



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Fabrication mécanique et productique

Thème :

*Etude, conception et simulation d'une
machine d'extrusion des pâtes.*

Proposé et dirigé par :
Mr. Lounici Billel.

Présenté par :
Mazari Mounir.
Rabai Ishak.

Remerciement

Alhamdulillah, grâce à lui, nous avons pu atteindre notre mémoire portant sur (Etude, conception et simulation d'une machine d'extrusion de pâte).

Ce travail a été réalisé au sein du Département de Mécanique de l'Université Saad Dahlab de Blida 1.

Nous voudrions tout d'abord remercier les membres de jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail.

Tout au long de ce modeste travail, nous étions encadrés, guidés et orientés par notre promoteur Mr. Lounici Billel, que nous tenons sincèrement à remercier en particulier pour tous ses précieux conseils et sa grande compréhension.

Dédicace

Alhamdulillah de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, le bonheur et la patience d'aller jusqu'au rêve.

Avec les sentiments d'amour et de la gratitude les plus sincères Je dédie ce modeste travail

À Mon **père**, et ma très chère **mère**. pour leur amour, leur prière et leur sacrifice.

À mon cher oncle **Mustafa**, mes sœurs **Saoussen** et **Nour El-Houda**, mon frère **Mohamed Amine**, et à toute la famille **Mazari**.

Et bien sûr, à mes chers amis **Ishak**, **Zaki**, **Mohamed B**, **Mohamed Z** et **Hamoud**, , et à mes deux sœurs, **Nesrine** et **Fatiha** qui me gardent toujours le moral.

A tous qui ont contribué dans ma formation depuis mon enfance et Pendant tous les niveaux, et tous ceux que j'ai omis de citer.

Mounir Mazari

Dédicace

Alhamdulillah de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, le bonheur et la patience d'aller jusqu'au rêve.

Avec les sentiments d'amour et de la gratitude les plus sincères Je dédie ce modeste travail

À Mon **père**, et ma très chère **mère**. pour leur amour, leur prière et leur sacrifice.

À mon cher sœurs **Oumaina** et mon frère **Wassim**, et à toute la famille **Rabai**.

Et bien sûr, à mes chers amis **Mounir, Zaki, Mohamed Berrichi, Mohamed Zaaf et Hamoud**, et à mes deux sœurs, **Nesrine et Fatiha** qui me gardent toujours le moral.

A tous qui ont contribué dans ma formation depuis mon enfance et Pendant tous les niveaux, et tous ceux que j'ai omis de citer.

Rabai Ishak

Résumé :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la fabrication de pâtes alimentaires, et parmi elles, l'extrusion se distingue comme une technique clé. Ce travail implique l'étude et la conception d'une machine d'extrusion des pâtes en utilisant SolidWorks. Une fois la conception achevée, une Étude Numérique est menée via Flow-Simulation de SolidWorks pour valider les paramètres déterminés durant l'étude préliminaire.

Mots Clés : Extrudeuse, Extrusion des pâtes, Conception Mécanique, SolidWorks.

ملخص:

يتم استخدام عدة طرق لصناعة المعكرونة، ومن بينها، يبرز البثق كتقنية رئيسية. يتضمن هذا العمل دراسة وتصميم لآلة بثق المعكرونة باستخدام برنامج SolidWorks. بمجرد الانتهاء من التصميم، يتم إجراء دراسة رقمية عبر SolidWorks Flow-Simulation للتحقق من صحة المعلومات المحددة خلال الدراسة الأولية.

كلمات مفتاحية: الباثقة، بثق المعكرونة، التصميم الميكانيكي، SolidWorks.

Abstract :

There are various methods employed in the production of pasta, with extrusion standing out as a pivotal technique. This task involves the study and design of a pasta extrusion machine using SolidWorks. Following the completion of the design, a Numerical Study is conducted through SolidWorks' Flow-Simulation to confirm the parameters established during the initial study.

Key words: Pasta Extrusion, Extruder, Mechanical Design, SolidWorks.

Liste des figures

Chapitre I

Figure (I – 1) : Extrusion de plastique.	2
Figure (I – 2) : Extrusion en métallurgie.	3
Figure (I – 3) : Extrusion agro-alimentaire.	3
Figure (I – 4) : La matière première (le blé).	5
Figure (I – 5) : Extrudeuse industrielle et extrudeuse artisanale.	6
Figure (I – 6) : Les unités d'extrudeuse des pâtes.	6
Figure (I – 7) : Une trémie.	7
Figure (I – 8) : Un cylindre d'extrusion.	7
Figure (I – 9) : Les matrices de formage.	7
Figure (I – 10) : Système de découpage temporisé.	8
Figure (I – 11) : Le pétrissage.	8
Figure (I – 12) : L'extrusion des pâtes et les matrices utilisées.	9
Figure (I – 13) : Le séchage.	9
Figure (I – 14) : L'emballage et la publicité.	10

