

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers E .N.S.A .M



Département Génie Industriel

Rapport de projet

Thème

**La mise en place du contrôle en cours de la fabrication du
poids de sucre dans la ligne de production de COSUMAR**

Réalisé par :

MARIH AICHA

BACHAR SOUKAINA

EL-KHAIRANI ZOUHAIR

Année Universitaire : 2020/2021

Table des matières

Introduction générale :	4
Chapitre I :	
Maitrise Statistique Des Procédés	7
1. CONTROLE DE LA QUALITE :	8
2. DEFINITION DE LA M.S.P :	8
3. LES BENEFICES DE LA M.S.P :	9
4. LES OBJECTIFS DE LA M.S.P :	9
5. La M.S.P ET LE PROCESSUS DE PRODUCTION :	11
6. LES OUTILS DE LA M.S .P :	11
7. LES CARTES DE CONTROLE :	12
8. LA CAPABILITE OU L'APTITUDE D'UN PROCEDE :	16
10. HISTOGRAMME (outil statistique) :	18
Chapitre2 :	
L'environnement général du projet	21
1.Identification de COSUMAR	22
2.Le processus de fabrication du sucre :	22
3.La fabrication du sucre brut	22
4.Partie production :	29
5.Décomposition fonctionnelle:	33
6.Les cartes de contrôle	37
Chapitre3 :	
L'analyse de l'environnement	44
Analyse et évaluation de la situation	45
Diagramme d'Ishikawa	46
Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité	49
Conclusion	53

Listes des figures :

Figure 1: Les sous-groupes MSP	12
Figure 2 : Exemple de processus « maîtrisé ».	15
Figure 3 : Exemple de processus présentant des causes spéciales.	16
Figure 4 : Le tableau de répartition d'un histogramme.	19
Figure 5 : Exemple d'un histogramme.	20
Figure 6 : Processus de raffinage du sucre brut	24
Figure 7 : Schéma des chaudières de carbonatation	27
Figure 8: Les différents produits de la COSUMAR	28
Figure 9 : Cylindre de dosage	29
Figure 10 : Axe linéaire	30
Figure 11 : Station Grappin	31
Figure 12 : Système de lavage des moules	31
Figure 13 : Organigramme de la ligne de moulage.	32
Figure 14 : SADT A0	34
Figure 15 : SADT A0 détaillé.	34
Figure 16 : Les données insérées dans logiciel R.	36
Figure 17 : Histogramme de La ligne de production.	37
Figure 18 : Les données insérées dans Excel	38
Figure 19 : Carte de contrôle des moyennes.	39
Figure 20 : Carte de contrôle des moyennes	40
Figure 21: Carte de contrôle des étendues.	41
Figure 22 : Carte des étendus	41
Figure 23 : La méthode QQQQCP	45
Figure 24 : Processus de la méthode AMDEC	50
Figure 25 : La solution proposée sur CATIA	53
Figure 26 : Drafting de la solution proposée	54

Introduction Générale :

L'industrie cherche depuis toujours à réduire la variabilité au travers de standards, de la répétabilité et de la reproductivité des moyens de mesure, de la capabilité des moyens de production. Les variations et instabilités sont nuisibles parce qu'elles écartent les caractéristiques des standards définis ; ce que l'on obtient n'est pas tout à fait ce qui était prévu ni dans les temps ou les coûts définis ou bien en terme qualité qui est un objectif important depuis que les besoins de consommateurs ont été intégrés dans la boucle de décision et elle devient un véritable outil stratégique et offensif pour faire face aux nouveaux enjeux de l'entreprise.

Elle est actuellement considérée comme un des leviers principaux avec lesquels une entreprise peut augmenter sa position concurrentielle globale, La qualité est devenue essentielle pour s'assurer que les produits d'une entreprise satisfont les besoins des clients et ceci quel que soit leur domaine d'activité ou leur taille.

La variabilité d'un procédé, d'une machine ou de la matière peut entraîner des problèmes de qualité, Très tôt dans l'industrie on a mis sur pied des moyens de contrôle pour détecter les variations, dont certaines sont simples comme les cartes de contrôle et des moyens pour chercher à la cause de ces variations comme Ishikawa et d'autres pour trouver et proposer des solutions à ces problèmes (AMDEC ...).

Dans cette perspective, notre projet a ciblé comme but d'étude : l'amélioration de processus de production. Pour cette raison le thème choisi est la mise en place du contrôle en cours de la fabrication du poids de sucre dans une ligne de production dans cosumar (cas d'étude).

Description de projet :

L'industrie utilise des équipements de plus en plus sophistiqués et automatisés. De ce fait, l'homme intervient de moins en moins sur le produit. Il n'a donc plus autant de regard sur la production pendant que celle-ci est en cours. Le contrôle en cours de production est donc une étape essentielle, qui permet aux opérateurs de vérifier, avec attention, que le produit final est conforme aux attentes du client, afin de permettre non seulement une évaluation du niveau de la qualité de la fabrication, mais aussi la possibilité de réduction des pertes le plus rapidement. C'est dans ce contexte que nous allons mener notre étude.

Et l'industrie sucrière fait partie des industries alimentaires les plus importantes, pionnière au Maroc dans ce secteur d'activité et première entreprise de la filière sucrière, la COSUMAR (Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage), est une entreprise leader sur le marché national du sucre avec plus de 900 tonnes de production par jour. COSUMAR s'est installée dans la modernité, en proposant toute une gamme de produits, adaptée aux habitudes de consommation d'aujourd'hui. Ce positionnement permet à la COSUMAR de faire une partie dans notre projet comme cas d'étude dans l'intention d'allier l'enseignement théorique acquise et une formation pratique virtuelle à travers des données collectées, en vue de découvrir le monde de travail malgré cette situation épidémique. L'objectif de ce travail consiste donc à la mise en place du contrôle en cours de la fabrication du poids de sucre dans la ligne de production de COSUMAR.

Le présent projet est axé principalement sur la méthode MSP (la maîtrise statistique des procédés) qui met à la disposition de l'entreprise des moyens potentiels pour suivre le procédé et pour intervenir à temps afin de limiter la variabilité et assurer une production centrée et la moins dispersée possible. Parmi ces outils les cartes de contrôle, elles permettent de surveiller la répartition chronologique d'un indicateur (dans notre étude l'indicateur est le poids de pain de sucre) et donner un signal d'alarme si des évolutions significatives (« causes spéciales ») ont lieu, à fin d'atteindre ces objectifs nous allons les réaliser avec le logiciel EXECL. L'histogramme est un autre outil important que nous allons le réaliser à travers le logiciel R en vue de vérifier si la production suit une loi normale. Et finalement le contrôle de qualité ne peut être abouti que par le calcul des indices de capacité qu'ont comme but principale vérifier si le processus est apte à produire des pièces conformes.

Enfin, la construction de notre dernière partie de projet est basée sur les interprétations des cartes de contrôle, l'histogramme et le calcul des indices de capabilité. Si le processus est hors contrôle, nous allons aborder deux outils de gestion de qualité, le premier est ISHIKAWA, cet outil visuel a pour finalité de lister les causes qui ont une influence sur l'effet, de les classer et les hiérarchiser, le deuxième est AMDEC qui permet de détecter les défaillances de notre ligne de production et de définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances.

Chapitre I :

La Maitrise Statistique Des Procédés

L'industrie utilise des équipements de plus en plus sophistiqués et automatisés. De ce fait, l'homme intervient de moins en moins sur le produit. Il n'a donc plus autant de regard sur la production pendant que celle-ci est en cours. Le contrôle en cours est donc une étape hors production, qui permet aux opérateurs de vérifier, avec attention, que le produit final est conforme aux attentes du client. Dans ce contexte notre premier chapitre sera consacré pour définir un ensemble des méthodes et les outils statistiques qu'ont comme but principale l'assurance d'une amélioration continue de la qualité.

1. CONTROLE DE LA QUALITE :

Le contrôle de la qualité, ou encore l'assurance-qualité, comprend un ensemble de techniques et d'activités qui permettent d'évaluer l'efficacité de la qualité des systèmes de production et de service, de déterminer en temps réel l'état de la qualité des systèmes, d'assurer la conformité des produits (biens et services) aux exigences des consommateurs et aider à l'amélioration continue de la qualité.

Le contrôle statistique de la qualité (CSQ) est une branche de l'approche Qualité Totale (Total Quality Management). Ce type de contrôle permet de collecter, d'analyser et d'interpréter les données nécessaires pour les utiliser dans les différentes activités de contrôle de la qualité. *Les deux techniques de CSQ les plus utilisés en industrie sont la maîtrise statistique des procédés (MSP) et les plans d'échantillonnage.*

2. DEFINITION DE LA M.S.P :

La norme française AFNOR X06030 définit la Maîtrise Statistique des procédés comme suit :

- La MSP est un ensemble d'actions pour évaluer, régler et maintenir un procédé de production en état de fabriquer tous ses produits conformes aux spécifications retenues et surtout avec des caractéristiques stables dans le temps.
- La MSP est un des éléments dynamiques du système qualité, et à ce titre, concourt à l'amélioration permanente de la production.
- La MSP ne se limite pas à l'établissement de cartes de contrôle et à leur exploitation pour régler des machines et maîtriser un procédés, comme on le pense souvent, mais c'est une suite d'analyses qui comprennent : une réflexion sur le procédés, l'identification des caractéristiques significatives de ce procédés, du produit et des

tolérances nécessaires, la validation de l'outil de production et de son aptitude à fournir ce qu'on attend de lui, et enfin la mise en place de cartes de contrôle.

- La MSP est une méthode préventive qui vise à amener le procédé au niveau de qualité requis et à l'y maintenir grâce à un système de surveillance qui permet de réagir rapidement et efficacement à toute dérive, en évitant ainsi la production massive de non conformes.

Généralement cette discipline utilise un certain nombre de techniques telles le contrôle de réception, les plans d'expérience, les techniques de régression, la capacité et bien sûr les cartes de contrôle.

3. LES BENEFICES DE LA M.S.P :

Les bénéfices de l'implantation de la MSP sont multiples. La norme AFNOR-X0630 les résume comme suit :

- L'effet principal recherché : l'amélioration de la production et de la productivité, c'est-à-dire : constance des caractéristiques des produits fournis et diminution des coûts (rebuts, retouches, rationalisation des plans de contrôle, conformité aux spécifications).
- L'amélioration des échanges verticaux et horizontaux dans la structure hiérarchique de l'entreprise (la MSP fournit les éléments d'un langage commun).
- L'amélioration de la démarche de résolution de problèmes de qualité en production (la MSP facilite la recherche des causes et la mesure du résultat des actions).
- L'amélioration puis la maîtrise des procédures, des produits et procédés (sentiment de sécurité avant livraison).
- Anticiper les problèmes et réagir rapidement en cas d'apparition d'anomalies avant que celles-ci n'empirent.
- Eviter le sous ou le sur contrôle, uniquement réagir quand il le faut
- Amélioration de l'image de l'entreprise vis-à-vis des auditeurs des clients potentiels qui constatent que l'entreprise dispose d'une méthode de gestion de qualité fiable.

4. LES OBJECTIFS DE LA M.S.P :

Maîtrise statistique des procédés MSP est une méthode simple de maîtrise de la production basée sur l'analyse statistique. Elle peut être utilisée à différentes étapes du procédé

(production, livraison ...) pour analyser ses variations avec comme objectifs réduire et maîtriser les variations.

"Maîtriser les variations aux différentes étapes du procédé, c'est garantir une qualité constante du produit final"

On peut tenter de maîtriser le procédé avec une approche empirique, c'est d'ailleurs ce que font de très nombreuses sociétés, mais la méthode MPS reste la plus efficace. Elle met à la disposition de l'entreprise des moyens potentiels pour suivre le procédé et pour intervenir à temps afin de limiter la variabilité et d'en corriger les causes. Actuellement, cette méthode MPS est utilisée dans de nombreux pays par diverses industries de production. Elle est devenue un outil de compétitivité sans équivalent et qui vise à :

- Garantir une même qualité du produit.
- Assurer la stabilité dans le temps.
- Satisfaire au mieux les exigences du client.

5. La M.S.P ET LE PROCESSUS DE PRODUCTION :

Avant d'entamer cette partie je vois qu'il est utile de définir le processus, généralement le processus désigne l'ensemble moyens et activités liées qui transforment éléments entrants en éléments sortants" (**norme ISO 8402**), maintenant on dire que le processus de fabrication puisse comporter plusieurs étapes depuis matières premières jusqu'à produit fini allant chez client externe, en sus on je peux surajouter que chaque étape se conçoit un processus avec interfaces fournisseur-client. D'ailleurs Le contrôle en cours de production a pour but d'obtenir une production stable avec un minimum de produits non conformes aux spécifications. Le contrôle de la qualité est 'dynamique' : il ne s'intéresse pas au résultat isolé et instantané, mais au suivi dans le temps : il ne suffit pas qu'une pièce soit dans les limites des spécifications, il faut aussi surveiller la répartition chronologique des pièces à l'intérieur des intervalles de tolérances. La maîtrise statistique des procédés a pour objet une qualité accrue par l'utilisation d'outils statistiques visant à une production centrée et la moins dispersée possible. Enfin on peut admettre cette équation :

PROCESSUS DE PRODUCTION = Ensemble processus de fabrication + Processus de contrôle

6. LES OUTILS DE LA M.S .P :

Le déploiement de la MSP nécessite la mise en place des outils suivants :

- **Les cartes de contrôle ou de suivi** : c'est le film en temps réel d'un indicateur. La plupart du temps, deux paramètres sont suivis simultanément, l'un reflétant la tendance centrale de l'indicateur, l'autre sa dispersion. Une carte de contrôle est spécifique d'un indicateur engendré par le processus.
- **Le journal de bord ou de suivi** : c'est un document sur lequel sont consignées les interventions et modifications effectuées sur le processus et les anomalies rencontrées. Le journal de bord a pour but de faciliter la recherche des causes si des évolutions du processus sont constatées sur la carte de contrôle. On associe donc un journal de bord ou de suivi à chaque carte de contrôle.
- **Les indicateurs dits de « capacité »** : ils permettent de déterminer si un processus est apte à obtenir des résultats conformes à des spécifications formulées par ailleurs. A priori, dans le cadre de ce travail, cet aspect ne sera pas abordé. Cependant, la notion

de capacité peut être intéressante dans le sens où elle concerne aussi les moyens de mesure. De la même façon que pour les outils susmentionnés, les indicateurs de capacité sont spécifiques à chaque indicateur choisi.

7. LES CARTES DE CONTROLE :

1. DEFINITION :

La MSP utilise un outil graphique appelé « carte de contrôle ou de suivi d'un indicateur » pour suivre l'évolution d'un indicateur (et donc du processus) dans le temps et donner un signal d'alarme si des évolutions significatives (« causes spéciales ») ont lieu. Elles constituent l'aspect « technique » de la MSP. Ce sont elles qui vont permettre d'identifier le comportement de l'indicateur suivi (prédictible ou non) et d'apporter des actions correctives, si possible, avant la production de données non conformes aux spécifications. Une carte de contrôle MSP est un graphique chronologique d'un indicateur établi à partir d'échantillons prélevés périodiquement.

