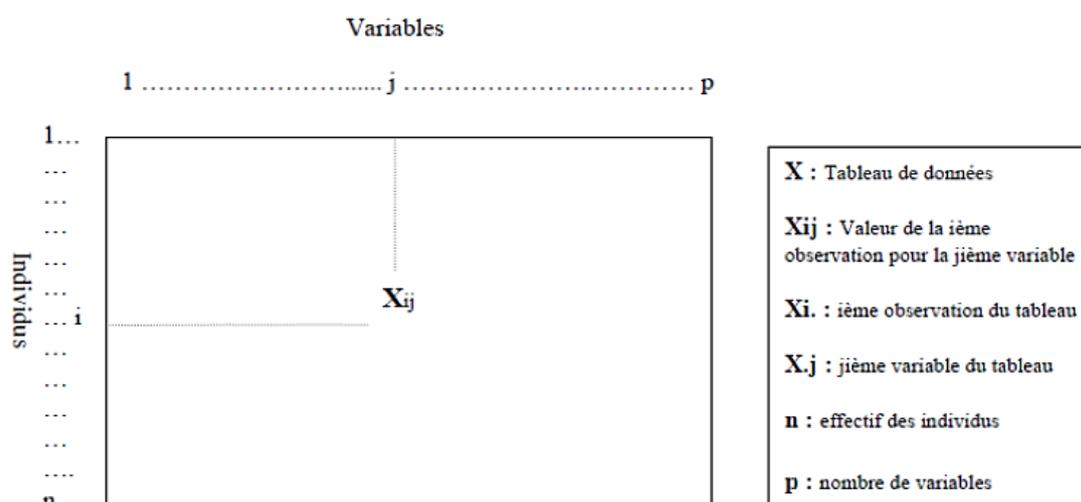


Figure 25 : tableau de données d'une ACP

#### 4. Interprétations géométriques :

Les représentations géométriques entre les lignes et entre les colonnes du tableau de données permettent de visualiser les proximités entre les individus et entre les variables, comme s'est indiqué dans la figure 26. [8]

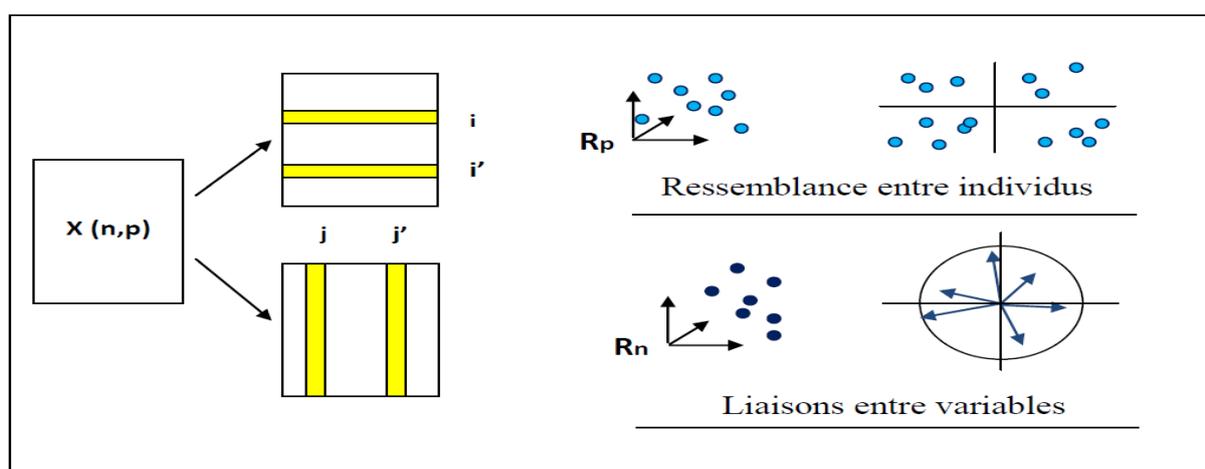


Figure 26 : Principe géométrique de l'ACP.

#### 5. Analyse des résultats d'une ACP :

##### 5. 1/ matrice de corrélation :

Cette matrice regroupe l'ensemble des corrélations qui existe entre les variables. Nous permet de savoir si les variables actives sont-elles factorisables ou pas. Si plusieurs variables sont corrélées, la factorisation est possible. Si non, la factorisation n'a pas de sens et n'est donc pas conseillée. [9]

## 5. 2/ L'espace des individus :

Dans l'espace à  $p$  coordonnées où se trouvent les individus, les  $n(n-1)$  distances attachées aux couples de points individus ont une interprétation directe pour l'utilisateur :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \quad \text{Pythagore}$$

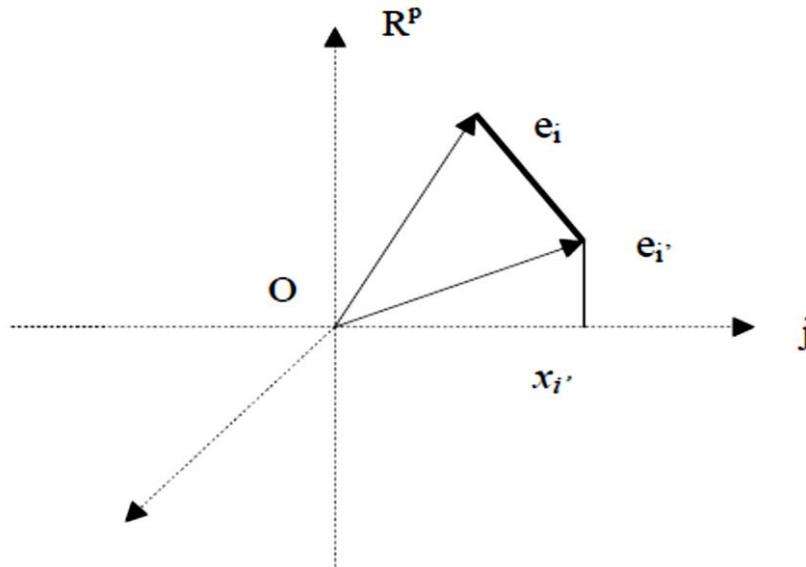


Figure 27 : Nuage des individus (Husson et al, 2009).