Chapitre II

Figure (II – 1) : Conception de la machine complète.	11
Figure (II – 2) : Les organes de la machine.	13
Figure (II – 3) : Moteur.	13
Figure (II – 4) : Le groupe d'accouplement.	14
Figure (II – 5) : Choix de clavette.	14
Figure (II – 6) : La trémie.	15
Figure (II – 7) : Fourreau.	16
Figure (II – 8) : Vis sans fin.	16
Figure (II – 9) : Roulement BS 6267 RBB – 3825 – 22, DE, AC, 22_68	20

Figure (II – 10) : Couvercle de roulement.	21
Figure (II – 11) : Choix de circlip.	21
Figure (II – 12) : Le support de roulement.	22
Figure (II – 13) : La matrice de formage et le corps de la matrice.	22
Figure (II – 14) : Géométrie de vis-fourreau.	23
Figure (II – 15) : Système vis – écrou.	26
Figure (II – 16) : Choix de moteur.	28
Figure (II – 17) : Variateur de vitesse.	28
Figure (II – 18) : La partie du système de découpage.	29
Figure (II – 19) : Support de moteur.	29
Figure (II – 20) : Cutteur de pâte.	30
Figure (II – 21) : Moteur pas à pas de type NEMA 23 Bipolaire 23HS45-4204S1	30

Chapitre III

Figure (III – 1) : Logo SolidWorks.	33
Figure (III – 2) : Extrudeuse des pâtes.	34
Figure (III – 3) : Moteur (JM 2 POLES SERIES 80 b)	34
Figure (III – 4) : Conception du groupe d'extrusion.	35
Figure (III – 5) : Conception du groupe d'accouplement.	36
Figure (III – 6) : Moteur (NEMA 23 Bipolaire).	37
Figure (III – 7) : L'assemblage du système de découpage.	38
Figure (III – 8) : La base principale.	39

Chapitre IV

Figure (IV - 1) : Le mécanisme « vis-fourreau-matrice » à étudier.	40
Figure (IV - 2) : Démarrage de la simulation avec Flow Simulation.	41
Figure (IV - 3) : Fermeture du système.	41
Figure (IV - 4) : Création du nouveau projet.	42

Figure (IV - 5) : Choix d'unités.	42
Figure (IV - 6) : Choix de types d'analyse.	43
Figure (IV - 7) : Choix de la matière (Slurry).	43
Figure (IV - 8) : Définition des conditions initiales.	44
Figure (IV - 9) : Définition des conditions aux limites.	44
Figure (IV - 10) : Définition des conditions aux limites (Condition à l'entrer).	45
Figure (IV - 11) : Définition des conditions aux limites (Condition à la sortie).	45
Figure (IV - 12) : Choix des résultats : vitesse sur l'axe X.	46
Figure (IV - 13) : Lancement de calcul.	46
Figure (IV - 14) :	47
(A) Coupe longitudinale de la vitesse selon l'axe X et le module de vitesse.	
(B) Coupe transversale de la vitesse selon l'axe X et le module de vitesse.	
Figure (IV - 15) :	48
(A) Coupe longitudinale du mouvement de la pâte à l'intérieur de la machine.	
(B) Coupe transversale du mouvement de la pâte à l'intérieur de la machine.	

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau (II – 1) : Propriétés de l'étude.	17
Tableau (II – 2) : Information sur le modèle.	17
Tableau (II – 3) : Propriétés de matériau.	18
Tableau (II – 4) : Les déplacements imposés.	18
Tableau (II – 5) : Charges appliquées.	19
Tableau (II – 6) : Résultat de la contrainte.	19
Tableau (II – 7) : Résultat de déplacement.	19
Tableau (II – 8) : Résultat de la déformation.	20
Tableau (II – 9) : Autre cas pour la vitesse de rotation du moteur.	31

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
Chapitre I : Généralités sur l’extrusion.	
I.1. Introduction	2
I.2. Extrusion	2
I.2.1. Définition	2
I.2.2. Exemples d’applications	2
I.2.2.1. Plasturgie	2
I.2.2.2. Métallurgie	3
I.2.2.3. Agro-alimentaire	3
I.3. Secteur agro-alimentaire	4
I.3.1. Définition	4
I.3.2. Les groupes du secteur agro-alimentaire	4
I.3.3. Les pâtes alimentaires	4
I.4. La machine d’extrusion des pâtes	6
I.4.1. Les unités de production	6
I.4.1.1. La trémie	7
I.4.1.2. Le cylindre d’extrusion	7
I.4.1.3. La matrice de formage	7
I.4.1.4. Système de découpage	8
I.4.2. Le processus de la production des pâtes	8
I.4.2.1. Le pétrissage et l’extrusion	8
I.4.2.2. Mise en forme des pâtes	9
I.4.2.3. Le séchage	9
I.4.2.4. Commercialisation	10
I.5. Conclusion	10
Chapitre II : Etude de la machine d’extrusion des pâtes.	
II.1. Introduction	11