Ces échantillons sont appelés également « sous-groupes », dans la terminologie MSP, pour les distinguer de l'échantillon « global » constitué de toutes les données agrégées de tous les sous-groupes lors de l'analyse statistique habituelle.

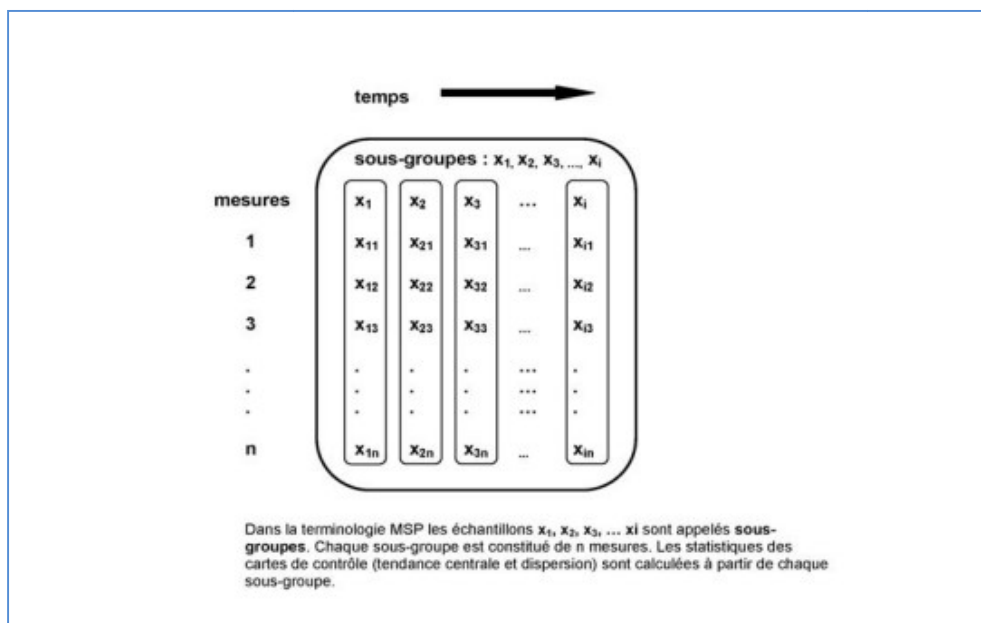


Figure 1: Les sous-groupes MSP

2. BUTS ET BENEFICES :

Les principaux buts et bénéfices des cartes de contrôles sont les suivants

- La carte de contrôle augmente la productivité et diminue les coûts car elle prévient la production de produit défectueux en aidant à garder le procédé sous contrôle statistique. La productivité augmente car la proportion de “bon produit” fabriqué augmente et les coûts diminuent car il y a moins de déchets.
- La carte de contrôle empêche le sous ou le sur contrôle, Il est normal que les sorties d’un procédé varient et il n’est pas indispensable de réajuster celui-ci chaque fois qu’une unité produite ne correspond pas exactement à la valeur cible.
- La carte de contrôle donne des indications sur les causes des problèmes. Un opérateur ou ingénieur familier avec le procédé et la technique des cartes de contrôle pourra, en général, diagnostiquer la cause d’un problème en examinant le profil des points sur la carte de contrôle.
- La carte de contrôle permet de mesurer la capacité (ou aptitude) du procédé car elle donne une estimation de la tendance centrale de la caractéristique étudiée, de sa variabilité et des limites dans lesquelles elle varie.

3. OBJECTIF :

Le suivi et la maîtrise des dispersions disposent donc d’un outil : les cartes de contrôle. Elles permettent d’avoir une image du déroulement du processus de fabrication et d’intervenir rapidement et à bon escient sur celui-ci.

4. LES PRINCIPES UTILISÉS POUR LE CONTRÔLE DE LA QUALITE :

Le contrôle en cours de fabrication de la qualité des éléments produits se fait généralement à partir de prélèvements dont chacun est soumis à un essai.

L’ensemble des résultats obtenus sur un même prélèvement donne lieu au calcul d’une statistique (moyenne ...). Les valeurs en sont reportées, dans l’ordre chronologique, sur une carte dite « carte de contrôle », et interprétées d’après leur position par rapport à des limites tracées à l’avance sur la carte.

Nous nous intéresserons aux types de contrôle suivant :

- Contrôle par mesures
- Contrôle par attributs.

5. CONTRÔLE PAR MESURE :

La spécification contrôlée est une grandeur chiffrable par un appareil de mesure. Les cartes de contrôles permettent de surveiller deux paramètres :

- La tendance de la fabrication (moyenne).
- La variabilité du processus (étendue).

6. LES CARTES DE CONTRÔLE PAR MESURE :

Pour suivre l'évolution du procédé, des prélèvements d'échantillons sont effectués toutes les heures (5 pièces par exemple). Pour chaque échantillon, la moyenne et l'étendue sont calculées sur la caractéristique à contrôler. Ces valeurs sont portées sur un graphique. Au fur et à mesure qu'elle se remplit. A partir de la valeur moyenne (la moyenne des valeurs moyennes pour chaque échantillon) et la valeur moyenne des étendues, on définit les différentes limites :

Les limites de la carte de contrôle de la moyenne :

- La limite supérieure de contrôle : $LSC = \bar{\bar{X}} + A'_c * \bar{R}$
- La limite inférieure de contrôle : $LIC = \bar{\bar{X}} - A'_c * \bar{R}$
- La limite supérieure de surveillance : $LSS = \bar{\bar{X}} + A'_s * \bar{R}$
- La limite inférieure de surveillance : $LIS = \bar{\bar{X}} - A'_s * \bar{R}$

Avec :

$\bar{\bar{X}}$: La moyenne des moyennes des échantillons.

\bar{R} : La moyenne des étendues.

A'_c, A'_s : Les coefficients de SHEWHART 1.

Les limites de la carte de contrôle de l'étendue :

- La limite supérieure de contrôle : $LC = D'_c * \bar{R}$
- La limite supérieure de surveillance : $LS = D'_s * \bar{R}$

Avec :

D'_c, D'_c : Les coefficients de SHEWHART 2.

7. ANALYSE DES CARTES DE CONTRÔLE :

Les limites (Lc1 et Lc2) représentent la plage à l'intérieur de laquelle l'indicateur doit évoluer pour être considéré comme stable ou maîtrisé (présence de causes communes uniquement), c'est-à-dire reproductible (figure 2).

Dans ce cas, deux possibilités existent :

- Soit la distance entre Lc1 et Lc2 est jugée satisfaisante, alors il ne faut pas modifier le processus mais assurer un suivi simple de l'indicateur.
- Soit l'espace entre LS et LI est trop important (variabilité élevée), dans ce cas, afin de diminuer la variabilité, la seule solution est de revoir entièrement le processus en cause.

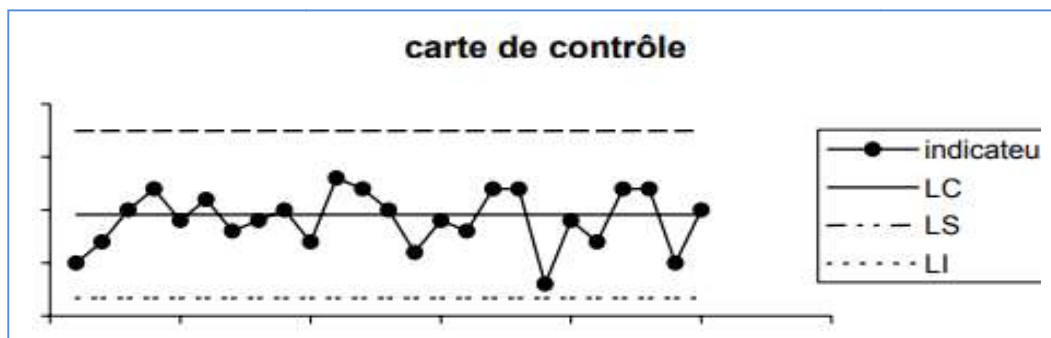


Figure 2 : Exemple de processus « maîtrisé ».

Par contre, franchir les limites supérieure ou inférieure (Lc1 ou Lc2) signifie très probablement la présence de causes spéciales, c'est-à-dire que le comportement du processus a évolué ou s'est modifié (figure 3).

Selon la limite franchie (Lc1 ou Lc2), l'interprétation de la (des) cause(s) spéciale(s) est différente :

- Soit il s'agit d'une dégradation de la qualité, ces causes sont donc à identifier et à éliminer.
- Soit on est en présence d'une amélioration de la qualité. Ces causes spéciales témoignent donc de la validité d'une démarche qualité et mettent en évidence le changement produit.

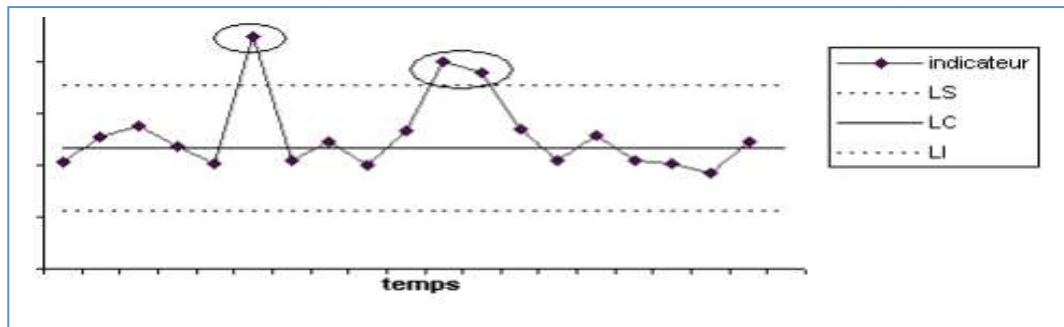


Figure 3 : Exemple de processus présentant des causes spéciales.

8. LA CAPABILITE OU L'APTITUDE D'UN PROCÉDE :

L'une des qualités qui sont en général recherchées dans le suivi d'un procédé est la capacité ou aptitude du procédé. Un procédé est dit capable ou apte si le produit qu'il fabrique répond à certains critères de qualité formulés par le producteur ou par le client. L'analyse de capacité a pour but de mesurer si le procédé respecte bien ces exigences. Différents outils sont proposés pour effectuer ce type d'analyse : des outils graphiques (histogramme ou graphe de probabilité) et des indices de capacité.

LES INDICES DE CAPABILITE :

Avant de placer un procédé sous contrôle, il est nécessaire de vérifier qu'il est capable de réaliser la caractéristique contrôlée en respectant les tolérances demandées. Pour vérifier cette capacité on peut calculer un indice de capacité, il en existe plusieurs :

LES INDICES DE CAPABILITE MACHINE (Cm et Cmk) :

- **L'indice Cm :**

$$Cm = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_i}$$

Avec : **Ts** : tolérance supérieur et **Ti** : tolérance inférieur et σ_i (écart type) = $\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$ L machine sera dite capable si $Cm \geq 1,33$.

- **L'indice Cmk :**

Mesure à la fois si la machine est capable mais aussi si celle-ci est bien réglée :

$$Cmk = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma} ; \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma} \right|$$

Si $Cmk \geq 1,33$ alors la machine est bien centrée.

LES INDICES DE CAPABILITE PROCEDURE (Cp et Cpk) :

- **L'indice Cp :**

(Est l'indice de capacité le plus utilisé. Il a pour but de mesurer si la dispersion de la caractéristique X étudiée est plus ou moins grande par rapport à l'intervalle de tolérance), Cp est défini par :

$$Cp = \frac{T_s - T_i}{6\sigma^*}$$

Avec :

$$\sigma^* \text{ (écart type estimé)} = \frac{\bar{R}}{dn} \quad \text{Ou} \quad \sigma^* \text{ (écart type estimé)} = \frac{\bar{s}}{bn}$$

Si, $Cp < 1$, quelle que soit la moyenne X du procédé, le taux de non conforme sera toujours trop élevé. Dans le cas où $Cp < 1$ une révision plus complète de la variabilité du procédé est nécessaire. En général, on choisit $Cp = 1.33$ comme valeur minimum à atteindre.

- **L'indice Cpk :**

Mesure simultanément la position et la dispersion de la caractéristique. Il est défini par :

$$Cpk = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma^*} ; \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma^*} \right|$$

L'indice Cpk doit être maximisé. Une valeur de $Cpk \geq 1$ est en général choisie comme valeur minimum requise.

Les deux premiers indices mesurent la capacité machine uniquement, c'est-à-dire qu'on ne prend en compte que la machine. Cela implique que les mesures sont faites de manière à ne prendre en compte que la variabilité aléatoire de la machine (pas de changement d'opérateur, de matières, pas de réglage).

Les deuxièmes indices peuvent se réaliser sur une période de temps plus importante et prend en compte le procédé global (machine, main-d'œuvre, matériel, milieu).

10. HISTOGRAMME (outil statistique) :

1. DEFINITION :

L'histogramme est une représentation graphique simple de la distribution d'une variable continue. Il permet de visualiser la répartition de ces valeurs en différentes classes (en général de largeur identique). Ce graphique contient en abscisse les classes de valeur et en ordonnée la fréquence de ces classes.

2. OBJECTIFS D'UN HISTOGRAMME :

- Représenter de façon globale une situation à partir de données objectives.
- Étudier la distribution d'une variable.
- Surveiller la conformité des caractéristiques mesurables d'un produit par rapport à des limites prédéfinies.

3. CONDITIONS D'UTILISATION :

Pré-requis : Disposer de données chiffrées en nombre suffisant. Si celles-ci ne sont pas disponibles immédiatement, utiliser une feuille de relevé de données.

L'histogramme est utilisé pour représenter sous forme de graphique la distribution d'un ensemble de données ou mesures.

Les conditions de réussite sont :

- Observer une variable continue.
- Avoir un nombre de valeurs suffisante pour cette variable (au moins 100, si possible).
- Disposer de valeurs obtenues dans les mêmes conditions de mesure.

4. DESCRIPTION :

- Etape 1 : Choix de la variable et recueil des données. La variable à mesurer doit être continue et être significative de la qualité du produit ou du service rendu.
- Etape 2 : Recueil des données. Le recueil des données ou la mesure des valeurs de la variable doit se faire dans les mêmes conditions pour chaque mesure et avec un degré de précision suffisant.
- Etape 3 : Calcul des caractéristiques de la distribution des données recueillies

Cette distribution de valeur peut être caractérisée par :

- n , le nombre de données mesurées ou taille de l'échantillon.
- m , le minimum ou la plus petite valeur observée.
- M , le maximum ou la plus grande valeur observée.
- $I = [m ; M]$ l'intervalle des mesures observées.
- $e = M - m$, l'étendue ou largeur de l'intervalle I .
- $c \approx \sqrt{n}$, le nombre maximum de classes.
- $l = e/c$ la largeur minimum de chaque classe.

5. CONSTRUCTION DU TABLEAU DE REPARTITION :

CLASSE	RÉPARTITION	
Limites [inf-sup] ou valeur centre de la classe	Effectif	Fréquence
[...;...[n_1	n_1/n
[...;...[n_2	
[...;...[n_3	
[...;...[

Figure 4 : Le tableau de répartition d'un histogramme.