Il s'agit ici de la distance euclidienne classique. Deux points sont très voisins si, dans l'ensemble, leurs  $p$  coordonnées sont très proches. Les deux individus concernés sont alors caractérisés par des valeurs presque égales pour chaque variable. [8]

## 5. 3/ Représentation Des Variables:

Le cercle des corrélations est la projection du nuage des variables sur le plan des composantes principales (figure 28). [10]

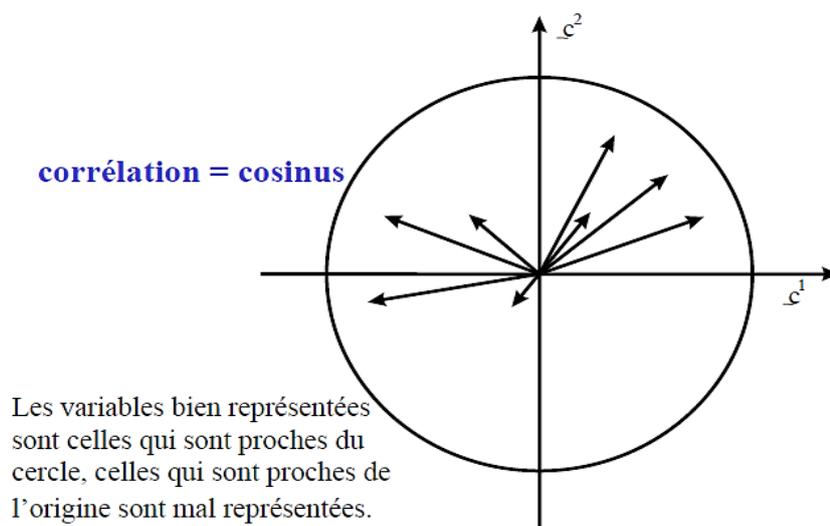
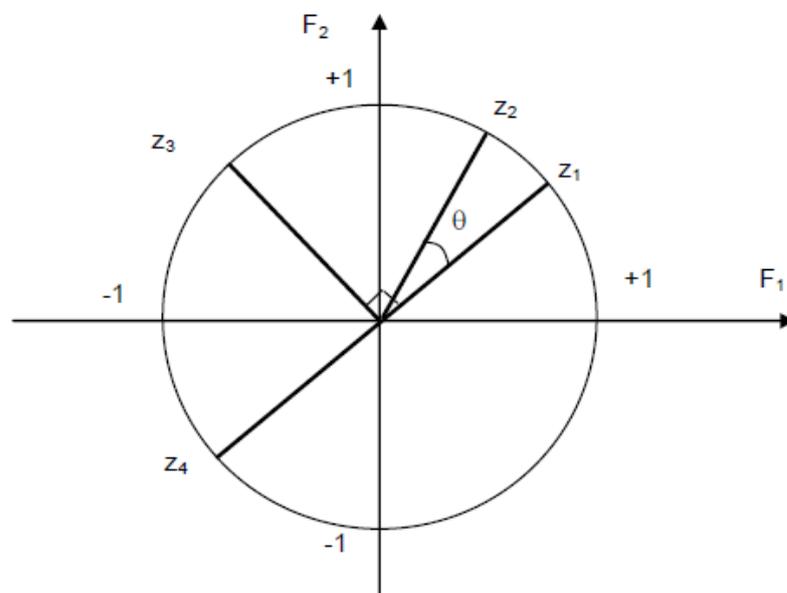


Figure 28 : cercle de corrélation

- une variable qui se trouve en projection sur le cercle de corrélation est une variable **parfaitement déterminée sur le plan**.
- Une variable proche du cercle de corrélation est une variable dite « **bien représentée** » dans le plan.
- Une variable proche de l'origine du cercle est une variable **mal représentée**.

On sait que dans un plan, L'angle entre 2 variables (figure 29), mesuré par son cosinus, est égal au coefficient de corrélation linéaire entre les 2 variables:

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{var(x)}\sqrt{var(y)}} = \cos (x, y)$$



**Figure 29 : cercle de corrélation**

- Si l'angle  $\theta$  tend vers 0:  $r (Z1, Z2) \rightarrow 1$  donc Z1 et Z2 sont très fortement corrélés positivement.
- Si l'angle  $\theta$  tend vers  $90^\circ = \pi/2$  :  $r (Z1, Z3) \rightarrow 0$  alors pas de corrélation linéaire entre Z1 et Z3.
- Si l'angle  $\theta$  tend vers  $180^\circ = \pi$  :  $r (Z1, Z4) \rightarrow -1$  : Z1 et Z4 sont très fortement corrélés négativement. [11]

#### **5. 4/ Variables illustratives :**

Les variables illustratives n'influencent pas la construction des composantes principales de l'analyse. Elles aident à l'interprétation des dimensions de variabilité. [12]

Les variables et les observations supplémentaires ne sont pas utilisés pour calculer les coordonnées des variables et des observations actives.

Cependant, elles sont très utiles pour pouvoir interpréter certains résultats. Elles sont affichées comme une couche supplémentaire par-dessus les graphiques des observations et des variables.

- **Variables supplémentaires quantitatives** : Ces variables sont affichées sur le graphique des variables. Elles n'ont aucun impact sur le pourcentage d'explications des dimensions car elles ne sont pas utilisées lors du calcul des composantes principales.
- **Observations supplémentaires**: Pour chaque observation supplémentaire, on calcule ses coordonnées sur chaque dimension et on la représente sur le graphique des individus. [13]

## **Partie 3 : Traitements des données**

## **Introduction :**

Dans le cadre de ce travail nous nous sommes intéressés au traitement des données récoltées par la production sur la ligne de production des farines. En effet, ces responsables suivent, pendant toute l'année plusieurs paramètres dans la ligne de production. Nous souhaitons donc évaluer les effets de ces paramètres sur le rendement en plusieurs produits à savoir :

-Le %SON (c'est les résidus obtenus après la séparation de la farine par tamisage ou blutage).

-Le %Farine Luxe (%F. Luxe est une farine idéale pour la fabrication des pains).

-Le %Farine Luxe Granulée (% F. Luxe Granulée est une farine avec une petite granulométrie destinée à la fabrication des pains).

A ce sujet nous avons choisi l'Analyse en Composantes Principales (ACP) comme démarche. Cette méthode a pour but, l'exploration des données, l'extraction d'information, l'élimination des bruits et la réduction des dimensions d'une table de données.

A cet effet, nous construirons un tableau de valeurs dans lequel figurent les suivis de tous les facteurs. Ensuite, nous en servirons pour étudier non seulement les corrélations entre facteurs mais aussi déterminer les facteurs les plus influents.

## **I. Analyse des données :**

### ***1. Paramètres de suivi de procédé cette étude :***

La série des données à laquelle nous nous intéressons est récoltée par les responsables de l'entreprise de la ligne de production pendant 139 jours (du juin 2018 au mars 2019). Ces données concernent le suivi de plusieurs paramètres du procédé de fabrication des farines.

Ces paramètres sont de deux types : Variables de suivi de procédé et variables de la qualité des produits finis.