II.2. Conception de la machine	11
II.2.1. Partie I : Extrusion	11
II.2.1.1. Principe de fonctionnement	12
II.2.1.2. Les organes de la machine	12
II.2.1.3. Préparation de la pâte	22
II.2.1.4. Système vis-fourreau	23
II.2.1.5. Choix de moteur	24
II.2.2. Partie II : Système de découpage	29
II.2.2.1. Principe de fonctionnement	29
II.2.2.2. Les organes du système de découpage	29
II.3. Comment faire fonctionner la machine	31
II.4. Conclusion	32
 Chapitre III : Conception finale de la machine d'extrusion des pâtes.	
III.1. Introduction	33
III.2. Logiciel SolidWorks	33
III.3. Conception	33
III.3.1. Conception finale de la machine	34
III.3.1.1 Partie d'extrusion	34
III.3.1.2 Partie du système de découpage	37
III.3.1.3 Partie de la base principale	39
 Chapitre VI : Simulation numérique avec Flow-Simulation.	
IV.1. Définition de Flow-Simulation	40
IV.2. Simulation de déplacement	40
IV.2.1. Simulation de la vitesse de déplacement de la pâte	40
IV.2.1.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la vitesse de déplacement	41
IV.2.1.2. Résultat de la simulation de la vitesse de déplacement de la pâte	47
IV. Conclusion	49
 Conclusion générale	 50

Introduction générale

L'extrusion est un procédé de fabrication mécanique consistant à compresser un matériau dans un format donné sous l'action d'une pression. il peut s'effectuer à chaud ou à froid.

L'extrusion est une technologie en plein développement dans l'industrie agro-alimentaire. Il s'agit essentiellement d'un système de fabrication en continu d'un très grand nombre de produits alimentaires ou autres : chewing-gums, biscuits, pains plats, céréales pour petits déjeuners, farines et les aliments pour nourrissons. Elle est aussi présente dans la fabrication et le traitement des matières plastiques ou de la pâte à papier.

Dans notre travail de recherche nous nous sommes intéressés plus précisément à la machine d'extrusion des pâtes. C'est une machine qui permet de transformer des pâtes alimentaires en remplaçant le travail manuel par une machine dite Extrudeuse pour donner des produits alimentaires de différente taille et forme qui seront séchées puis emballées ou consommées.

A travers cette étude, nous nous sommes intéressés à la conception et la simulation d'un système d'extrudeuse. L'objectif principal de notre travail est la conception de la machine d'extrusion pour fabriquer des pâtes alimentaires avec le logiciel SolidWorks puis la simulation du processus d'extrusion avec la partie Flow Simulation de SolidWorks afin de vérifier les calculs réalisés en amont de la conception.

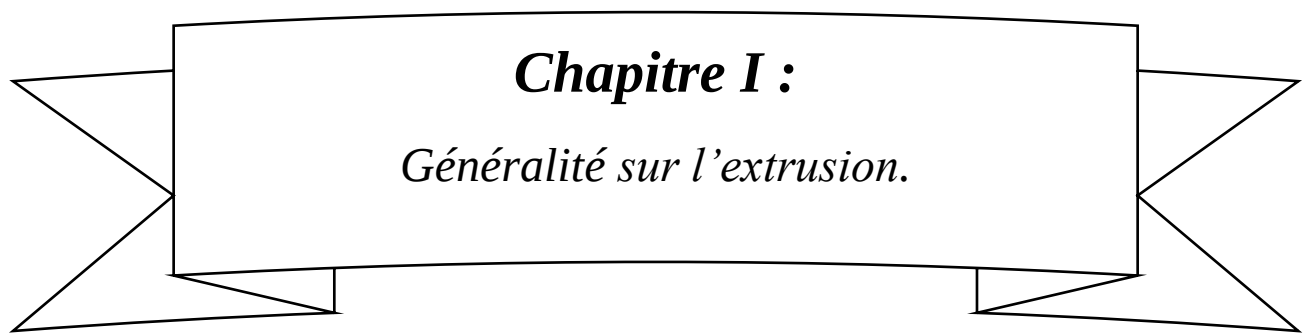
Premièrement, pour mener ce travail, nous avons commencé par une synthèse bibliographique où nous avons donné un aperçu général sur le procédé de l'extrusion et le secteur agro-alimentaire ainsi que les unités principales de la machine d'extrusion des pâtes.

Après, dans un deuxième chapitre nous avons parlé plus précisément de l'extrudeuse tout en faisant les études analytiques et numériques afin de calculer non seulement les dimensions du mécanisme, mais aussi les vitesses de rotation et le choix de moteur. Aussi, une étude pour le système de découpage.

Ensuite, dans un troisième chapitre, nous avons utilisé SolidWorks pour réaliser la conception finale de la machine et ses différents composants.

Puis, dans le quatrième chapitre, nous avons utilisé Flow-Simulation du logiciel SolidWorks pour vérifier nos résultats analytiques.

Enfin, ce travail a été achevé par une conclusion générale.



I.1. Introduction :

Le secteur agro-alimentaire ou complexe agro-industriel est un secteur d'activité correspondant à l'ensemble des entreprises des secteurs primaire (qui produisent des aliments), et secondaire qui transforment ceux-ci en aliments industriels. Dans le chapitre I, nous discuterons de l'extrusion et certains de ses nombreux domaines. Ensuite, nous verrons le secteur agro-alimentaire et ses groupes, ainsi que les caractéristiques des pâtes alimentaires. Enfin, nous parlerons de la machine d'extrusion de pâtes, ses unités, puis du processus de production des pâtes.