6. CONSTRUCTION DE L'HISTOGRAMME :

L'histogramme est un graphique à deux axes.

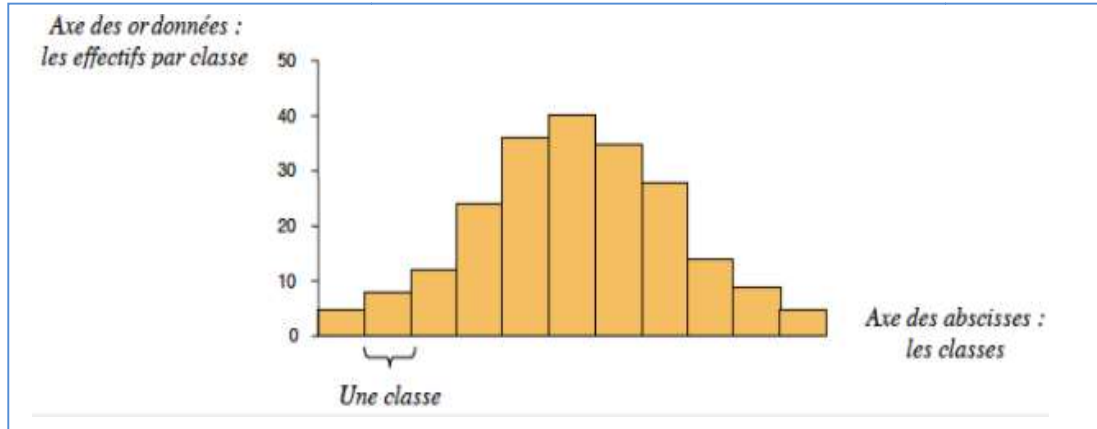


Figure 5 : Exemple d'un histogramme.

En général, la répartition a une forme « en cloche » car elle suit la distribution classique de **la loi de Laplace Gauss ou loi Normale**.

7. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME :

- Soit par rapport à sa valeur centrale (symétrique ou dyssimétrique).
- Soit par rapport aux limites spécifiées, permettant d'établir si un processus est ou non maîtriser.

Après avoir définir les méthodes et les outils statistiques qui permettent d'assurer la qualité en cours de fabrication, on va les appliquer (**la ligne de production de COSUMAR**) dans le prochaine chapitre

Cosumar = Compagnie sucrière marocaine

Chapitre II :

L'environnement général du projet

Dans le présent chapitre, nous allons exposer l'environnement général dans lequel s'est déroulé notre projet, on prend comme cas d'étude la ligne de production de pain de l'entreprise COSUMAR en commençant par une présentation détaillée de cette ligne et sa décomposition fonctionnelle (SADT) puis à l'aide des mesures prises dans la ligne de production on fait une étude de contrôle par les cartes de contrôle par mesure et les histogrammes .

1. IDENTIFICATION DE COSUMAR

Cosumar : est l'opérateur sucrier marocain de référence, présent sur le territoire national à travers ses deux métiers : la production de sucre à partir de la récolte nationale de betterave et de canne à sucre d'une part, et le raffinage à partir de sucre brut importé d'autre part.

Pionnière au Maroc dans ce secteur d'activité et première entreprise de la filière sucrière, la raffinerie de COSUMAR produit depuis plus de 80 ans, du pain de sucre, Un produit riche en valeurs traditionnelles.

COSUMAR s'est installée dans la modernité, en proposant toute une gamme de produits, adaptée aux habitudes de consommation d'aujourd'hui. Ce positionnement permet à la COSUMAR de commercialiser ses produits dans un environnement non concurrentiel.

2. LE PROCESSUS DE FABRICATION DU SUCRE :

La production du sucre se caractérise par deux étapes essentielles. La première consiste en la fabrication du sucre brut qui est un produit intermédiaire du sucre, cette dernière ne représente pas de difficultés majeures. La deuxième étape consiste en le raffinage du sucre brut.

3. LA FABRICATION DU SUCRE BRUT :

- **RÉCOLTE ET TRANSPORT**

La sucrerie est approvisionnée en betteraves. Le poids net des racines livrées (hors terre et pierres) et leur teneur en sucre sont évalués par prélèvement lors de la livraison. Le temps de stockage des betteraves est réduit au strict minimum afin de conserver leur richesse en sucre.

- LAVAGE

Les betteraves sont brassées dans un lavoir où elles circulent à contre-courant d'un flux d'eau pour les séparer de la terre, de l'herbe et des pierres.

- DÉCOUPAGE

Les betteraves propres sont envoyées dans des coupe-racines qui les débitent en fines lamelles appelées « **cossettes** ».

- DIFFUSION

Le **jus sucré** est extrait des cossettes par diffusion. Cette opération, basée sur le principe de l'osmose, a pour but de faire passer le sucre contenu dans les cossettes dans de l'eau. La diffusion est réalisée dans un long cylindre : les cossettes y pénètrent par une extrémité, et l'eau tiède qui y circule lentement en sens inverse s'enrichit peu à peu de leur sucre. Le jus sucré est recueilli à une extrémité, tandis que les cossettes épuisées, appelées « pulpes », sont récupérées à l'autre bout.

- FILTRATION

Le jus obtenu contient la totalité du sucre présent dans la betterave, mais également des **impuretés qu'il faut éliminer** (sels minéraux, composés organiques...). L'opération s'effectue par épuration calco-carbonique : une adjonction successive de lait de chaux (à base de pierres calcaires) puis de gaz carbonique permet de former des sels insolubles et des précipités qui fixent les impuretés. Le mélange est alors envoyé dans des **filtres** qui retiennent les impuretés et libèrent le jus sucré clair.

- ÉVAPORATION

À ce stade, le **jus filtré** contient environ **15% de sucre et 85% d'eau**, dont une grande partie sera éliminée par évaporation. Porté à ébullition dans des tuyaux en contact avec de la vapeur, le jus traverse une série de chaudières (les « évaporateurs ») où la température et la pression diminuent progressivement de l'une à l'autre. Au terme du circuit, **le jus s'est transformé en sirop** contenant 65 à 70 % de saccharose.

- CRISTALLISATION

Le sirop achève sa concentration dans des chaudières à cuire travaillant sous vide pour éviter la caramélisation. On y introduit de très fins cristaux (sucre glace) qui vontensemencer le sirop. La cristallisation se généralise et l'on obtient la «masse cuite », formée de multiples petits cristaux en suspension dans un sirop coloré par les impuretés résiduelles

- ESSORAGE

La masse cuite est envoyée dans des turbines, ouessoreuses, rapides et dotées d'un panier en tôle perforée. Sous l'action de la force centrifuge, le sirop est évacué tandis que le sucre blanc cristallisé se dépose sur les parois du panier.

- SÉCHAGE

Encore chaud et humide, le sucre cristallisé roux est envoyé dans des appareils de séchage à air chaud. Puis il est refroidi et stocké en silo où il achève de se stabiliser.

- LE RAFFINAGE

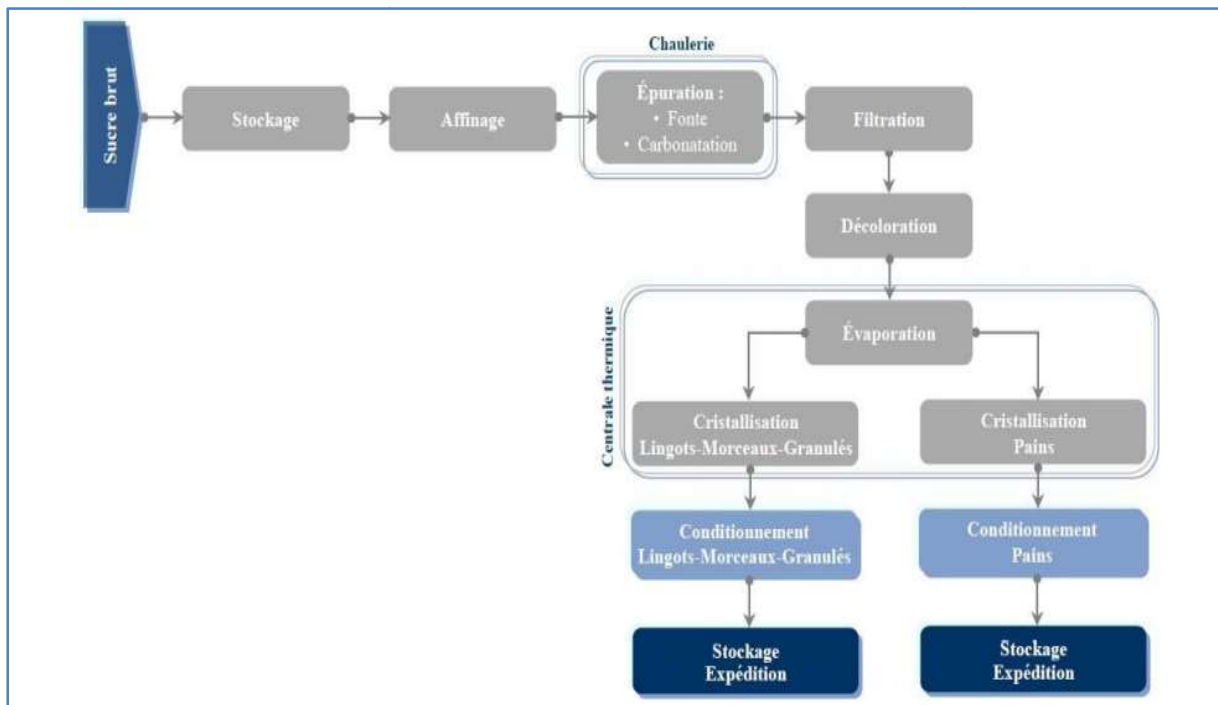


Figure 6 : Processus de raffinage du sucre brut

Le raffinage est le procédé qui permet d'obtenir à partir d'un sucre brut (mélange de saccharose et de non sucrés) un sucre raffiné de haute pureté. Dans le procédé de raffinage, il existe un certain nombre d'opérations qui permettent de :

- Retirer les impuretés extérieures au cristal ;
- Retirer les colorants de la fonte (mélange de sucre affiné et de l'eau) par le passage d'un absorbant ;
- Recrystalliser le saccharose pour obtenir un cristal pur à partir de la solution purifiée par les opérations précédentes ;

La matière première de l'usine de raffinage se présente sous forme de sucre brut importé (Brésil, Australie, Afrique du sud, Colombie, etc.). Afin d'obtenir un produit de haute qualité, la matière première doit subir un traitement en suivant les étapes suivantes :

- **STACKAGE DE LA MATIERE PREMIERE :**

Le sucre brut constitue la matière première de la raffinerie. Il est stocké dans des grands magasins « silos » dont la capacité totale est de 75 000 tonnes. Le sucre est transféré vers la station d'affinage grâce à des bandes transporteuses en passant par deux balances dynamiques, un aimant pour éliminer les métaux ferreux, et un tamis pour éliminer les grosses impuretés.

- **AFFINAGE:**

Le but de cette étape est d'enlever le film extérieur, renfermant des impuretés organiques et minérales, qui se trouve sur la surface des cristaux de sucre brut. Le sucre brut qui arrive par des bandes transporteuses est pesé sur un cerveau balance, il est débarrassé des résidus métalliques à l'aide d'un aimant, puis traverse un tamis qui retient les mottes de sucre et les insectes.

- **EMBATAGE :**

Cette première étape vise à décaper une gangue, composée d'impuretés externes, se trouvant autour des cristaux de sucre par frottements. A l'intérieur des empâteurs, s'effectue le mélange du sucre brut et de l'égout riche d'embâtage. On utilise l'égout riche pour éviter le problème de dissolution des cristaux du sucre brut. Le mélange ainsi obtenu s'appelle «masse cuite d'embâtage» d'un prix de 90-92 et une température de 50-55°C.

- **TURBINAGE :**

Cette deuxième étape vise à séparer l'égout riche d'embâtage, contenant les impuretés externes, et le sucre par centrifugation. Après l'embâtage, la masse cuite passe par des pompes volumétriques pour rejoindre un ragot qui distribue la masse cuite aux turbines. A la fin du turbinage, on obtient à côté du sucre un premier égout issu du turbinage appelé « égout pauvre 1 » et un deuxième égout issu du clairçage appelé « égout riche 1 » contenant une grande quantité de saccharose dissoute dans l'eau de clairçage.

- **FONTE:**

Cette opération a pour but de faire fondre le sucre pour pouvoir en extraire les impuretés internes au niveau de l'épuration. Le sucre, à la sortie des turbines, est poussé à l'aide de vis d'Archimède vers un premier fondoir où on lui ajoute de l'eau sucrée. Le mélange est envoyé, par une pompe, vers des échangeurs à plaques afin de régler sa viscosité puis vers un deuxième fondoir pour régler son brix et son pH à 7,5-8 en ajoutant du NaOH. Le mélange passe ensuite par un deuxième échangeur pour atteindre une température de 75- 80°C, c'est le réchauffage. A la fin de cette étape, le produit obtenu est appelé « fonte commune ».

- **LA CARBONATATION :**

C'est le procédé de précipitation du carbonate de calcium dans la fonte, ce précipité doué de propriétés d'absorption entraînera la plupart des matières organiques et certaines impuretés, ce précipité est obtenu par réaction entre l'acide carbonique « H_2CO_3 » et le lait de chaux « $Ca(OH)_2$ ». La carbonatation fournit avec le carbonate de calcium un adjuvant de filtration bon marché :

- Elle rassemble gommes et résines
- Elle enlève quelque cendre
- Elle décolore le sirop jusqu'à 60%

Une fois carbonaté, le sirop à l'intérieur duquel il y a du carbonate de calcium est prêt à être filtré.

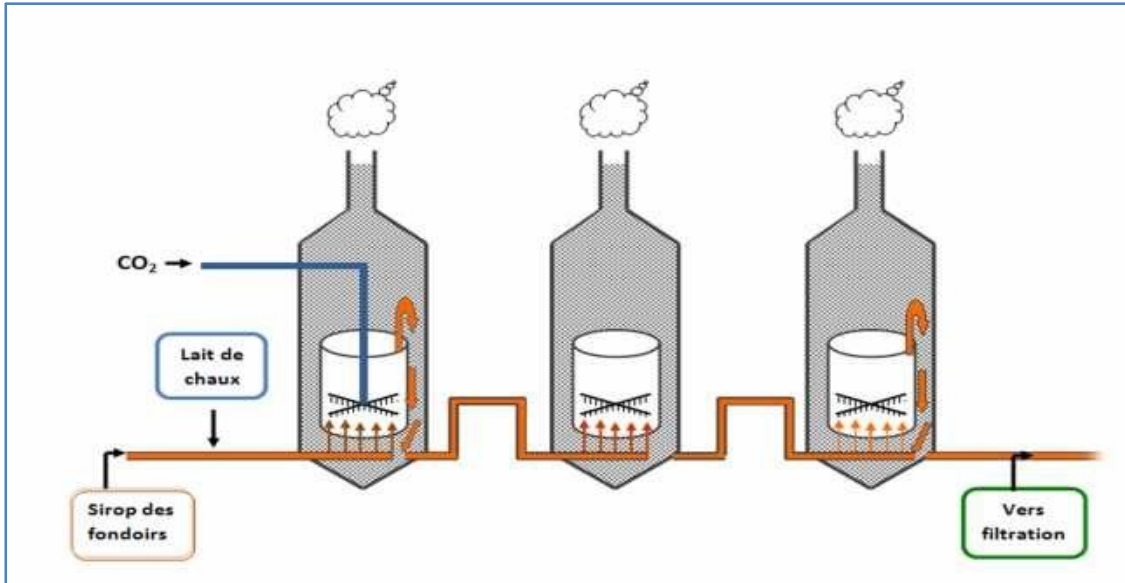


Figure 7 : Schéma des chaudières de carbonatation

- LA FILTRATION :

La filtration se fait dans une installation de six filtres, de capacité 30 m² chacun. Ces filtres contiennent 80 poches chacun enveloppées d'une toile qui laisse passer le sirop seulement, alors que le carbonate de calcium s'accumule autour de la toile, en formant un gâteau d'une certaine épaisseur.