#### **a- variables de suivi de procédé :**

Ces variables sont au nombre de dix. Ils permettent à l'équipe de la production de contrôler les paramètres de marche de ligne. Ils sont regroupés dans le tableau 2 suivant :

	Paramètre à suivre	Significations de ces paramètres
<b>Contrôle à la réception</b>	%PS (soft)	Le %Poids Spécifiques du soft ("soft" c'est un blé tendre qui contient plusieurs de grains mitadiner, il est importé de : France, Canada, Ukraine)
	%H (soft)	%Humidité du blé tendre soft
	%G. Echaudé S	%Grains Echaudés du Soft (= Il s'agit des grains desséchés avant la maturation à la suite d'un défaut d'alimentation du blé tendre Soft)
	%G. Cassé S	%Grains cassés du Soft (= sont les grains endommagées par battage du blé tendre Soft)
	%déchet S	%Déchet du blé tendre Soft
	%PS (local)	Le %Poids Spécifiques du local (= "local" c'est un blé tendre hétérogène, des variétés différentes, c'est un blé Marocain)
	%H (local)	%Humidité du blé tendre local
<b>La formulation</b>	%BT-S	%Blé Tendre Soft
	%BT-H	%Blé Tendre Hard ("Hard" c'est un blé tendre contient plusieurs grains vitreux, il est importé de : Italie et États-Unis d'Amérique)
<b>Temps de repos</b>	Temps de repos (heure)	Le temps de séjour (= est le temps moyen nécessaire pour reposer le blé après le mouillage)

**Tableau 2 : paramètres de suivi de procédé**

**b- variables de la qualité des produits finis :**

L'équipe de la production de la société a mis en place plusieurs variables de contrôle de la qualité des produits finis à l'aide d'un suivi de plusieurs paramètres. Ces paramètres sont regroupés dans le tableau 3 suivant :

	Paramètres des produits finis	Significations de ces paramètres
<b>Les Rendements des produits finis</b>	%F. Luxe	%Farine Luxe (=c'est une farine idéale pour la fabrication des pains)
	%FNBT	%Farine National de Blé Tendre (FNBT=c'est une farine subventionnée par l'état)
	%F. Ronde Spéciale	%Farine Ronde Spéciale (=c'est une farine avec une granulométrie supérieure)
	%F. Luxe Granulée	%Farine Luxe Granulée (=c'est une farine avec une petite granulométrie destinée à la fabrication des pains)
	%F. Fleur	%Farine Fleur (ou farine de première qualité c'est une farine pâtissière ultra blanche et extra fine)
	%SON	%SON (= les résidus obtenus après la séparation de la farine par tamisage ou blutage)
<b>Les analyses des produits finis</b>	%H F. Luxe	%Humidité de la Farine Luxe
	%Cendre F. Luxe	%Cendres de la Farine Luxe
	%P F. Luxe	%Protéine de la Farine Luxe
	%H FNBT	%Humidité de la FNBT

%Cendres FNBT	%Cendre de la FNBT
%P FNBT	%Protéine de la FNBT
%H F. L. Granulée	%Humidité de la Farine Luxe Granulée
%Cendres F. L. Granulée	%Cendres de la Farine Luxe Granulée
%P F. L. Granulée	%Protéine de la Farine Luxe Granulée
%H F. R. Spéciale	%Humidité de la Farine Ronde Spéciale
%Cendres F. R. Spéciale	%Cendres de la Farine Ronde Spéciale
%P F. R. Spéciale	%Protéine de la Farine Ronde Spéciale
%H F. fleur	%Humidité de la Farine Fleur
%Cendres F. fleur	%Cendres de la Farine Fleur
%P F. fleur	%Protéine de la Farine Fleur

**Tableau 3 : paramètres de suivi de la qualité des produits finis**

## **2- Analyses en composantes principales :**

L'objet d'une analyse multifactorielle tel que de l'ACP est l'extraction de l'information cachée derrière les corrélations existantes entre les différentes variables. En effet, les causes potentielles d'une mauvaise qualité des produits finis et leur rendement sont diverses et multiples. Il arrive parfois qu'on néglige ou on sous-estime l'une d'elles par inattention. Et c'est là où l'analyse en composante principale intervient. Il est vrai que son rôle est d'explorer les données, enlever le bruit, et extraire l'information, et réduire les dimensions d'une table de données. Mais aussi elle nous aidera ici en l'occurrence à comprendre, comment telle ou telle variable intervient sur notre phénomène, que certains variables insignifiantes auxquelles nous ne prêtons attention sont à tenir en compte. [14]

Par ailleurs, il nous est facile de voir théoriquement que tel ou tel facteurs influence sur le phénomène étudié, mais sans l'ACP, nous ne le saurions pas.

Nous utilisons le logiciel « **The Unscrambler** » pour le traitement des données de cette étude.

## **3- Analyse des résultats et interprétations :**

Nous allons traiter dans cette partie deux études : Etude des variables et étude des réponses.

### **a- Etude des variables :**

#### **a-1- Matrice des corrélations :**

Dans ce genre d'étude les données sont analysées minutieusement variable par variable. Nous analysons les valeurs aberrantes et nous éliminons les variables ou les individus qui présentent des valeurs manquantes. Ensuite nous procédons au calcul de la matrice des corrélations. Cette dernière nous permet d'analyser les relations bilatérales entre les différentes variables retenues.

Nous représentons dans le tableau 4 ci-dessous les corrélations entre les dix variables.

	PS(soft)	%H(soft)	G.echaudé S	G.cassé S	déchet S	PS(local)	%H(local)	%BT-S	%BT-H	Temps de repos (heure)
PS(soft)	1.00E+00	1.86E-01	-8.53E-01	-6.60E-01	-1.02E-01	-1.89E-01	3.71E-01	0.382	-4.96E-01	-1.22E-02
%H(soft)	0.186	1	-0.335	0.42	<b>0.734</b>	<b>-0.532</b>	<b>0.644</b>	0.232	-0.395	0.475
G.echaudé S	<b>-0.853</b>	-0.335	1	<b>0.71</b>	-2.34E-02	<b>0.526</b>	<b>-0.485</b>	<b>-0.57</b>	<b>0.71</b>	9.38E-02
G.cassé S	<b>-0.66</b>	0.42	<b>0.71</b>	1	<b>0.54</b>	0.125	-7.86E-04	-0.363	0.38	0.474
déchet S	-0.102	<b>0.734</b>	-2.34E-02	<b>0.54</b>	1	<b>-0.502</b>	<b>0.559</b>	0.439	-0.456	<b>0.895</b>
PS(local)	-0.189	<b>-0.532</b>	<b>0.526</b>	0.125	<b>-0.502</b>	1	-0.451	<b>-0.595</b>	<b>0.658</b>	-0.267
%H(local)	0.371	<b>0.644</b>	<b>-0.485</b>	-7.86E-04	<b>0.559</b>	-0.451	1	0.426	<b>-0.595</b>	<b>0.488</b>
%BT-S	0.382	0.232	<b>-0.57</b>	-0.363	0.439	<b>-0.595</b>	0.426	1	<b>-0.909</b>	0.396
%BT-H	<b>-0.496</b>	-0.395	<b>0.71</b>	0.38	-0.456	<b>0.658</b>	<b>-0.595</b>	<b>-0.909</b>	1	-0.36
Temps de repos (heure)	-1.22E-02	0.475	9.38E-02	0.474	<b>0.895</b>	-0.267	<b>0.488</b>	0.396	-0.36	1