I.2. L'extrusion :

I.2.1 Définition :

L'extrusion est un procédé de fabrication mécanique consistant à compresser un matériau dans un format donné sous l'action d'une pression. L'extrusion peut s'effectuer à chaud ou à froid et se combiner à une réaction chimique ou enzymatique -on parle dans ce cas d'extrusion réactive-. Elle produit des formes longues, de section plate ou creuse. De très nombreux matériaux peuvent être extrudés : métal, plastique, caoutchouc, céramiques, fibre textile, pâte à papier...

I.2.2. Exemples d'applications :

I.2.2.1. Plasturgie :

Le plastique est introduit dans une extrudeuse sous forme de granulés. La machine chauffe les granulés qui fondent pour donner une pâte de plastique homogène, elle va ensuite être « soufflée » ou moulée à travers la tête d'extrusion. On obtient ainsi des produits de différents formes : gobelets, bidons et conteneurs, câbles, gaines PVC, stores, tuyaux, profilés plastique, jouets, panneaux de signalisation...

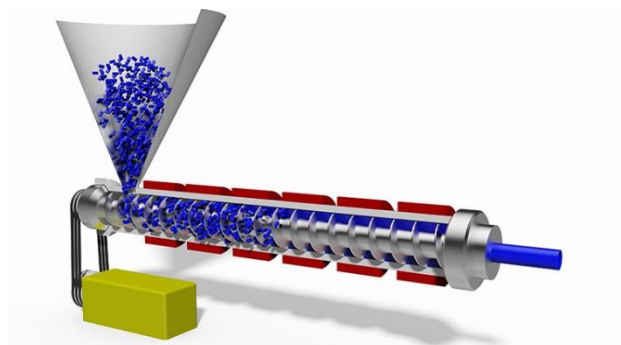


Figure (I – 1) : Extrusion de plastique.

I.2.2.2. Métallurgie :

L'extrusion permet d'obtenir de longues pièces de métal avec des formes de sections complexes, telles que des profilés d'aluminium pour l'automobile, l'industrie ou le bâtiment. Le métal est étiré à chaud ou à froid à travers une matrice, un outil percé d'un trou à travers lequel le métal est comprimé. Seuls, certains métaux supportent l'extrusion comme le plomb, l'aluminium, l'étain, le cuivre ou le titane.

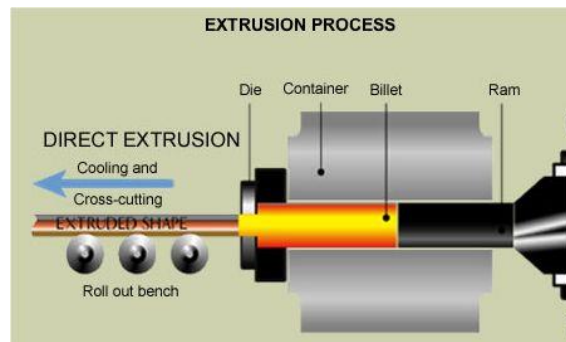


Figure (I – 2) : Extrusion en métallurgie.

I.2.2.3. Agro-alimentaire :

L'extrusion simple est utilisée pour fabriquer les pâtes alimentaires et certains biscuits. La cuisson-extrusion combine des opérations de malaxage, cisaillement, compression qui échauffent les aliments, ce qui produit une « cuisson » et une évaporation de l'eau. Cette technique modifie non seulement la structure et la composition des aliments, mais aussi leurs propriétés fonctionnelles et nutritionnelles. Elle est employée pour la fabrication des céréales du petit déjeuner, confiseries, galettes type « cracotte », farine infantile, snacks apéritifs, fromage fondu, surimi ou les saucisses. La cuisson-extrusion sert également à la texturation de protéines ou la production de bioplastique par modification de l'amidon.[\[1\]](#)



Figure (I – 3) : Extrusion agro-alimentaire.

I.3. Secteur agro-alimentaire :

I.3.1. Définition :

Le secteur agro-alimentaire ou complexe agro-industriel est un secteur d'activité correspondant à l'ensemble des entreprises des secteurs primaire (les exploitations agricoles) qui produisent des aliments, et secondaire (l'industrie agro-alimentaire) qui transforment ceux-ci en aliments industriels.

I.3.2. Les groupes du secteur agro-alimentaire :

Il regroupe deux ensembles (n'est pas comptabilisée la part de secteur agricole composé des producteurs fermiers et leurs innombrables productions et transformations fermières de faibles volumes qui sont commercialisées en vente directe) :

- Le secteur agricole, qui élève le bétail (cheptels moyens à importants), cultive les végétaux (grandes cultures) et vend les productions agricoles obtenues à l'industrie agroalimentaire ;
- L'industrie agroalimentaire, qui transforme le bétail et les végétaux cultivés en produits alimentaires industriels.