- DECORATION:

La décoloration se fait avec de la résine échangeuse d'ions sur deux stations de trois colonnes chacune, la plus petite travaille avec un débit de 35m³/h et la plus grande avec un débit de 110m³/h. Les colonnes travaillent en série et leur alimentation se fait du bas vers le haut par la méthode up-flow .La décoloration se fait en trois étapes :

- La production : la commune filtrée traverse la première colonne.
- La finition : la commune filtrée achève sa phase de décoloration.
- La régénération : c'est une étape pour régénère la résine pour une nouvelle décoloration.

- **EVAPORATION:**

À la sortie de la décoloration, le raffinage a une pureté de 99,5% et un BRIX de 65. À ce niveau le raffinage est prête à être cristallisée, mais il est intéressant dans un souci d'économie d'énergie, de la concentrer c'est-à-dire de la réchauffer et de l'évaporer dans le but d'augmenter son BRIX de 65 à 75.

- **CRISTALLISATION:**

Comme l'évaporation avait pour rôle de concentrer le sirop, lors de la cristallisation on effectue une concentration un peu plus poussée. Elle permet d'enlever une grande partie de l'eau et d'extraire le sucre.

Le sirop décoloré (raffinage) subit une cristallisation dans des cristallisoirs, le sucre mélangé avec le sirop est appelé : masse cuite.

- **CONDITIONNEMENT :**

La COSUMAR dispose de trois stations de conditionnement, selon le produit fini désiré

- Station de conditionnement du granulé
- Station de conditionnement des lingots et morceaux
- Station de conditionnement de pain sucre.

Dans notre étude on s'intéresse seulement au conditionnement qui consiste les pains de sucre.



Figure 8: Les différents produits de la COSUMAR

4- TRAITEMENT ET PREPARATION DE LA MATIERE PREMIERE :

- **MELANGEUR:**

Le mélange se fait en quatre étapes principales qui sont :

- Remplissage de sucre
- Dosage sirop (vis à vis le pourcentage de l'humidité demandé)
- Mélange (motoréducteur)
- Vidange

- **PRE-COMPRESSION:**

Les vérins à riposter avancent jusqu'à leurs fin de course, les vérins de compression avancent à leurs tour pour comprimer le sucre jusqu'à atteindre une pression de **140bars** ensuite les vérins à riposter reculent pour que les vérins de compression puissent continuer leur course et vider le sucre pré comprimé dans le bac de dosage.

Partie production :

Le moulage, c'est le procédé de la mise en forme de pain le sucre granulé. Le poids net du pain est de l'ordre de **2000 grammes**.

1- Dosage:

Quand les balances sont vides, les moteurs des vis dosent le sucre vers les balances à deux vitesses pour la précision du poids, la rotation des vis s'arrêtent quand le poids atteint 2000g, les trappes s'ouvrent pour le vidange du sucre dans les moules.



Figure 9 : Cylindre de dosage

2- Compression

La compression est la partie qui nous permet d'obtenir la forme de pain. Quand les moules sont en position les vérins de clavette avancent pour fixer et centrer le véhicule ensuite le vérin de compression descend, une fois arrivé au premier capteur la vitesse se réduit pour comprimer le sucre qui est dans les moules jusqu'à sa fin de course puis il monte a sa position initial enfin les vérins pour clavette reculent pour permettre la rotation de la chaîne de cadence.

3- Axe linéaire

L'axe linéaire est l'élément qui est responsable du déplacement de la palette, quand celle-ci est déposée par la translation transversale le vérin pousseur la pousse jusqu'au stoppeur, l'axe linéaire se met en position d'admission les vérins de l'axe montent pour attraper la palette et la déplacer sous les moules a des positions précises pour l'opération de dépose puis il retourne à sa position initiale, ensuite la palette conduit vers les microondes pour le séchage des pains.



Figure 10 : Axe linéaire

4- Grappins

Il permet de décharger des pains de sucre de la palette grâce à des pinces mobiles, vers la machine d'habillage



Figure 11 : Station Grappin

5- Lavage et nettoyage des moules :

Pour s'assurer de la bonne qualité des moules, et qu'ils ne contiennent aucune impureté ou des résidus, il faut les nettoyer avec un jet de eau-air.



Figure 12 : Système de lavage des moules

6- Déplacement des palettes :

Le déplacement des pains entre les différents postes de l'usine est réalisé par un réseau de transport de palette, chaque palette comporte quatre-vingt pains de sucre.

7- Séchage ;

Le séchage se fait par l'agitation des molécules d'eau dans un temps de 125s à l'aide de deux micro-ondes, la température des pains à la sortie doit être entre 90C° et 95C°.

8- Refroidissement ;

Le refroidissement et la maturation des pains, sont réalisés dans des tunnels de refroidissement à l'aide de 3 voies de transport.

9- L'habillage ;

Le sucre mature est maintenant prêt à l'habillage et le revêtement, cette mission est confiée à la machine « Flottman ».

10- L'emballage ;

Le cycle s'achève par l'emballage des pains dans la machine « Meypack » dans des cartons de 8 pains.

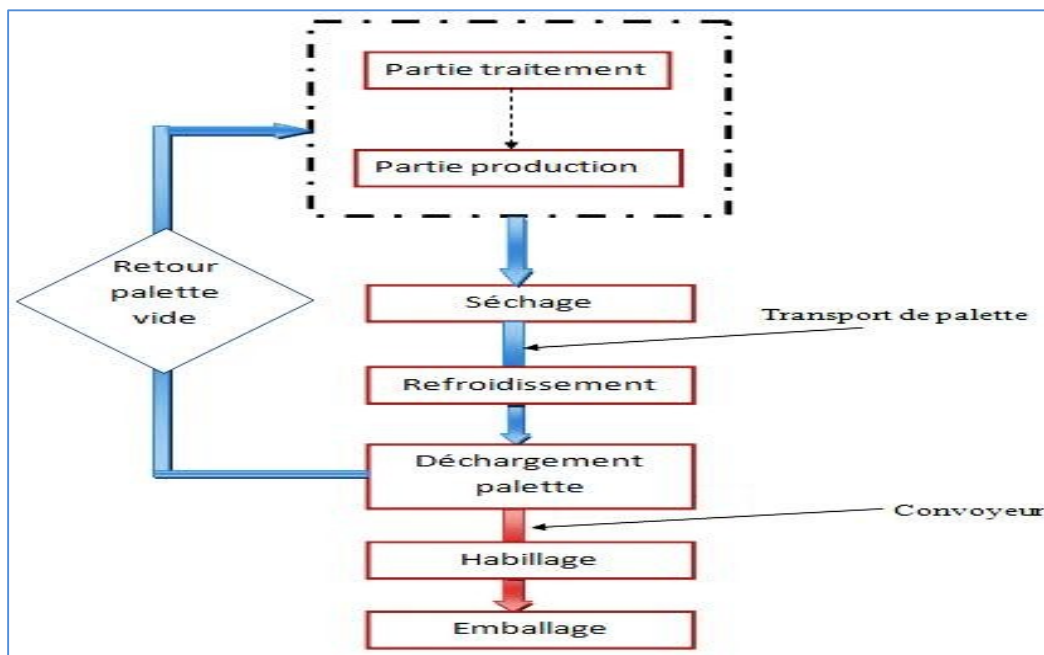


Figure 13 : Organigramme de la ligne de moulage.

Décomposition fonctionnelle:

- **La méthode SADT:**

Il s'agit d'un outil d'analyse descendante d'un système, qui permet une étude progressive du global, vers le détail. La méthode appliquée industriellement est un outil de communication entre des personnes d'origines différentes. Il permet la description dans un langage commun, c'est la vision de synthèse qu'ils ont d'un même projet.

Principe:

La méthode SADT est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire des systèmes où coexistent des flux de matières d'œuvre (produits, énergies et informations). Elle s'appuie sur la mise en relation de ces différents flux avec les fonctions que remplit le système.

Représentation graphique (Actigramme):

La fonction globale assurée par la machine est « moulage Pain» cette machine est prolongée dans un milieu dans lequel certains flux s'établissent :

- Flux de produit entrant : c'est le sucre granulé
- Flux de produit sortant : c'est le Pain de sucre
- Flux d'informations : ce sont l'ensemble des informations échangés entre l'opérateur et la machine (ampérage, densité, débit pression...);
- Flux d'énergie : c'est la source d'énergie extérieur, il s'agit ici de l'énergie électrique, pneumatique, et hydraulique;
- Flux de déchet : Rebut

Contraintes de pilotage :

- C= Configuration (Programmation)
- R= Réglage (vitesse, course, paramètre électrique...)
- E= Exploitation (Donnée opérateur et matériel)

Contraintes de commande :

W = énergie (électrique, mécanique...)

Niveau 0 de l'Actigramme :

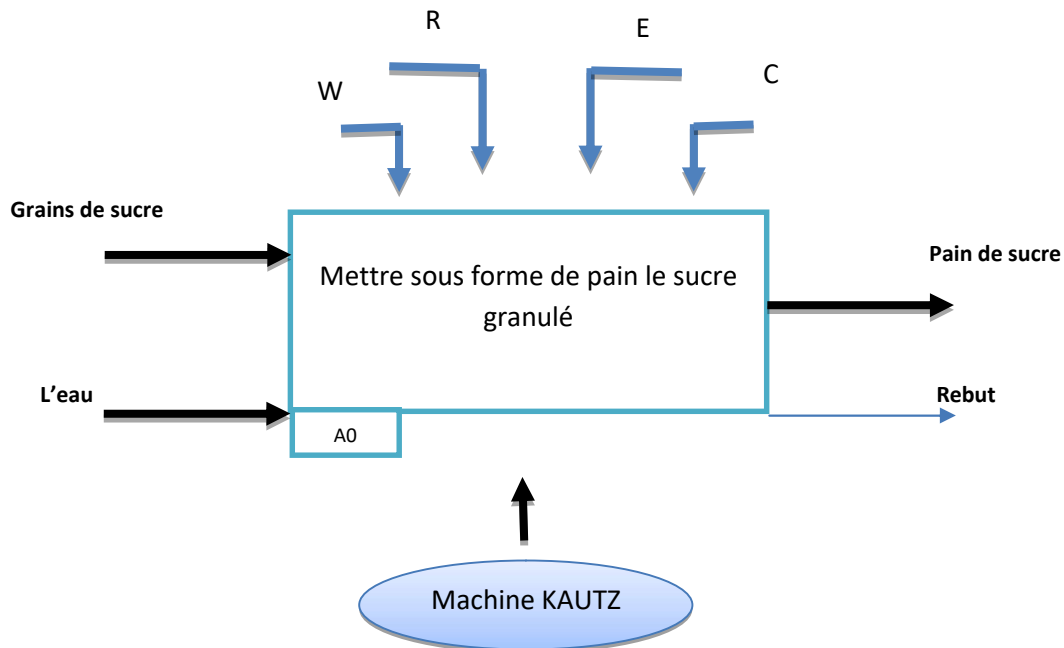


Figure 14 : SADT A0

Niveau détaillé A0 :

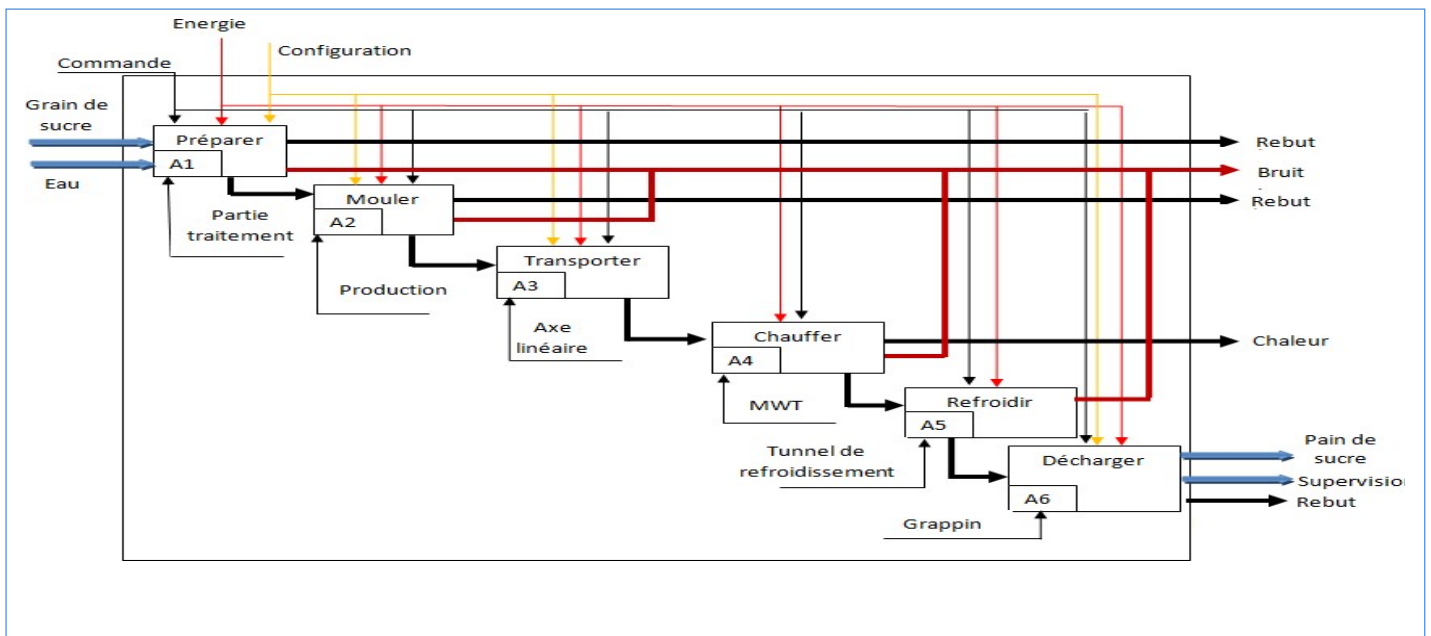


Figure 15 : SADT A0 détaillé.