**Tableau 4 : Matrice des corrélations entre les dix variables.**

Nous pouvons constater clairement du tableau 4 ci-dessus la relation positive entre le « temps de repos (heure) » et le « %déchet S » et aussi les relations négatives entre le « %PS soft » et le « %G. Echaudé S ». Toutes ces corrélations entre variables vont nous aider à interpréter les axes factoriels par leur corrélation avec les autres variables.

#### **a-2- Pourcentage de variabilité expliquée en fonction de nombre de composantes principales :**

Après traitement des données, nous avons obtenus des axes principaux de la nouvelle base. Les valeurs propres indiquant la part de l'ensemble de l'information contenue sur chaque facteur en composante principale. Les axes sont indépendants les uns des autres. Nous rappelons ici que les composantes principales sont hiérarchisées et prennent des parts décroissantes de la variance. Les premiers axes concentrent généralement l'essentiel de l'information ce qui facilite plus l'analyse.

Nous représentons dans le tableau 5 ci-dessous le pourcentage cumulé de la variabilité expliquée en fonction des dix composantes principales.

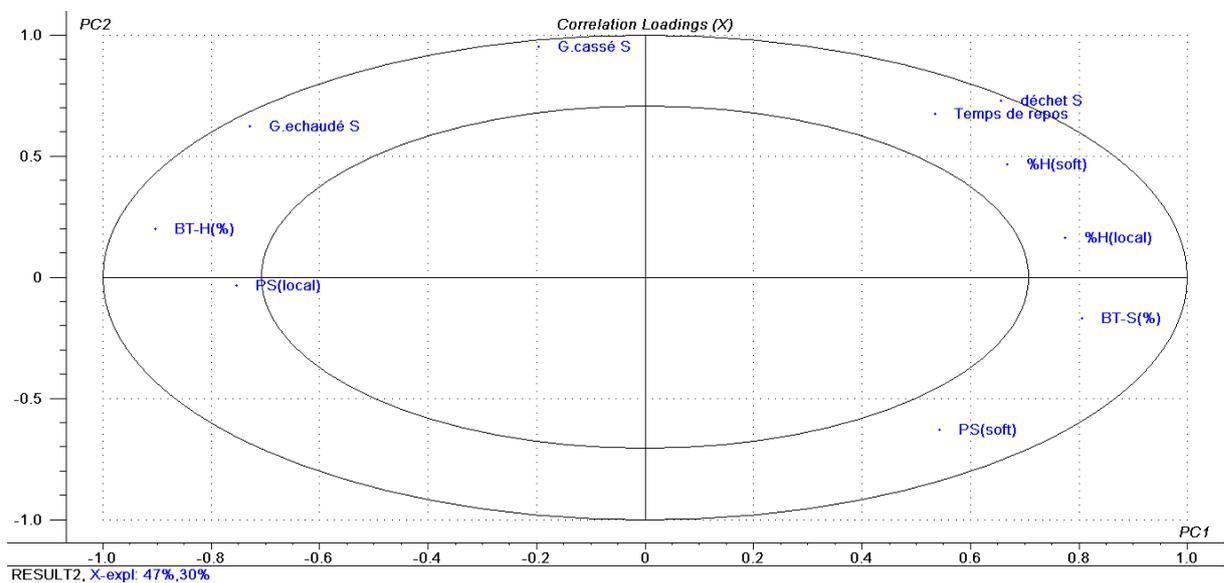
	ExpXCalTot (PCs)	ExpXValTot (PCs)
PC_01	46.59	38.57
PC_02	76.52	69.36
PC_03	85.84	78.47
PC_04	92.86	87.28
PC_05	96.42	92.17
PC_06	98.77	96.62
PC_07	99.43	97.85
PC_08	99.98	99.86
PC_09	100.00	99.95
PC_10	100.00	M

**Tableau 5: Pourcentage de variabilité expliquée des variables.**

Dans notre étude et d'après les résultats représentés dans le tableau 5 ci-dessus nous constatons sans ambiguïté que le premier axe de l'ACP correspond à la première valeur propre. Cet axe concentre à lui seul presque la moitié de l'information "46%". Le second et le troisième axe contribuent à hauteur de "86%". Donc les trois premières axes expliquent jusqu'à "86%" de la variance totale. L'information contenue sur les sept autres pouvant être considérée comme résiduelle.

### a-3- Analyse des corrélations variables-facteurs :

L'analyse de la corrélation de chaque axe principal retenu avec les dix variables permet de déterminer leur signification. Nous représentons dans la figure 30 ci-dessous la projection des dix variables retenue pour cette étude dans le plan factoriel des axes F1 et F2.



**Figure 30 : Graphe des « loadings » pour les dix variables.**

Nous constatons d'après le graphe de la figure 30 que l'axe F2 partage l'espace en deux zones : variables qui corrént positivement avec l'axe F1 et d'autres corrént négativement selon le même axe. L'axe F2 corrént avec les « %G. cassé S ».

### b- Etude des réponses :

Nous projetons les réponses de la qualité des produits finis dans l'espace des plans de nouveau axes de l'ACP.

#### b-1- Matrice de corrélation :

Nous représentons dans le tableau 6 ci-dessous les corrélations entre les dix variables et les réponses de la qualité des produits finis.