Ce secteur d'activité a sa propre économie, qui regroupe les activités de transformation et de commercialisation de produits agro-alimentaires tels que les produits laitiers industriels. Les cultures d'agro-ressources à des fins non alimentaires (pharmaceutiques, chimiques, textiles, énergétiques) bien que liées à des filières agro-industrielles spécifiques, restent regroupées dans cette branche générale d'activité. Ou bien les usines de transformation des produits agricoles vivriers en aliments prêts à consommer.[\[2\]](#)

I.3.3. Les pâtes alimentaires :

Si les pâtes alimentaires sont aujourd'hui consommées dans le monde entier, c'est qu'elles présentent de nombreuses caractéristiques aptes à satisfaire le consommateur :

- Diversité de compositions (nature, aux œufs, enrichies en fibres ou en légumes...) ;
- Multiplicité de formes (longues ou courtes, aspect de surface lisse ou rugueux) ;
- Facilité de préparation (cuisson dans l'eau bouillante, à la poêle ou aux micro-ondes) ;
- Longue durée de conservation (de plusieurs semaines pour des pâtes fraîches à plusieurs années pour les pâtes sèches) ;
- Valeur nutritionnelle (source de protéines végétales, faible indice glycémique), associées à une bonne qualité hygiénique ainsi qu'à un très bon rapport qualité-prix.

La fabrication des pâtes alimentaires met en œuvre une succession d'opérations unitaires, toutes physiques. Après que l'albumen vitreux du blé dur a été extrait par mouture sous forme de semoule (particules dont la granulométrie est comprise entre 150 et 500 microns), celle-ci est hydratée, malaxée, pressée et tréfilée pour obtenir la forme voulue. La structure obtenue est ensuite stabilisée généralement par séchage. Cette séquence d'opérations a été développée à l'échelle industrielle dans la première moitié du 20^e siècle et les principes mis en place n'ont pas beaucoup changé depuis les années 1950. Cependant, le débit des lignes de production a augmenté de façon spectaculaire, passant de quelques centaines de kilogrammes de production à 8 000 kg/h aujourd'hui. Cette évolution a été rendue possible grâce à une intégration rapide des connaissances comprenant le savoir-faire empirique des praticiens, des données scientifiques sur les propriétés physico-chimiques de la matière première et des produits finis, sur la science des matériaux ainsi que sur le développement de nouveaux capteurs et d'automatismes pour la conduite des lignes de fabrication.



Figure (I – 4) : La matière première (le blé).

La production des pâtes alimentaires doit répondre à des normes d'hygiène et de qualité finale très strictes. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des transformations physico-chimiques intervenant au cours des différentes opérations unitaires (hydratation, malaxage, extrusion/séchage). Au cours de ces étapes, les constituants des matières premières sont soumis à différentes contraintes mécaniques (compression, étirement, cisaillement) et thermiques (transition vitreuse, gélatinisation, dénaturation). Une connaissance approfondie des effets de ces contraintes sur les différents constituants biochimiques (protéines, amidon, lipides, pentosanes) est essentielle pour maîtriser la qualité des produits finis et ajuster les paramètres des lignes de production.

L'utilisation de capteurs pour suivre finement la rhéologie de la pâte et les changements biochimiques est également très utile pour optimiser et produire régulièrement.[\[2\]](#)

I.4. La machine d'extrusion des pâtes :

Une extrudeuse des pâtes est un équipement mécanisé conçu pour transformer des pâtes alimentaires ou d'autres types de produits en remplaçant le travail manuel. Elle fonctionne en faisant passer la pâte à travers un orifice, qui une fois transformée, prend la forme d'un tube dont le diamètre et la configuration sont conformes à la propre configuration de l'orifice (moule). Les extrudeuses permettent la production continue de divers produits alimentaires, tels que des biscuits, des snacks, des croûtons, des gressins, des biscuits apéritifs et des produits de confiserie sucrés et salés, avec une maximisation de la production, moins de procédures manuelles, et une diversification productive (formes variées). La qualité et la typologie du produit dépendent de l'utilisation effectuée par les professionnels qui coordonnent les variables de découpe avec les mouvements de l'extrudeuse.[3]



Figure (I - 5) : Extrudeuse industrielle et extrudeuse artisanale.

Il existe des extrudeuses industrielles pour les grandes quantités (production en séries), et aussi des extrudeuses artisanales pour l'usage domestique.

I.4.1. Les unités de production :

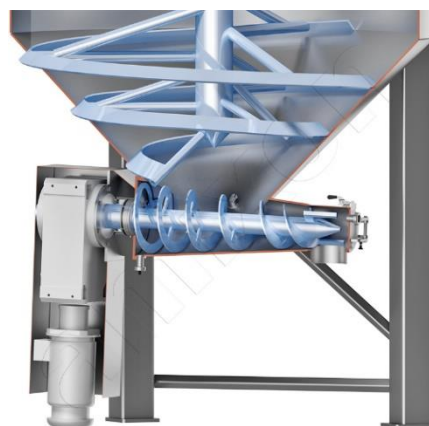


Figure (I - 6) : Les unités d'extrudeuse des pâtes.