L'Histogramme :

La base de données du contrôle du poids du pain du sucre :

échantillon	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	2016	2014	2014	2014	2014	2014	2012	2010	2008	2006
2	2018	2016	2014	2012	2010	2010	2010	2004	2004	2004
3	2065	2065	2055	2050	2040	2035	2045	2010	2010	2012
4	2022	2020	2018	2016	2014	2014	2012	2012	2012	2010
5	2020	2016	2014	2014	2012	2010	2008	2006	2004	2002
6	2008	2006	2004	2002	1998	1996	1902	1990	1888	1888
7	2006	2002	2000	2000	1996	1990	1886	1884	1884	1882
8	2020	2018	2016	2012	2012	2012	2016	2008	2008	2006
9	2020	2018	2018	2016	2014	2014	2008	2006	2002	1998
10	2022	2020	2018	2014	2012	2012	2010	2008	2006	2004
11	2014	2008	2006	2000	2000	1992	1994	1992	1990	1988
12	2014	2014	2012	2010	2010	2010	2008	2006	2002	1998
13	2004	2002	1998	1998	1994	1994	1990	1988	1984	1984
14	2012	2008	2004	2000	2002	2006	1998	1994	1990	1988
15	2020	2018	2014	2010	2008	2002	2000	2000	1996	1992
16	2014	2014	2010	2006	2006	2000	1994	1994	1980	1970
17	2008	2008	2006	2000	1994	1994	1990	1986	1986	1982
18	1996	1994	1990	1988	1984	1984	1980	1980	1976	1974
19	1997	1993	2001	1997	1996	1981	1993	1981	1987	1994
20	1970	1975	1980	1969	1985	1978	2000	2003	1995	1999
21	2008	2002	1979	2003	2004	1994	1977	1970	1981	2003
22	1962	1985	1996	1971	1983	1999	1988	1992	1989	1939
23	2009	1999	1977	1996	2013	2023	2018	1998	1977	2020
24	1997	2015	2002	1977	1971	2003	2007	2007	1994	1970
25	1981	1991	1971	1943	1982	1979	1981	1993	1972	1961
26	2002	1994	2008	1997	2003	1997	2002	1993	1972	1992
27	1995	1986	1963	1970	1980	1995	2002	1993	2000	1947
28	1949	1999	1948	1988	2007	1952	1993	1966	1974	2005
29	1940	1986	1940	1993	2000	1943	1993	1943	1940	1994
30	2028	2022	2022	2020	2016	2016	2012	2012	2008	2008
31	2024	2020	2020	2018	2016	2014	2014	2012	1998	1994
32	2034	2016	2010	2006	2002	2000	1998	1976	1960	1950
33	2028	2022	2022	2020	2016	2016	2012	2012	2008	2008
34	2024	2020	2020	2018	2016	2014	2014	2012	1998	1994
35	2034	2016	2010	2006	2002	2000	1998	1976	1960	1950
36	2026	2008	2004	2002	1996	1996	1994	1990	1990	1984
37	2026	2022	2014	2012	2008	2002	2000	1982	1976	1964
38	2002	1945	1943	1997	2001	2003	1999	1998	1999	2000
39	1996	1999	2000	2002	2001	2003	1999	1998	1999	2000

Tableau1 : Suivi du poids de pains de sucre dans la ligne de production

Pour mettre en œuvre le contrôle par mesure il faut connaître tout d'abord la loi que suit-le caractère contrôlé (poids).

Pour une taille d'échantillon égal à 10, nous avons procédé à dessiner un histogramme dans le but de voir la distribution, en utilisant **le logiciel R** qui est un logiciel de statistique crée par Ross Ihaka & Robert Gentleman. Il est à la fois un langage informatique et un environnement de travail : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans une fenêtre qui leur est propre.

Donc à l'aide d'exécution de commandes suivantes on peut tracer les données :

```
> histogramme=read.csv2(file="donnees.csv")#pour inviter la table des données
> histogramme$cc
 [1] 2016 2018 2065 2022 2020 2008 2006 2020 2020 2022 2014 2014 2004 2012 2020 2014 2008 1996 1997 1970 2008 1962 2009 1997 1981
[26] 2002 1995 1949 1940 2028 2024 2034 2028 2024 2034 2026 2026 2002 1996 2014 2016 2065 2020 2016 2006 2002 2018 2018 2020 2008
[51] 2014 2002 2008 2018 2014 2008 1994 1993 1975 2002 1985 1999 2015 1991 1994 1986 1999 1986 2022 2020 2016 2022 2020 2016 2008
[76] 2022 1945 1999 2014 2014 2055 2018 2014 2004 2000 2016 2018 2018 2006 2012 1998 2004 2014 2010 2006 1990 2001 1980 1979 1996
[101] 1977 2002 1971 2008 1963 1949 1940 2022 2020 2010 2022 2020 2010 2004 2014 1943 2000 2014 2012 2050 2016 2014 2002 2000 2012
[126] 2016 2014 2000 2010 1998 2000 2010 2006 2000 1988 1997 1969 2003 1971 1996 1977 1943 1997 1970 1988 1993 2020 2018 2006 2020
[151] 2018 2006 2002 2012 1997 2002 2014 2010 2040 2014 2012 1998 1996 2012 2014 2012 2000 2010 1994 2002 2008 2006 1994 1984 1996
[176] 1985 2004 1983 2013 1971 1982 2003 1980 2007 2000 2016 2016 2002 2016 2016 2002 1996 2008 2001 2001 2014 2010 2035 2014 2010
[201] 1996 1990 2012 2014 2012 1992 2010 1994 2006 2002 2000 1994 1984 1981 1978 1994 1999 2023 2003 1979 1997 1995 1952 1943 2016
[226] 2014 2000 2016 2014 2000 1996 2002 2003 2003 2012 2010 2045 2012 2008 1902 1886 2016 2008 2010 1994 2008 1990 1998 2000 1994
[251] 1990 1980 1993 2000 1977 1988 2018 2007 1981 2002 2002 1993 1993 2012 2014 1998 2012 2014 1998 1994 2000 1999 1999 2010 2004
[276] 2010 2012 2006 1990 1884 2008 2006 2008 1992 2006 1988 1994 2000 1994 1986 1980 1981 2003 1970 1992 1998 2007 1993 1993 1993
[301] 1966 1943 2012 2012 1976 2012 2012 1976 1990 1982 1998 1998 2008 2004 2010 2012 2004 1888 1884 2008 2002 2006 1990 2002 1984
[326] 1990 1996 1980 1986 1976 1987 1995 1981 1989 1977 1994 1972 1972 2000 1974 1940 2008 1998 1960 2008 1998 1960 1990 1976 1999
[351] 1999 2006 2004 2012 2010 2002 1888 1882 2006 1998 2004 1988 1998 1984 1988 1992 1970 1982 1974 1994 1999 2003 1939 2020 1970
[376] 1961 1992 1947 2005 1994 2008 1994 1950 2008 1994 1950 1984 1964 2000 2000
> h<-hist(histogramme$cc, breaks = 10, col = "blue", border = "black", xlab = "poids en g",
+ main = "répartition du poids de pain de sucre", xaxp = c(min(histogramme$cc)
+ ,max(histogramme$cc), (max(histogramme$cc)-min(histogramme$cc))/10))#pour tracer l'histogramme
> points(h$mids,h$counts,lwd=3,pch=19)
> lines(h$mids,h$counts,lwd=3,col="black")#pour tracer la courbe en cloche
> |
```

Figure 16 : Les données insérées dans logiciel R.

Résultats :

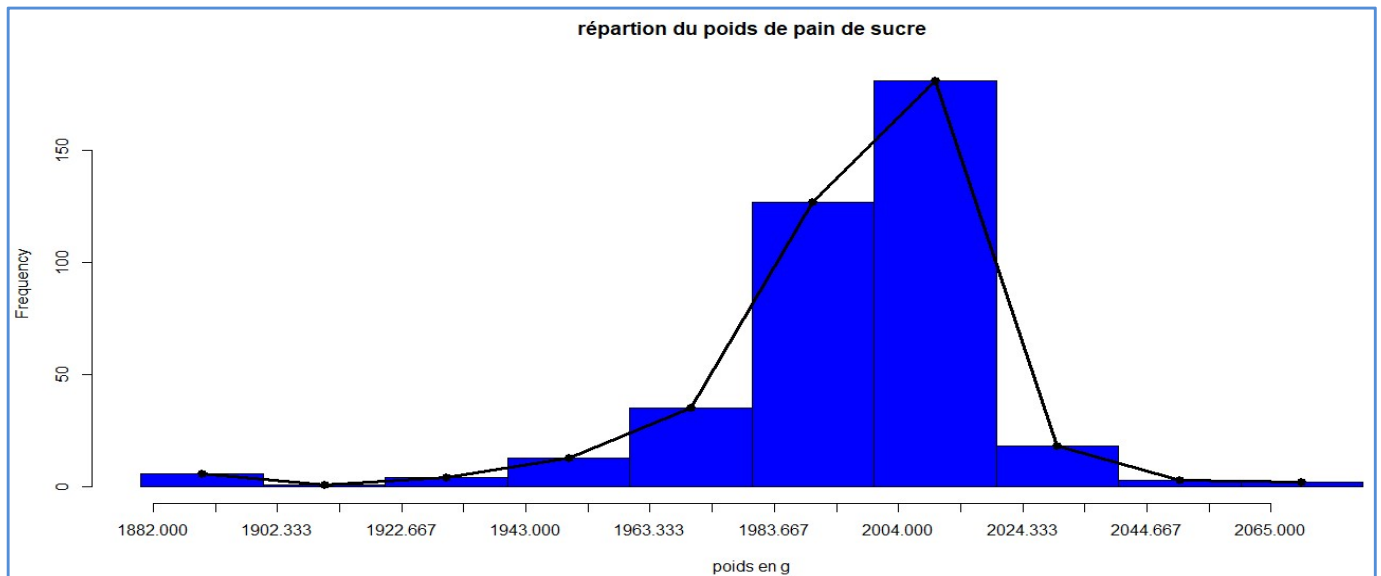


Figure 17 : Histogramme de La ligne de production.

Interprétation :

On remarque que l'histogramme et sa forme en cloche attestent que la distribution du Poids de sucre de pain au niveau de la ligne de production suit une loi normale.

Les cartes de contrôle :

Etablissement d'une fiche EXCEL :

- **EXCEL** : est un logiciel de la suite bureautique Office de Microsoft et permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de plannings, de graphiques et de bases de données. On appelle ce genre de logiciel un "tableur".
- **INSERTION DES DONNEES** :

echantillon	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	la moyenne	R	S
1	2016	2014	2014	2014	2014	2014	2012	2010	2008	2006	2012,2	10	3,19
2	2018	2016	2014	2012	2010	2010	2010	2004	2004	2004	2010,2	14	5,03
3	2065	2065	2055	2050	2040	2035	2045	2010	2010	2012	2038,7	55	21,58
4	2022	2020	2018	2016	2014	2014	2012	2012	2012	2010	2015	12	3,92
5	2020	2016	2014	2014	2012	2010	2008	2006	2004	2002	2010,6	18	5,66
6	2008	2006	2004	2002	1998	1996	1902	1990	1888	1888	1968,2	120	52,51
7	2006	2002	2000	2000	1996	1990	1886	1884	1884	1882	1953	124	59,53
8	2020	2018	2016	2012	2012	2012	2016	2008	2008	2006	2012,8	14	4,64
9	2020	2018	2018	2016	2014	2014	2008	2006	2002	1998	2011,4	22	7,49
10	2022	2020	2018	2014	2012	2012	2010	2008	2006	2004	2012,6	18	5,97
11	2014	2008	2006	2000	2000	1932	1934	1932	1930	1988	1998,4	26	8,68
12	2014	2014	2012	2010	2010	2010	2008	2006	2002	1998	2008,4	16	5,15
13	2004	2002	1998	1998	1994	1994	1990	1988	1984	1984	1993,6	20	7,04
14	2012	2008	2004	2000	2002	2006	1998	1994	1990	1988	2000,2	24	7,80
15	2020	2018	2014	2010	2008	2002	2000	2000	1996	1992	2006	28	9,48
16	2014	2014	2010	2006	2006	2000	1994	1994	1980	1970	1998,8	44	14,61
17	2008	2008	2006	2000	1994	1994	1990	1986	1986	1982	1995,4	26	9,66
18	1996	1994	1990	1988	1984	1984	1980	1980	1976	1974	1984,6	22	7,37
19	1997	1993	2001	1997	1996	1981	1993	1981	1987	1994	1992	20	6,83
20	1970	1975	1980	1969	1985	1978	2000	2003	1995	1999	1985,4	34	12,90
21	2008	2002	1979	2003	2004	1994	1977	1970	1981	2003	1992,1	38	13,92
22	1962	1985	1996	1971	1983	1999	1988	1992	1989	1939	1980,4	60	18,33
23	2009	1999	1977	1996	2013	2023	2018	1998	1977	2020	2003	46	16,64
24	1997	2015	2002	1977	1971	2003	2007	2007	1994	1970	1994,3	45	16,08
25	1981	1991	1971	1943	1982	1979	1981	1993	1972	1961	1975,4	50	14,76
26	2002	1994	2008	1997	2003	1997	2002	1993	1972	1992	1996	36	9,84
28	1949	1999	1948	1968	2007	1952	1993	1966	1974	2005	1978,1	59	23,36
29	1940	1986	1940	1993	2000	1943	1993	1943	1940	1994	1967,2	60	27,63
30	2028	2022	2022	2020	2016	2016	2012	2012	2008	2008	2016,4	20	6,59
31	2024	2020	2020	2018	2016	2014	2014	2012	1998	1994	2013	30	9,67
32	2034	2016	2010	2006	2002	2000	1998	1976	1960	1950	1995,2	84	25,82
33	2028	2022	2022	2020	2016	2016	2012	2012	2008	2008	2016,4	20	6,59
34	2024	2020	2020	2018	2016	2014	2014	2012	1998	1994	2013	30	9,67
35	2034	2016	2010	2006	2002	2000	1998	1976	1960	1950	1995,2	84	25,82
36	2026	2008	2004	2002	1996	1996	1994	1990	1990	1984	1999	42	11,90
37	2026	2022	2014	2012	2008	2002	2000	1982	1976	1964	2000,6	62	20,44
38	2002	1945	1943	1997	2001	2003	1999	1998	1999	2000	1988,7	60	23,63
39	1996	1999	2000	2002	2001	2003	1999	1998	1999	2000	1999,7	7	2,00

Figure 18 : Les données insérées dans Excel

En basant sur les relations de \bar{X} et \bar{R} en utilisant sur Excel des fonctions très simple pour la calculer :

\bar{X}	\bar{R}
1997,80256	39,8717949

Puis a l'aide de l'insertion des coefficients : A'c, A's, D'c et D's a l'aide des annexes 1 et 2

(Pour n=10) on peut trouver facilement les limites de contrôle et de surveillance :

A'c'	0,317
A's'	0,202
D'c'	1,94
D's'	1,56

Les résultats :

Lcs	Lci	LSS	Lsi	L'cs	L'ss
2010,44192	1985,16321	2005,85667	1989,74846	77,3512821	62,2

Carte de contrôle \bar{X} :