	PS(soft)	%H(soft)	G.echaudé S	G.cassé S	déchet S	PS(local)	%H(local)	BT-S(%)	BT-H(%)	Temps de re	F.Luxe(%)	F.Luxe Granulée(%)	SON(%)	P(%) L.Granulée	P(%) R.Spéciale
PS(soft)	1	0.186	-0.853	-0.66	-0.102	-0.189	0.371	0.382	-0.496	-1.22E-02	-0.393	0.299	0.38	0.306	0.283
%H(soft)	0.186	1	-0.335	0.42	0.734	-0.532	0.644	0.232	-0.395	0.475	-0.566	0.57	0.41	0.715	0.272
G.echaudé S	-0.853	-0.335	1	0.71	-2.34E-02	0.526	-0.485	-0.57	0.71	9.38E-02	0.603	-0.506	-0.553	-0.467	-0.49
G.cassé S	-0.66	0.42	0.71	1	0.54	0.125	-7.86E-04	-0.363	0.38	0.474	0.159	-6.57E-02	-0.226	7.68E-02	-0.372
déchet S	-0.102	0.734	-2.34E-02	0.54	1	-0.502	0.559	0.439	-0.456	0.895	-0.441	0.51	0.356	0.301	0.154
PS(local)	-0.189	-0.532	0.526	0.125	-0.502	1	-0.451	-0.595	0.658	-0.267	0.479	-0.407	-0.524	-0.502	-0.553
%H(local)	0.371	0.644	-0.485	-7.86E-04	0.559	-0.451	1	0.426	-0.595	0.488	-0.588	0.642	0.471	0.44	0.385
BT-S(%)	0.382	0.232	-0.57	-0.363	0.439	-0.595	0.426	1	-0.909	0.396	-0.439	0.358	0.654	0.129	0.481
BT-H(%)	-0.496	-0.395	0.71	0.38	-0.456	0.658	-0.595	-0.909	1	-0.36	0.601	-0.533	-0.701	-0.304	-0.574
Temps de repos (heure)	-1.22E-02	0.475	9.38E-02	0.474	0.895	-0.267	0.488	0.396	-0.36	1	-0.267	0.342	0.238	4.83E-02	7.25E-02
F.Luxe(%)	-0.393	-0.566	0.603	0.159	-0.441	0.479	-0.588	-0.439	0.601	-0.267	1	-0.716	-0.595	-0.353	-0.404
F.Luxe Granulée(%)	0.299	0.57	-0.506	-6.57E-02	0.51	-0.407	0.642	0.358	-0.533	0.342	-0.716	1	0.426	0.354	0.383
SON(%)	0.38	0.41	-0.553	-0.226	0.356	-0.524	0.471	0.654	-0.701	0.238	-0.595	0.426	1	0.333	0.449
P(%) L.Granulée	0.306	0.715	-0.467	7.68E-02	0.301	-0.502	0.44	0.129	-0.304	4.83E-02	-0.353	0.354	0.333	1	0.516
P(%) R.Spéciale	0.283	0.272	-0.49	-0.372	0.154	-0.553	0.385	0.481	-0.574	7.25E-02	-0.404	0.383	0.449	0.516	1

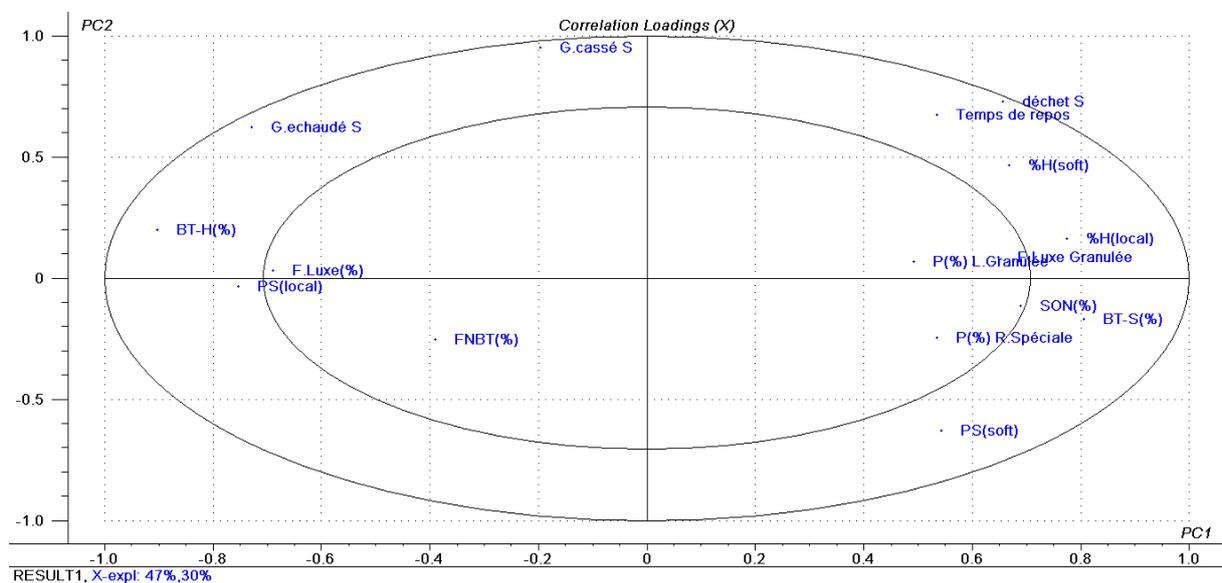
**Tableau 6 : Matrice des corrélations pour les variables et les réponses de la qualité des produits finis.**

Nous constatons d'après le tableau 6 ci-dessus que seules les réponses : le « %Farine Luxe », le « %FNBT », le « %Farine Luxe granulé », le « %SON », le « %P Luxe Granulée », et le « %P Farine Ronde Spéciale » sont reliées avec les variables. Et les autres réponses ne sont pas corrélées.

Donc la suite de ce travail nous nous intéressons qu'à ces six réponses.

### b-2- Analyse des corrélations variables-réponses :

Nous représentons dans la figure 31 ci-dessous la projection des dix variables et les six réponses de la qualité des produits finis retenues pour cette étude dans le plan factoriel des axes F1 et F2.



**Figure 31: Graphe des « loadings » pour les variables et les six réponses de la qualité des produits finis.**

D'après le graphe de la figure 31 nous pouvons conclure qu'il y a deux types de réponses : réponses qui sont pertinentes qui sont proches du cercle et réponses qui ne le sont pas qui sont proches du centre.

- Les réponses pertinentes sont : «%SON », « %F. Luxe », « %F. Luxe Granulé »
- Les autres réponses ne sont pas pertinentes.

Alors nous allons traiter les réponses pertinentes une par une.

### A. Le %SON :

#### **A.1- Matrice de corrélation :**

Les corrélations entre le « %SON » et les dix variables sont représentés dans le tableau 7 ci-dessous.