Les unités principales d'une machine d'extrusion des pâtes sont généralement la trémie d'alimentation, le cylindre d'extrusion, la matrice de formage et le système de découpage.

I.4.1.1. La trémie :

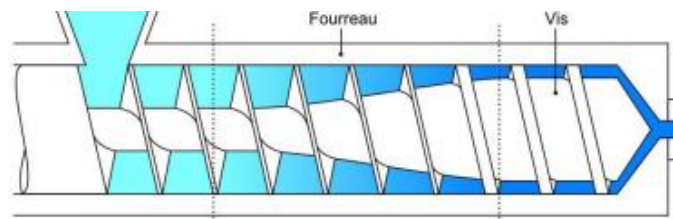
La trémie d'alimentation est une partie de la machine d'extrusion des pâtes où tu mets la pâte. C'est comme un réservoir qui alimente la machine en matière première. Cela permet de maintenir un flux constant de pâte pendant le processus d'extrusion.



Figure (I – 7) : Une trémie.

I.4.1.2. Le cylindre d'extrusion :

Le cylindre d'extrusion est une partie essentielle de la machine d'extrusion des pâtes. C'est un composant qui permet de presser et de façonner la pâte à travers la matrice pour obtenir la forme désirée. C'est un peu comme une grosse seringue qui pousse la pâte à travers un trou pour lui donner sa forme finale.



Figures (I - 8) : Un cylindre d'extrusion.

I.4.1.3. La matrice de formage :



Figure (I - 9) : Les matrices de formage.

La matrice de formage est une pièce importante de la machine d'extrusion des pâtes. C'est un moule qui donne à la pâte sa forme spécifique lorsqu'elle est poussée à travers elle. Cela permet de créer différentes formes de pâtes, comme les spaghettis, les macaronis, les fusillis, et bien d'autres encore.

I.4.1.4. Système de découpage :

Le système de découpage temporisé est un élément crucial pour assurer la précision et la cohérence du processus de découpe. Il assure une découpe uniforme et efficace des produits alimentaires sortant de l'extrudeuse, contribuant ainsi à la qualité du produit final. Il existe également des extrudeuses qui ne déposent pas de système de découpage, et nécessitent donc une intervention humaine.



Figure (I - 10) : Système de découpage temporisé.

I.4.2. Le processus de la production des pâtes :

I.4.2.1. Le pétrissage et l'extrusion :

Après le mélange des ingrédients, la pâte est transférée vers le cylindre d'extrusion, qui contient une vis sans fin (vis d'extraction) qui pousse et comprime la pâte à travers le moule avec une pression[4].



Figure (I – 11) : Le pétrissage.

I.4.2.2. Mise en forme des pâtes :

La semoule est transformée en pâtes. A la sortie de l'extrudeuse nous avons le choix de mettre différentes matrices. Une matrice va donner la forme à la pâte (coquillettes, torsades, coude, vrille, etc.).[5] Le type de matrice utilisé peut influencer l'apparence et la texture des pâtes. Les matrices en bronze donnent un aspect plus rustique et rugueux, tandis que les matrices avec des inserts téflonisés donnent un aspect plus lisse et plus coloré. A la sortie de l'extrudeuse les pâtes sont entreposées sur des clés pour le séchage. [4]



Figure (I - 12) : L'extrusion des pâtes et les matrices utilisés.

I.4.2.3. Le séchage :

Le séchage est une étape cruciale de la fabrication. Il est important de le réussir, car c'est lui qui va jouer sur la tenue de la pâte à la cuisson, sa valeur nutritive et sa conservation.

Nous effectuons un séchage à basse température, c'est à dire qu'il ne dépasse pas 40°C. Ainsi les protéines n'en sont pas dénaturées, ce qui les rends plus digestes et assimilables pour l'organisme.



Figure (I - 13) : Le séchage.

Le séchage reste une étape délicate dans notre mode de production car si celui-ci est trop lent ou trop rapide des fêlures vont apparaître et de ce fait la pâte va se casser à la cuisson.

Pour assurer une bonne conservation des pâtes il faut que son taux d'humidité maximal à la sortie du séchoir soit de 12%. [5]

I.4.2.4. Commercialisation :

Parmi les procédés qui garantissent de bonnes ventes, il y a l'emballage et la publicité. Donc après le séchage les pâtes sont emballées et conditionné dans des sacs spéciaux. Ces derniers soigneusement étudiés et conçus pour attirer les consommateurs.