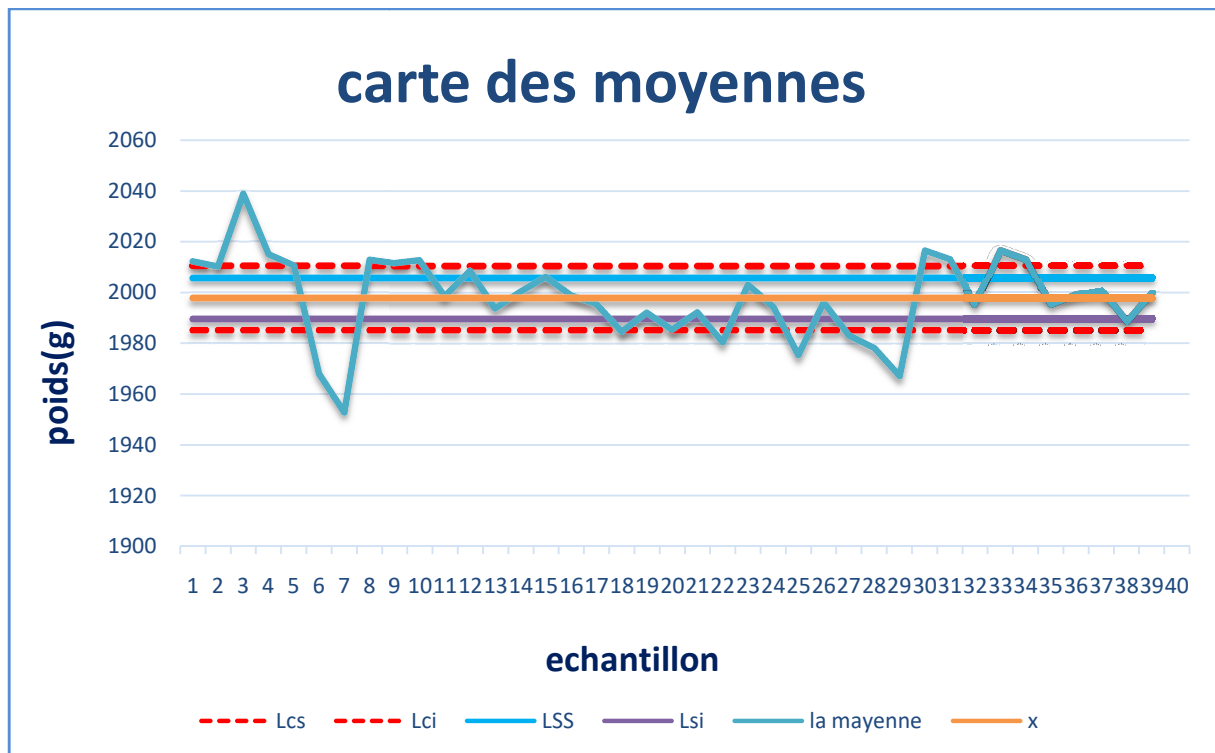


Figure 19 : Carte de contrôle des moyennes.

Les régle de westgard :

1. Si un seul point au-dessus de la LSC ou en dessous de LIC il sera rejeté et c'est une violation (1_{3S})
2. Si deux points consécutifs sont situés à l'extérieur des limites d'alertes des résultats (2_{2S}) \rightarrow peut être il y a une cause assignable
3. Si deux valeurs consécutives éloignées de quatre écart-type (R_{4S}) \rightarrow faire attention après 10 min faut faire des prélèvements peut-être il y a une cause assignable
4. Si douze ou dix points consécutifs sont situés d'un même coté de la droite de valeurs de référence (12_x , 10_x)
5. Si 7 points sont situés en hausse et en baisse continue (7_t)

6. Si 4 points consécutifs sont éloignés de plus d'un écart type du même côté de la moyenne (4_{1S})

Le processus est stable lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- 2/3 des points sont près de la ligne centrale (A et B)
- Peu de points sont situés près des limites de contrôle (E et F)
- Les points sont situés tantôt au-dessus de la ligne centrale, tantôt au-dessous
- Les points sont répartis par moitié de manière régulière des deux côtés de la ligne centrale
- Il n'y a pas de points en dehors des limites de contrôle

Interprétations et corrections carte 1 :

On remarque que les points 1,3,4,6,7,8,9,10,22,25,27,28,29,30,31,33,34 sont en dehors des limites de contrôles (la 1^{ère} règle de Westgard) c-à-d que 43% des échantillons ont une moyenne qui se situe en dehors de LSC donc une forte probabilité de dérive due à une cause aléatoire donc il faut renforcer la surveillance. Modifier les conditions de production pour trouver la cause aléatoire.

Les points consécutifs (5-6), (7-8) et (29-30) sont éloignés de quatre écart-type (R_{4S}) → (la 3^{ème} règle de Westgard) donc peut-être il y a une cause assignable il faut intervenir et régler le processus. Voir le journal de bord pour trouver la cause et corriger.

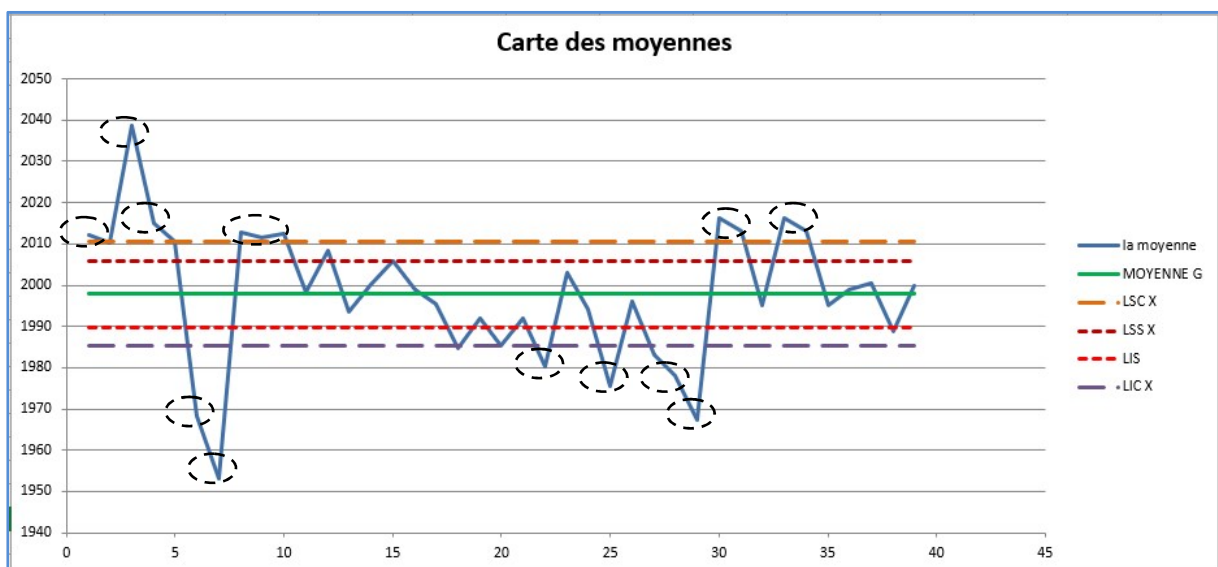


Figure 20 : Carte de contrôle des moyennes

Carte de contrôle R:

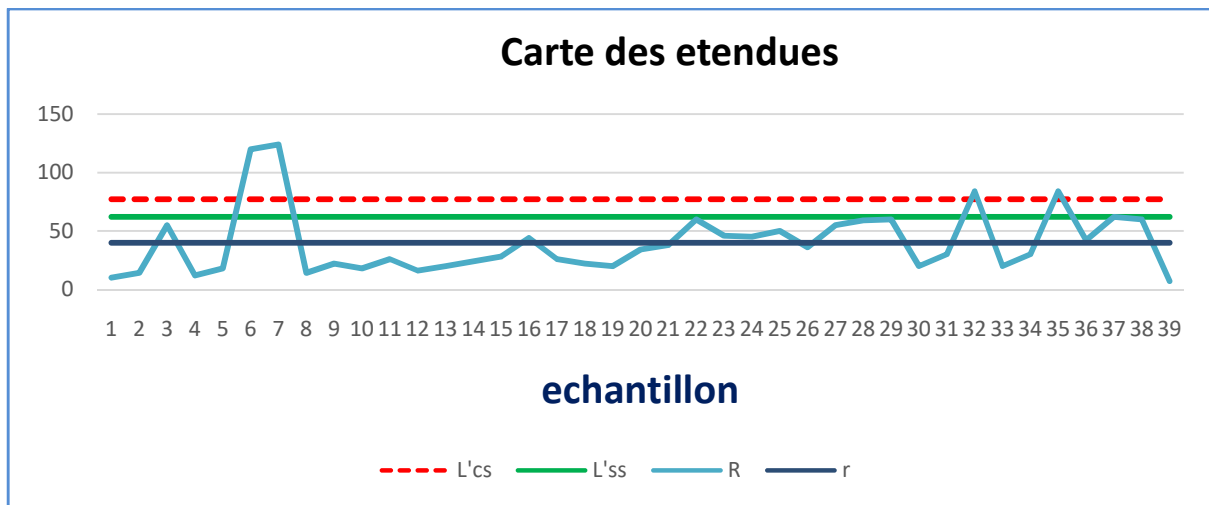


Figure 21: Carte de contrôle des étendues.

Interprétations et corrections carte 2 :

L'étendue des échantillons 6,7, 32 et 35 sort des limites de contrôle et étendue trop grande, le processus n'est plus capable, il produit des mauvaises pièces donc il faut un arrêt immédiat du processus, recherche de la cause, voir le journal de bord.

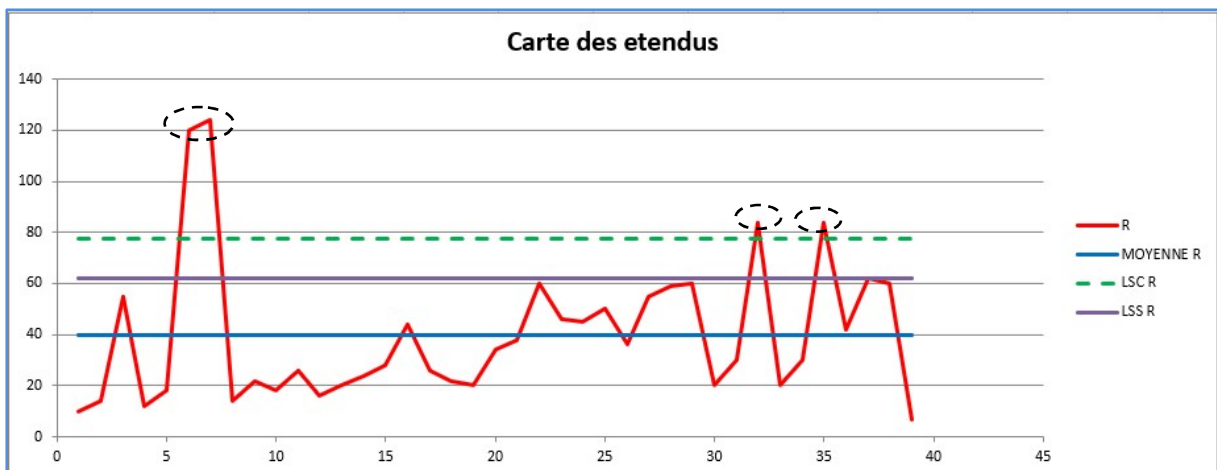


Figure 22 : Carte des étendues

L'analyse de capabilité :

Calcule des indices Cp et Cpk :

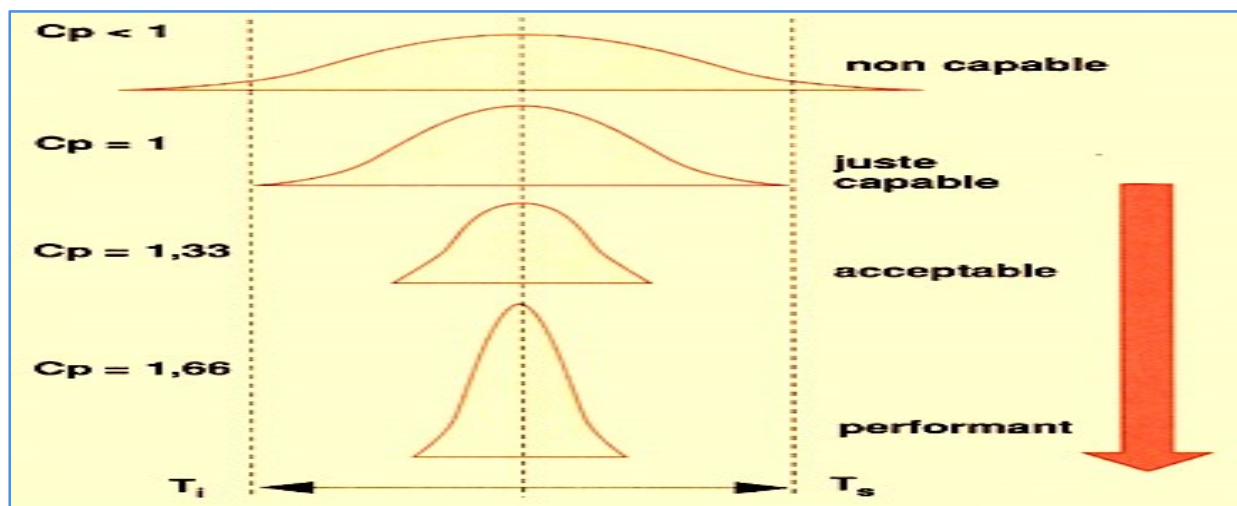
- L'indice Cp est :

$$Cp = \frac{T_s - T_i}{6\sigma^*} \text{ Avec : } \sigma^* \text{ (écart type estimé)} = \frac{\bar{R}}{dn}$$

Tolérance Supérieure Ts	2030
Tolérance inférieure Ti	1970
\bar{R}	39.87
\bar{X}	1997.802
Dn (d'après l'annexe)	3.078

Donc : $\sigma^* = \frac{\bar{R}}{dn} = 12.95$ et **$Cp = 0.77$**

- Interprétation de résultat :



On $Cp < 1$ donc le processus est non capable et le taux de non conforme est trop élevé.

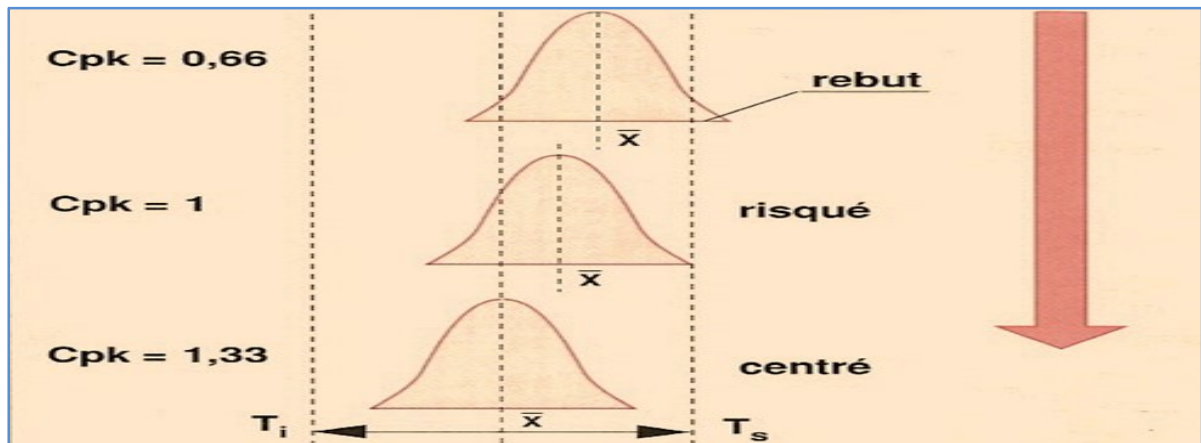
- L'indice Cpk est :

$$Cpk = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma^*} ; \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma^*} \right|$$

On calcule cpki et cpks :

$$Cpki = \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma^*} = 0.71 ; Cpk_s = \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma^*} = 0.83 \text{ ET donc } \mathbf{Cpk = 0.71}$$

- *Interprétation de résultat :*



On sait que le Cpk mesure le centrage de la moyenne et puisque le $Cpk < 1$ donc le procédé n'est pas centré.