	PS(soft)	%H(soft)	G.echaudé	G.cassé S	déchet S	PS(local)	%H(local)	BT-S(%)	BT-H(%)	Temps de r	SON(%)
PS(soft)	1	0.186	-0.853	-0.66	-0.102	-0.189	0.371	0.382	-0.496	-1.22E-02	0.38
%H(soft)	0.186	1	-0.335	0.42	0.734	-0.532	0.644	0.232	-0.395	0.475	0.41
G.echaudé	-0.853	-0.335	1	0.71	-2.34E-02	0.526	-0.485	-0.57	0.71	9.38E-02	-0.553
G.cassé S	-0.66	0.42	0.71	1	0.54	0.125	-7.86E-04	-0.363	0.38	0.474	-0.226
déchet S	-0.102	0.734	-2.34E-02	0.54	1	-0.502	0.559	0.439	-0.456	0.895	0.356
PS(local)	-0.189	-0.532	0.526	0.125	-0.502	1	-0.451	-0.595	0.658	-0.267	-0.524
%H(local)	0.371	0.644	-0.485	-7.86E-04	0.559	-0.451	1	0.426	-0.595	0.488	0.471
BT-S(%)	0.382	0.232	-0.57	-0.363	0.439	-0.595	0.426	1	-0.909	0.396	0.654
BT-H(%)	-0.496	-0.395	0.71	0.38	-0.456	0.658	-0.595	-0.909	1	-0.36	-0.701
Temps de r	-1.22E-02	0.475	9.38E-02	0.474	0.895	-0.267	0.488	0.396	-0.36	1	0.238
SON(%)	0.38	0.41	<b>-0.553</b>	-0.226	0.356	<b>-0.524</b>	0.471	<b>0.654</b>	<b>-0.701</b>	0.238	1

**Tableau 7 : Matrice des corrélations pour « les variables » et le « %SON ».**

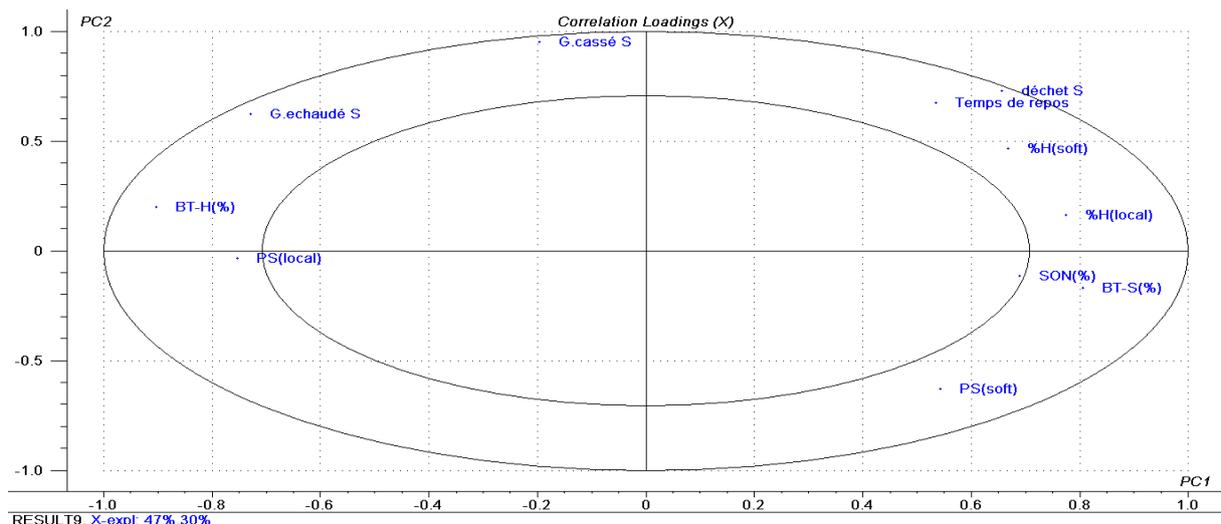
Dans le tableau 7 ci-dessus, nous pouvons déduire que :

-la variable «%SON » corrèle négativement avec : les « %G. Echaudés (Soft) », le « %PS (local) », et le mélange de «%BT-H». Donc plus les valeurs de ces trois variables augmente plus le « %SON » diminue.

-la variable «%SON » corrèle positivement avec : la formulation de « %BT-S » c'est à dire plus le mélange de « %BT-S » augmente plus le « %SON » augmente aussi.

#### **A.2- Analyse des corrélations variables-« %SON »:**

Nous projetons dans la figure 32 ci-dessous le « %SON » sur les dix variables dans le plan factoriel des axes F1 et F2.



**Figure 32 : Graphe des « loadings » pour « les variables » et le « %SON ».**

Comme illustrée dans le graphe de la figure 32 ci-dessus nous constatons que : le « %SON » augmente selon la première composante principale (PC1), et corrèle positivement d'une part avec la formulation de « %BT-S », et d'autre part corrèle négativement avec les « %G. Echaudées de Soft », « %PS (Local) », et le « %BT-H ».

### **Conclusion :**

Pour diminuer le rendement de « %SON » il faut :

- Augmenter les « %G. Echaudés soft », le « %PS(Local) », et le mélange de « %BT-H »
- Diminuer la quantité de « %BT-S » dans la formulation, car l'enveloppe de ce dernier est grosse.

### **B. Le %Farine Luxe :**

#### **B.1- Matrice de corrélation :**

Nous représentons dans le tableau 8 ci-dessous les corrélations entre la variable «% F. Luxe » avec les dix variables procédé.

	PS(soft)	%H(soft)	G.echaudé	G.cassé S	déchet S	PS(local)	%H(local)	BT-S(%)	BT-H(%)	Temps de r	F.Luxe(%)
PS(soft)	1	0.186	-0.853	-0.66	-0.102	-0.189	0.371	0.382	-0.496	-1.22E-02	-0.393
%H(soft)	0.186	1	-0.335	0.42	0.734	-0.532	0.644	0.232	-0.395	0.475	-0.566
G.echaudé	-0.853	-0.335	1	0.71	-2.34E-02	0.526	-0.485	-0.57	0.71	9.38E-02	0.603
G.cassé S	-0.66	0.42	0.71	1	0.54	0.125	-7.86E-04	-0.363	0.38	0.474	0.159
déchet S	-0.102	0.734	-2.34E-02	0.54	1	-0.502	0.559	0.439	-0.456	0.895	-0.441
PS(local)	-0.189	-0.532	0.526	0.125	-0.502	1	-0.451	-0.595	0.658	-0.267	0.479
%H(local)	0.371	0.644	-0.485	-7.86E-04	0.559	-0.451	1	0.426	-0.595	0.488	-0.588
BT-S(%)	0.382	0.232	-0.57	-0.363	0.439	-0.595	0.426	1	-0.909	0.396	-0.439
BT-H(%)	-0.496	-0.395	0.71	0.38	-0.456	0.658	-0.595	-0.909	1	-0.36	0.601
Temps de r	-1.22E-02	0.475	9.38E-02	0.474	0.895	-0.267	0.488	0.396	-0.36	1	-0.267
F.Luxe(%)	-0.393	<b>-0.566</b>	<b>0.603</b>	0.159	-0.441	<b>0.479</b>	<b>-0.588</b>	-0.439	<b>0.601</b>	-0.267	1