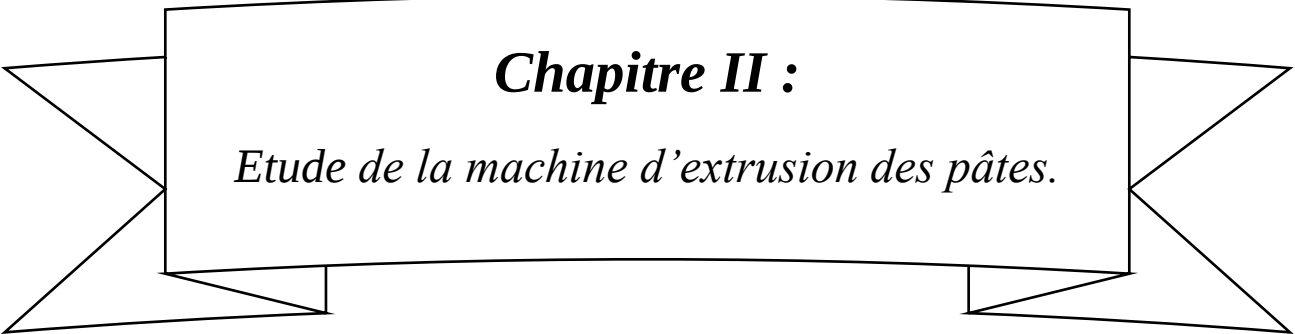
De plus, il existe des facteurs qui doivent être pris en considération pour réaliser des bénéfices comme : les ingrédients, l'emballage, la publicité, les salaires des ouvriers...



Figure (I - 14) : L'emballage et la publicité.

I.5. Conclusion :

La fabrication mécanique est un domaine qui englobe presque tous les domaines. Dans ce chapitre, nous avons vu de près tout ce qui concerne la production des pâtes, du procédé d'extrusion au secteur agroalimentaire. Nous avons expliqué le processus de production des pâtes, qui nous permet d'obtenir des produits avec différentes longueurs et formes.



Chapitre II :

Etude de la machine d'extrusion des pâtes.

II.1. Introduction :

L'extrusion des pâtes est un processus de fabrication mécanique qui permet de transformer des pâtes alimentaires en remplaçant le travail manuel par une machine dite Extrudeuse dont on va présenter son étude et sa conception dans ce chapitre. Nous allons commencer par sa conception jusqu'à son fonctionnement en passant par les calculs de diamètre de la vis et la vitesse nécessaire en outre du choix de moteur et réducteur qui lui convient.

II.2. Conception de la machine :

Le système à étudier permet d'extruder la pâte alimentaire, de plusieurs formes et longueur selon le besoin clientèle. La figure (II - 1) présente la machine complète après la conception.

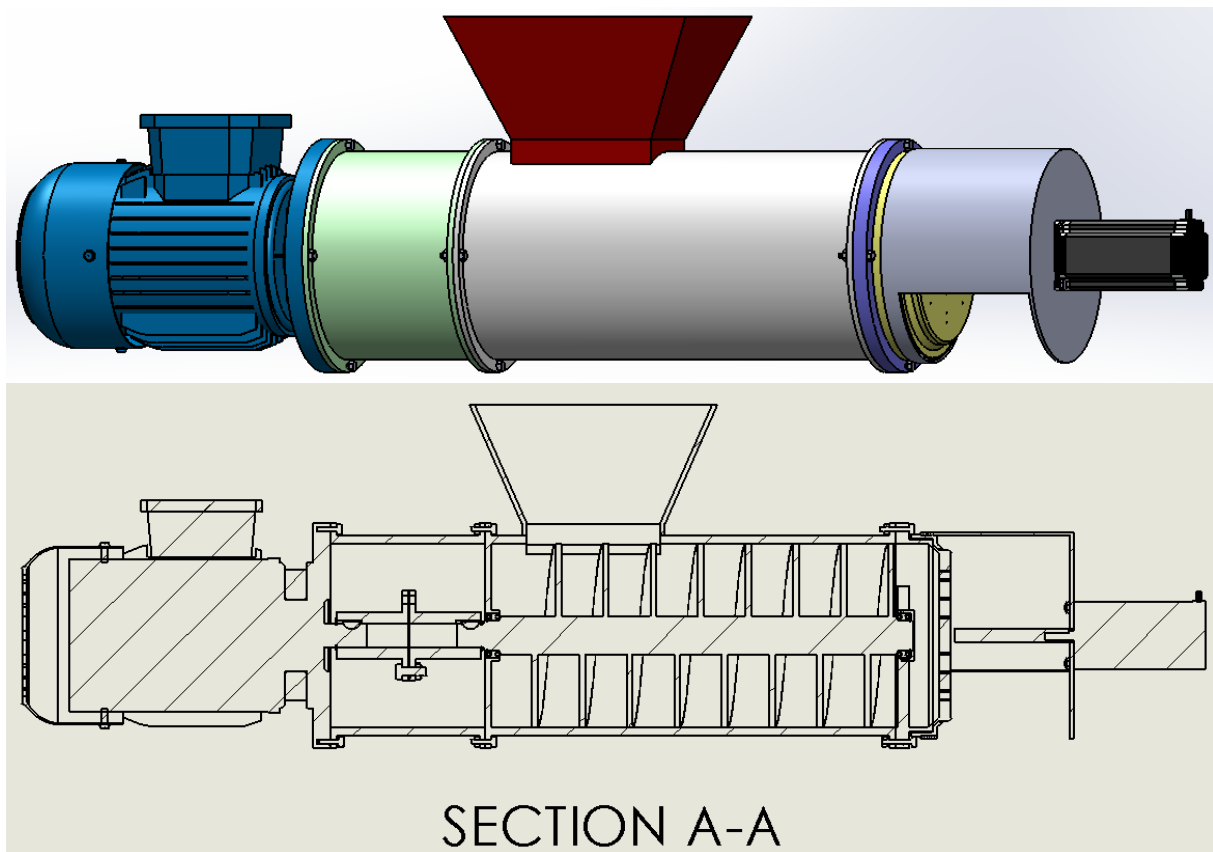


Figure (II – 1) : Conception de la machine complète.