Après l'étude des cartes de contrôle par mesures on remarque que on a un problème de l'instabilité du poids de pain de sucre et pour trouver la localisation du ce problèmes, le prochain chapitre est consacré à étudier les causes de cette variation et proposer des solutions pour contourner les défaillances et améliorer le processus de production.

Chapitre III :

L'analyse de l'environnement

Après avoir analysé les cartes de contrôle et l'histogramme, il est clair que le processus de fabrication de sucre rencontre plusieurs problèmes qui influencent le poids de ce dernier. D'où la nécessité d'identifier les causes et de chercher des solutions efficaces au niveau industriel. C'est ça le but de ce chapitre dans lequel nous allons faire appel à quelques outils de gestion de qualité (AMDEC, Ishikawa...)

1. Analyse et évaluation de la situation

La méthode QQQQCP permet de mener une analyse fine de la situation. Et ce d'une manière constructive, basée sur un questionnement systématique de façon à tourner le problème dans tous les sens, le décomposer dans toutes ses dimensions, décaler les regards et ouvrir le champ des possibles en matière de solution.

Processus de l'outil QQQQCCP :

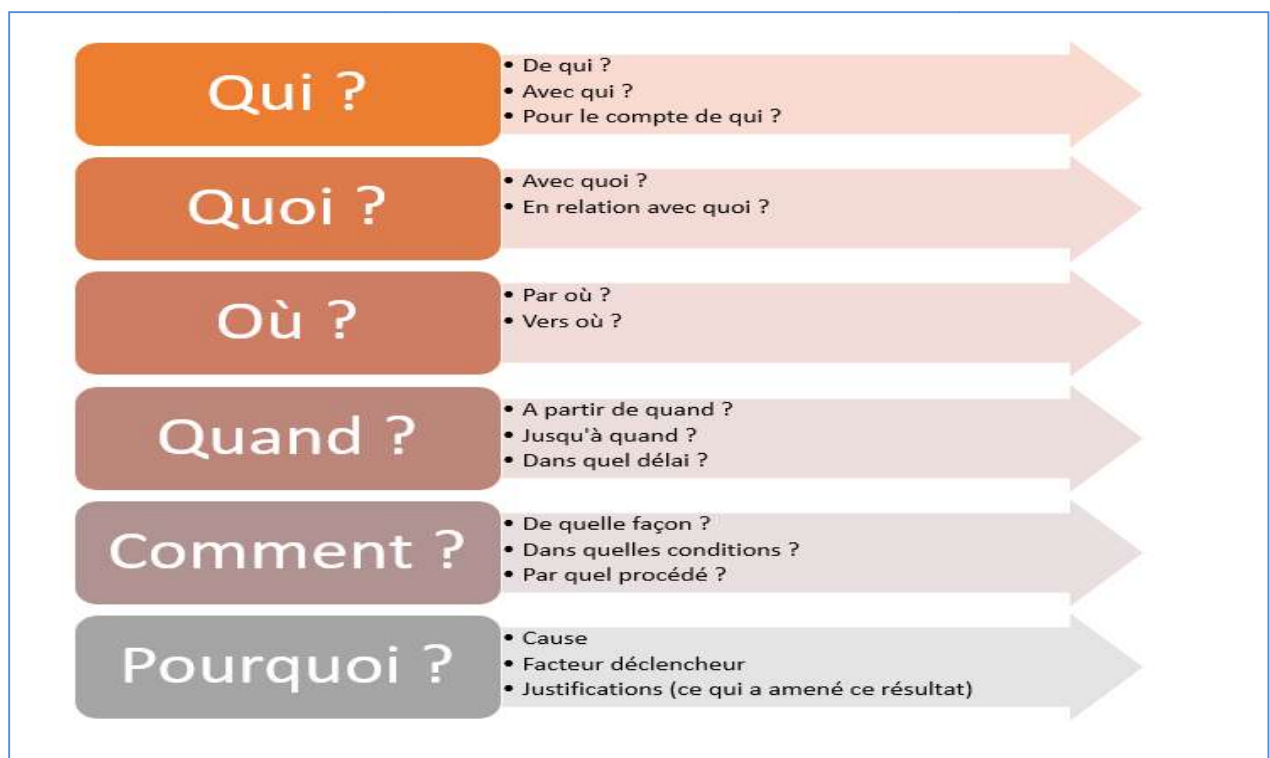


Figure 23 : La méthode QQQQCP

Application de la méthode QQQQCP :

Les réponses concernant notre étude sont illustrées dans le tableau (N°).

Qui ?	Bachar Soukaina Marih Aicha El-khairani Zouhair
Quoi ?	L'instabilité du poids de sucre de pain.
Où ?	Atelier de conditionnement.
Quand ?	Le problème est détecté dans le mois d'Aout 2020 à cause de la non-conformité du poids de sucre de pain. La non satisfaction du client.
Comment ?	Durant l'étude de la performance de l'étape de conditionnement, une stabilité du poids.
Combien ?	L'instabilité du poids peut influencer sur: <ul style="list-style-type: none">◦ La qualité organoleptique◦ L'emballage, stockage
Pourquoi ?	Obtenir un Sucre conforme

2. RECHERCHE DES CAUSES :

Diagramme d'Ishikawa :

- **Définition :**

Le diagramme causes à effet est aussi appelé diagramme en arêtes de poisson, diagramme d'Ishikawa (*Ishikawa diagram en anglais*) ou diagramme des 5M.

Il sera utile pour déterminer de façon pertinente sur quels leviers on doit agir pour améliorer la situation.

- **Contexte :**

À utiliser à chaque fois que vous souhaitez faire la synthèse graphique de toutes les causes possibles pouvant entraîner un effet (problème, dysfonctionnement, résultat, etc.) auquel vous vous intéressez :

- En groupe de travail à l'issue d'un brainstorming de recherche de toutes les causes possibles d'un problème
- Seul, pour mieux comprendre quels paramètres influencent un résultat ou un phénomène que vous étudiez ;
- Dans le cadre d'un rapport, pour présenter de façon simple aux destinataires les liens de cause à effet.

• **Étapes :**

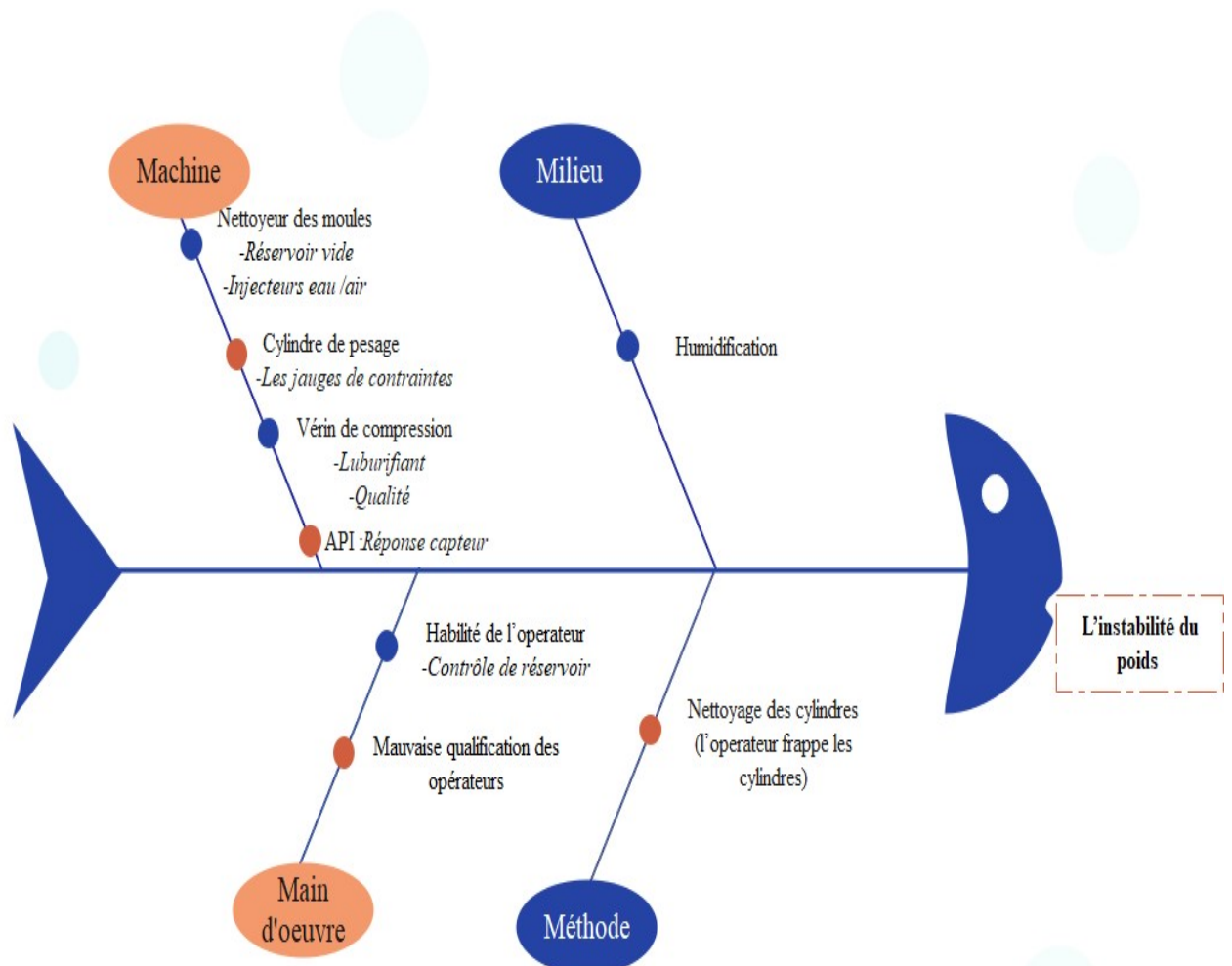
- 1) Tracer une grande flèche horizontale qui pointe vers l'effet étudié (écrire au bout de la flèche l'effet en toutes lettres).
- 2) Définir les familles de causes et tracer des flèches inclinées qui pointent toutes vers la flèche horizontale. Chaque flèche inclinée correspond à une famille. Éviter de définir plus de 6 à 7 familles (on utilise souvent la classification 5M : Matières premières, Méthodes, Main d'œuvre, Machines, Milieu). Indiquer au départ de chaque flèche le nom de la famille représentée.
- 3) Classer les causes par familles de causes :
 - **Famille matière** : causes liées à la matière première et par extension aux composants fournis en amont.
 - **Famille moyens** : causes liées aux moyens de réalisation des activités impliquant machines, outillages ou des logiciels.
 - **Famille main-d'œuvre** : causes liées aux personnes intervenantes, éventuellement liées à leurs carences, par exemple un manque de compétences.
 - **Famille méthodes** : causes liées aux méthodes de réalisation des activités et par extension à l'organisation ou au fonctionnement d'un service voire de l'entreprise.
 - **Famille milieu** : causes liées à l'environnement physique, social, conjoncturel, géographique, économique, politique ou autre sur lequel l'entreprise a ou n'a pas d'influence possible.

Une sixième famille peut parfois être ajoutée en fonction de la nature de l'activité, comme la famille management.

- 4) Répartir les causes par famille en traçant des ramifications autour de chaque flèche représentant une famille donnée.

- **Application :**

Maintenant on vient à l'étape de la projection de cette méthode sur notre cas d'étude voici le diagramme obtenu



3. RECHERCHE DES SOLUTIONS :

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

- **Définition :**

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité ou AMDEC est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser les modes de défaillances potentielles dont les conséquences affectent le bon fonctionnement du moyen de production, de l'équipement ou du processus étudié, puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives ou préventives à apporter lors de la conception, de la réalisation ou de l'exploitation du moyen de production, du produit ou du processus.

- **Objectif :**

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité est une méthode structurée et systématique qui permet de :

- Détecter les défaillances (et leurs effets) d'un produit ou d'un processus
- Définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes.
- Documenter le processus du développement

- **Les types :**

On différencie plusieurs types d'AMDEC :

- **L'AMDEC PRODUIT** : Elle sert à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception.
- **L'AMDEC PROCESSUS** : Assure la qualité d'un produit en améliorant les opérations de production de celui-ci.
- **L'AMDEC MOYEN DE PRODUCTION** : Elle assure la disponibilité et la sécurité d'un moyen de production en améliorant sa maintenance.

- **Démarche :**

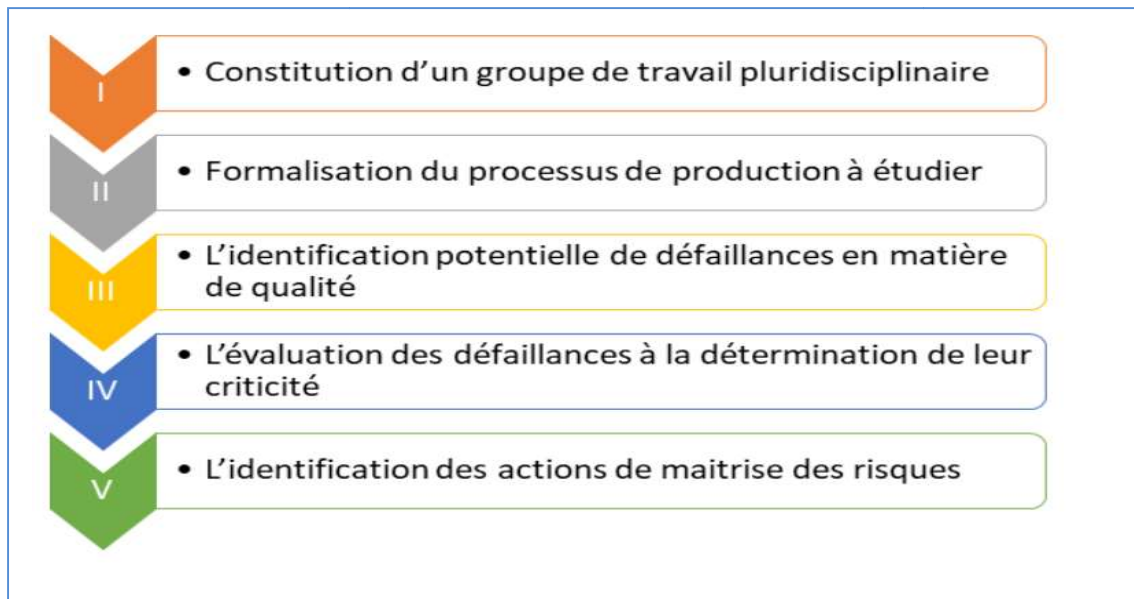


Figure 24 : Processus de la méthode AMDEC

- **L'AMDEC et l'ingénierie simultanée**

L'ingénierie simultanée consiste à intégrer dans la phase de conception d'un produit, à la fois les exigences des clients en terme de qualité, de fiabilité et de coûts d'une part, et les exigences des achats, de conception de processus, d'industrialisation du produit, de maintenance et des finances d'autre part. Cette logique nécessite la participation active des services marketing, ingénierie, production, finances, achats, service après vente, etc, dans le but d'éliminer le plus en amont possible les défaillances, de réduire les coûts de développement ainsi que le délai de mise en marché des produits.