**Tableau 8: Matrice des corrélations pour « les variables » et le «% F. Luxe ».**

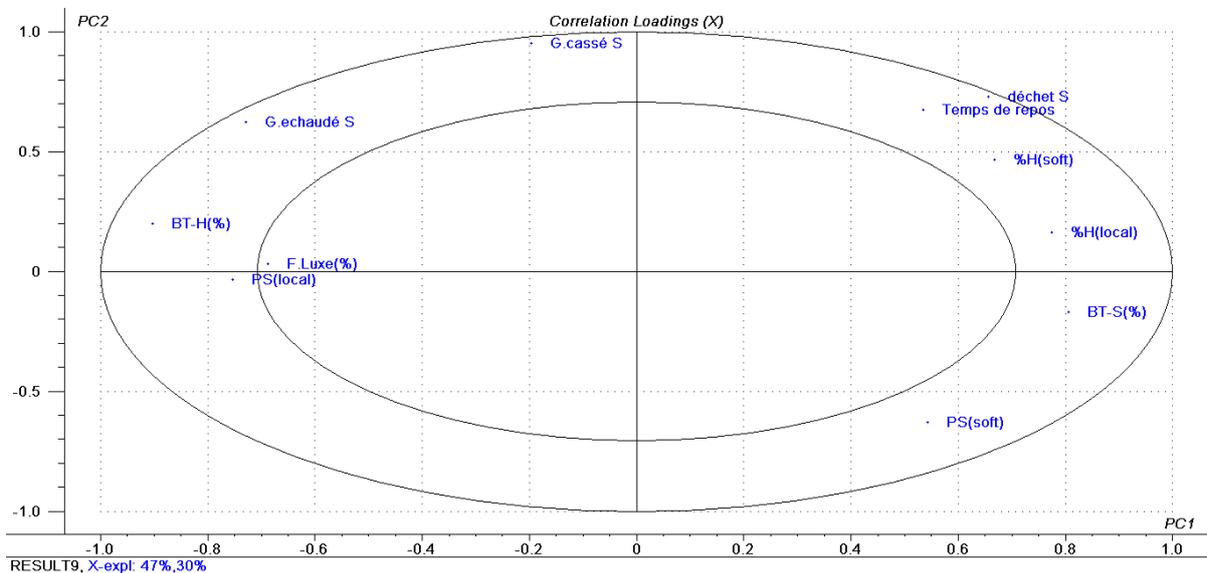
Nous pouvons constater d'après le tableau 8 ci-dessus que :

- la variable « %F. Luxe » corrèle négativement avec : le « %H (soft) » et le « %H (local) ». Donc plus le blé est sec plus nous obtenons une grande quantité du « %Farine Luxe ».

- la variable « %F. Luxe » corrèle positivement avec : les « % G. Echaudés soft », le « %PS (local) », et la formulation de « %BT-H ». Donc plus nous augmentons ces trois variables plus le « %Farine Luxe » augmente.

### B.2- Analyse des corrélations variables-« %F. Luxe »:

Nous projetons dans la figure 33 ci-dessous la « %F. Luxe » avec les dix variables pertinentes sur les deux premiers composantes principales PC1 et PC2.



**Figure 33 : Graphe des « loadings » pour « les variables » et la « %F. Luxe ».**

Nous concluons d'après le graphe 33 que nous avons indiqué auparavant que : le variable « %F. Luxe » corrèle négativement selon la première composante principale (PC1), avec le « %H (soft) » et le « %H (local) », et corrèle positivement avec les « %G. Echaudés soft », le « %PS (local) » et le mélange de « %BT-H » selon le même axe.

### **Conclusion :**

Pour augmenter le rendement de la « %F. Luxe » il faut :

- diminuer le « %H (soft) » et le « %H (local) ».
- augmenter les « %G. Echaudé (soft) », le « %PS (local) », et le mélange de « %BT-H ».

## C. Le %Farine Luxe Granulé :

### C.1- Matrice de corrélation :

Les corrélations entre la « %F. Luxe Granulé » et les dix variables sont représentés dans le tableau 9 suivant :

	PS(soft)	%H(soft)	G.echaudé	G.cassé S	déchet S	PS(local)	%H(local)	BT-S(%)	BT-H(%)	Temps de r	F.Luxe Gran
PS(soft)	1	0.186	-0.853	-0.66	-0.102	-0.189	0.371	0.382	-0.496	-1.22E-02	0.299
%H(soft)	0.186	1	-0.335	0.42	0.734	-0.532	0.644	0.232	-0.395	0.475	0.57
G.echaudé	-0.853	-0.335	1	0.71	-2.34E-02	0.526	-0.485	-0.57	0.71	9.38E-02	-0.506
G.cassé S	-0.66	0.42	0.71	1	0.54	0.125	-7.86E-04	-0.363	0.38	0.474	-6.57E-02
déchet S	-0.102	0.734	-2.34E-02	0.54	1	-0.502	0.559	0.439	-0.456	0.895	0.51
PS(local)	-0.189	-0.532	0.526	0.125	-0.502	1	-0.451	-0.595	0.658	-0.267	-0.407
%H(local)	0.371	0.644	-0.485	-7.86E-04	0.559	-0.451	1	0.426	-0.595	0.488	0.642
BT-S(%)	0.382	0.232	-0.57	-0.363	0.439	-0.595	0.426	1	-0.909	0.396	0.358
BT-H(%)	-0.496	-0.395	0.71	0.38	-0.456	0.658	-0.595	-0.909	1	-0.36	-0.533
Temps de r	-1.22E-02	0.475	9.38E-02	0.474	0.895	-0.267	0.488	0.396	-0.36	1	0.342
F.Luxe Gran	0.299	<b>0.57</b>	<b>-0.506</b>	-6.57E-02	<b>0.51</b>	-0.407	<b>0.642</b>	0.358	<b>-0.533</b>	0.342	1

**Tableau 9 : Matrice des corrélations pour les « variables » et la «% F. Luxe Granulée ».**

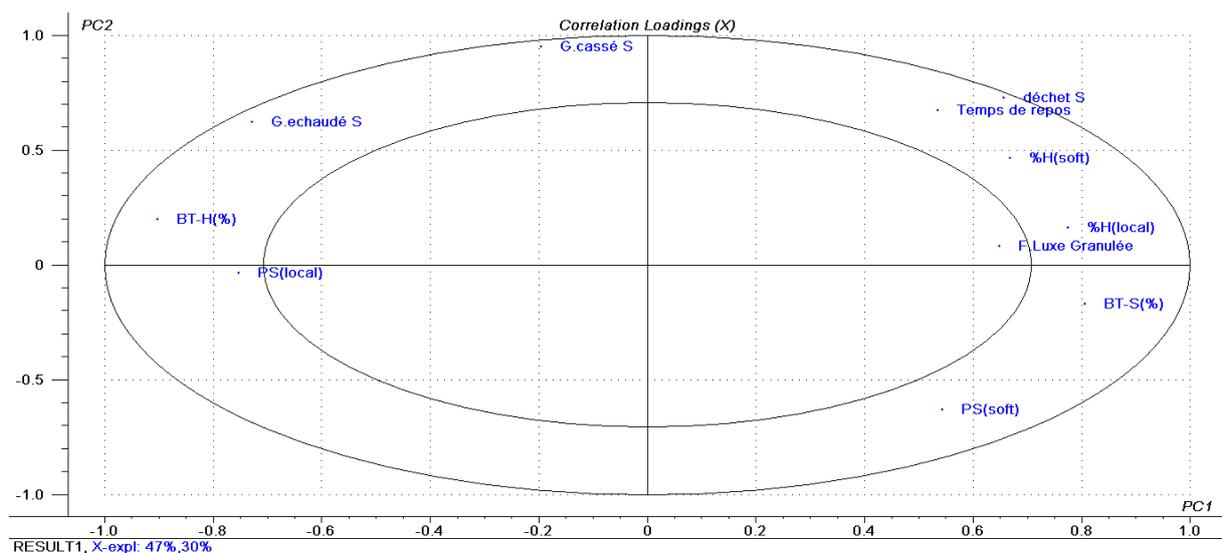
Nous pouvons déduire d'après le tableau 9 que :

- la variable « %F. luxe Granulée » est liée positivement avec : le « %H (soft) », le « %H (local) », et le « %déchet soft ».

- la variable « %F. Luxe Granulée » est liée négativement avec : les « %G. Echaudés soft » et le mélange de « %BT-H ».

### C.2- Analyse des corrélations variables-« %F. Luxe Granulée »:

Nous illustrons dans la figure 34 ci-dessous la «% F. Luxe Granulée » avec les dix variables pertinentes dans le plan factoriel des axes PC1 et PC2.



**Figure 34 : Graphe des « loadings » pour les « variables » et la «% F. Luxe Granulée».**

Nous concluons d'après le graphe de la figure 34 que :

-La variable « %F. luxe granulé » corrèle selon l'axe PC1 d'une côté positivement avec le « %H (soft) », le « %H (local) » et le « %déchet soft », et d'autre côté négativement avec les « %G. Echaudés soft », et le mélange de « %BT-H ».

### **Conclusion :**

Pour augmenter le rendement de la « %F. Luxe Granulé » il faut :

- augmenter le « %H (soft) », et le « %H (local) ».
- diminuer les « %G. Echaudée Soft » et le mélange de « %BT-H ».

### **Conclusion d'étude :**

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé dix variables avec trois réponses par la méthode d'analyse en composante principale.

Dans l'étude des variables nous avons obtenus les trois premiers axes expliquent jusqu'à "86%" de l'information totale de l'ensemble des variables. Et nous avons projetées les trois réponses pertinentes une par une sur les dix variables retenue pour cette étude dans le plan factoriel des axes F1 et F2.

Les réponses que nous avons traitées sont : le « %SON », le «% F. Luxe», et le «% F. Luxe Granulé ».

Pour optimiser ces trois réponses que nous avons citées auparavant il faut :

- diminuer le « %SON »
- augmenter le « %F. Luxe »
- augmenter le « %F. Luxe Granulée ».

## *Conclusion générale*

Le stage effectué à la société Minoteries Houcine Lahbabi FES, dans le cadre du projet de fin d'études du Master Sciences et Technique : Chimométrie et Analyse Chimique ; Application à la Gestion Industrielle de la Qualité (MST CAC AGIQ), était une occasion de se familiariser au monde professionnel et aussi contribuer au développement de cette entreprise par nos connaissances scientifiques acquises durant les années passées à la FST.

Au cours de ce travail nous nous sommes intéressés à l'amélioration de la qualité et du rendement des produits finis.

Notre étude s'est portée sur un traitement des données récoltées par la production sur la ligne de production des farines. En effet, nous avons choisi, avec l'équipe technique de la société Minoteries Houcine Lahbabi, les paramètres de contrôle susceptibles d'être pertinents dans ce procédé.

Nous avons réalisés une étude ACP (Analyse en composantes principales) afin de définir les paramètres qui sont pertinents. Et aussi pour déterminer les corrélations existantes entre les variables de procédé et les variables de la qualité des produits finis.

Les réponses pertinentes que nous avons traitées sont : le « %SON », le « % F. Luxe », et le « % F. Luxe Granulé ». Donc pour améliorer ces trois réponses il faut :

- diminuer le « %SON »
- augmenter le « %F. Luxe »
- augmenter le « %F. Luxe Granulée ».

Néanmoins, pour une étude ultérieure il serait souhaitable d'ajouter d'autres variables du procédé afin de définir les paramètres convenables capables de maîtriser le procédé des produits finis qui ne sont pas pertinente.

## Références

- [1] [https://books.google.com/books/about/Le\\_Blé.html?id=a8M\\_318IZLkC](https://books.google.com/books/about/Le_Blé.html?id=a8M_318IZLkC)
- [2] <http://www.boulangerie.net/forums/bnweb/dt/mp/InfoBlefar.php>
- [3] [http://www.onicl.org.ma/portail/sites/default/files/FichierPage/QUALITE\\_BTR14.pdf](http://www.onicl.org.ma/portail/sites/default/files/FichierPage/QUALITE_BTR14.pdf)
- [4] <https://ssl10.ovh.net/~labocgac/impuretes-et-incidences-p30.html>
- [5] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Farine>
- [6] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Son\\_\(meunerie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Son_(meunerie))
- [7] <Etude%20Quantitatives%20et%20Qualita%20%20ALOUANE%20Zouhir3352%20.pdf>
- [8] <http://www.deenov.com/Data/Sites/1/docs/acp-tutoriel.pdf>
- [9] <http://www.lemoal.org/download/spss/ACP.pdf>
- [10] <http://maths.cnam.fr/IMG/pdf/A-C-P-.pdf>
- [11] <https://freakonometrics.hypotheses.org/675>
- [12] <http://factominer.free.fr/factomethods/analyse-en-composantes-principales.html>
- [13] [https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2962894-ajouter-des-variables-et-des-observations-suppl%C3%A9mentaires-%C3%A0-une-acp?b\\_id=9283](https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2962894-ajouter-des-variables-et-des-observations-suppl%C3%A9mentaires-%C3%A0-une-acp?b_id=9283)
- [14] <www.memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/get/pdf/2752> Contrôle qualité des produits laitiers et étude des paramètres par les ...