La simulation simultanée de plusieurs exigences, des spécifications, des conditions, des options et leur traduction en terme de coûts, de délais et de risques est possible grâce à toute une gamme des nouveaux logiciels de type DFMA". Ces logiciels s'appuient sur un certain nombre de modules spécifiques:

CFAO - conception et fabrication assistée par ordinateur - qui aide à augmenter la symétrie des pièces, et à diminuer les coûts de fabrication par la simplification des procédés d'assemblage;

PCM - (Predictive Cost Modeling) permettant d'effectuer des analyses comparatives des coûts globaux et des coûts en cours de chaque phase de développement du produit; modules d'évaluation de la rentabilité des investissements; modules d'application AMDEC, pour améliorer la fiabilité et la maintenabilité des produits, pour identifier les processus critiques; modules des systèmes experts permettant d'optimiser l'utilisation des multiples ressources et processus; modules de synthèse générale permettant d'identifier et de proposer des stratégies d'utilisation optimale.

La méthode AMDEC s'intègre parfaitement dans la méthodologie de l'ingénierie simultanée. Avec les autres modules, l'application de l'AMDEC assure à un nouveau produit l'efficacité de fonctionnement, la rentabilité, la rapidité de développement et la meilleure performance des processus en production. Il existe d'autres outils de prévention spécifiques aux différents secteurs de l'industrie. La plupart d'entre eux sont proches de l'AMDEC ou viennent la compléter.

• Application

Maintenant on vient à l'étape de la projection de cette méthode sur notre cas d'étude voici le tableau obtenu

Sous-ensembles	Fonction	Défaillance (description du défaut)	Cause du défaut	G	Effet critique du défaut	F	Eléments de contrôle	D	C	Mesures correctives
VERIN DE COMPRESSION	Mise en forme du mélange et le condensé	Blocage et coincement de la tige de cylindre.	moins de lubrifiant / la qualité du vérin	2	compression non efficace /le vérin n'atteint pas la fin de course	1	capteur TOR /capteur devin ou cactus	1	2	lubrifier
cylindre de pesage	Peser le sucre	endommagement des jauges de contraintes	les operateurs frappent le cylindre pour se débarrasser du sucre	4	imprécision poids sucre	1	carte de contrôle	3	12	changer les jauges /nettoyage des cylindres par l'injection eau-air

API	facilite la création et l'intégration de logiciels d'applications	retards et asynchronisme	capteur TOR qui indique que le poids dans les cylindres de pesages atteint 2000g	2	imprécision poids sucre	1	carte de contrôle	3	6	changer le capteur TOR
nettoyeur moules	Nettoyer les moules après démoulage	réservoir eau vide	fuite/ niveau bas	2	pas d'injection d'eau un nettoyage non efficace des moules	2	un capteur niveau	1	4	remplir le réservoir
		injecteur endommagé	duré de vie : qualité	1	pas d'injection d'eau un nettoyage non efficace des moules	1	contrôle régulier par un operateur	3	3	changer les injecteurs

- **Le résultat de la méthode AMDEC :**

Par un analyse de ces deux méthodes on peut dire que la cause major (C=12) c'est l'endommagement des jauges de contraintes et ceci du au nettoyage non approprié des opérateurs.

- **La solution proposée:**

Le problème d'instabilité de poids est issu principalement de l'endommagement des jauges de contraintes qui affecte la précisions de pesage, cet endommagement est a son tour un effet de mode de nettoyage inapproprié (l'opérateur frappe sur les cylindres de pesage pour se débarrasser de sucre coller sur les parois), ce mode de nettoyage qui est la cause racine de notre problème serre la duré de vie des jauges et agit sur leur précision. Pour faire face à ce problème nous avons proposé l'implantation d'un autre système de nettoyage par injection d'eau sous haute pression.

Après le vidange des cylindres dans les moules, ils se déplacent vers le système de nettoyage, une fois un capteur TOR détecte leur présence il envoie un signal, la tige de verin entre et les injecteurs injectent l'eau sous pression pour arracher le sucre encrasser sur les parois.

Après 3 secondes les injecteurs arrêtent l'injection et les cylindres reviennent à la position initiale pour un nouveau dosage.

Voilà la simulation sur le logiciel CATIA de notre proposition :

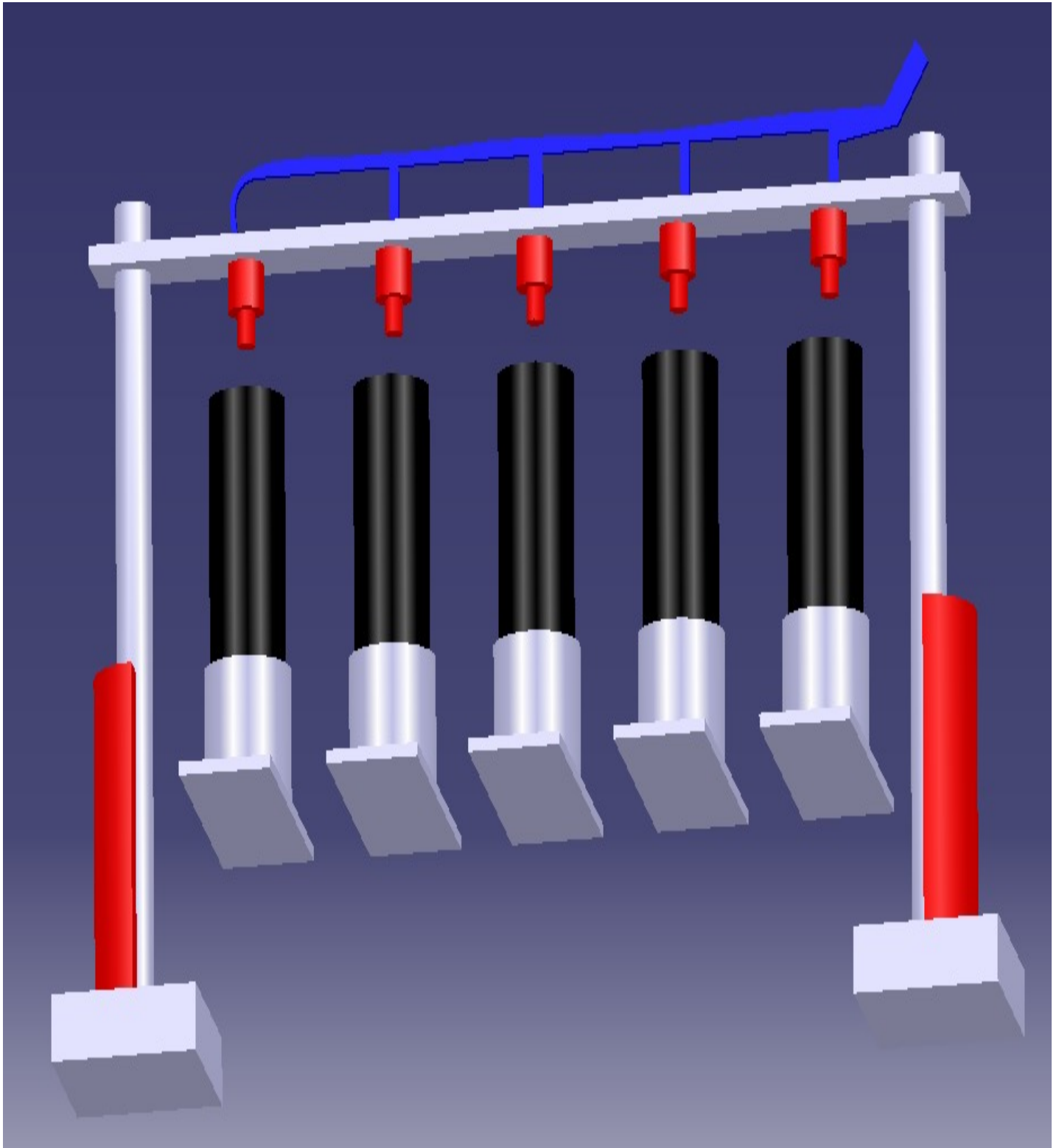


Figure 25 : La solution proposée sur CATIA

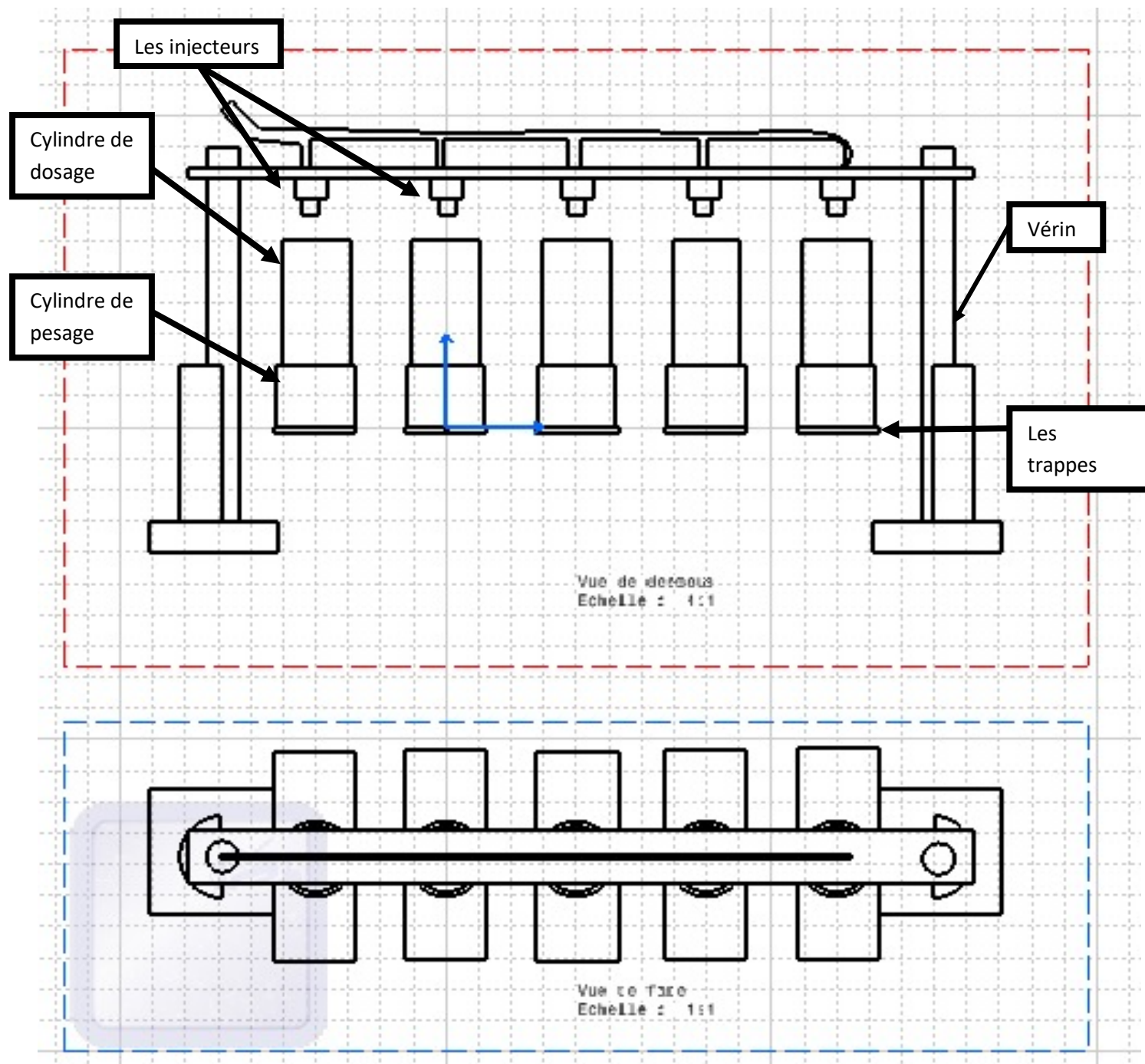


Figure 26 : Drafting de la solution proposée

Conclusion :

Toutes les entreprises travaillent autour de la qualité. Que ce soit pour la vente de produit ou de service, la qualité est omniprésente et a pour objectif d'améliorer le fonctionnement et le savoir-faire de l'entreprise. Elle oriente la stratégie (organisation et production) en fonction des attentes du client et permet aux salariés de travailler dans des meilleures conditions et ceci pour pouvoir résister à la concurrence et garder sa place sur le marché national.

Ce rapport que nous avons construit vise la démarche Qualité et prend comme cas d'étude l'entreprise Cosumar nous a permis de mettre en pratique nos connaissances théoriques acquises au cours et au TPs pour les appliquer dans un échelle plus grand et plus réel (l'entreprise Cosumar) , de mieux connaître le secteur, d'être en contact même virtuel avec les deux services production et qualité comme nous avons pu développer notre sens d'initiative , un esprit de traitement des problèmes plutôt pratique que purement académique et améliorer nos capacités de déduction ainsi nous a permis de compenser parfaitement l'opportunité (le stage) dont nous étions priver à cause de la situation épidémique nationale, et ce, dans la mesure où nous avons effectué une étude globale sur la mise en place de cartes de contrôle de pain de sucre en se basant sur des données réelles de l'entreprise étudiée ,la vérification de la loi normale , et une étude de capabilité qui a pour but de mesurer si le procédé respecte bien les exigences, ainsi que nous avons tracé les cartes de contrôle a fin de savoir si le procédé est sous contrôle statistique et pour vérifier "en ligne" si la distributions du poids sur le sucre lingot morceau ou le procédé sont stables dans le temps.

En effet, grâce à cette étude nous avons pu savoir la conformité et la qualité du poids et l'incapabilité du procédé puisqu'on a trouvé des points en dehors des limites de contrôle ou surveillance avec une certaine uniformité et le procédé et incapable de produire dans un intervalle de tolérance requis puisque la courbe en cloche et déviée à gauche par rapport à la moyenne. Cette non aptitude du procédé et cette instabilité du poids revient à une cause / des causes qu'il faut les déterminer pour ensuite trouver des solutions d'où la justification de l'utilisation des outils de gestion de qualité (AMDEC-ISHIKAWA...)

Enfin, par une identification précise des causes nous avons pu trouver des solutions qui vont surement corriger l'imprécision du poids et la non-conformité du procédé.