En divisons la machine en deux parties selon l'ordre chronologique de leurs fonctions :

II.2.1. Partie I : Extrusion :

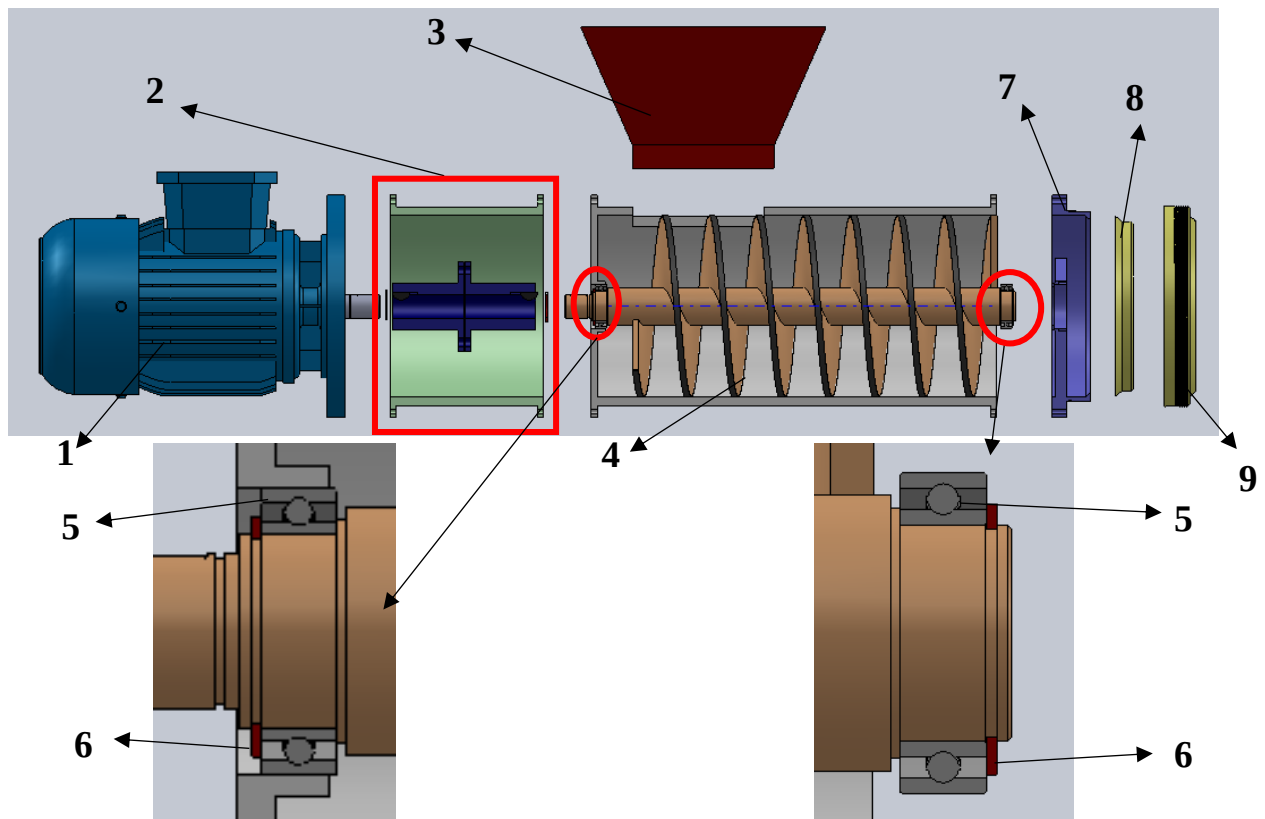
Cette partie consiste à faire passer la pâte préparée à travers une matrice de formage. Cette dernière nous donne la forme de pâte souhaitée.

II.2.1.1. Principe de fonctionnement :

D'abord, la matière (la pâte) est ajoutée dans la trémie. Ensuite, la trémie alimente en continu la vis d'extraction (vis sans fin), qui assure la mise en pression et le dosage de la pâte, qui est refoulée sous pression dans une matrice qui donne la forme finale de notre pâte, et ce dernier est transféré vers un autre endroit pour le processus de séchage.

II.2.1.2. Les organes de la machine :

Notre machine contient plusieurs composants, la figure (II – 2) présente ces différents composants :



9	1	Corps de matrice
8	1	La matrice de formage
7	1	Support de roulement
6	2	Circlip
5	2	Roulement
4	1	Vis-fourreau

3	1	La trémie
2	1	Groupe d'accouplement
1	1	Moteur
Numéro	Quantité	Nom

Figure (II – 2) : Les organes de la machine.

a. Moteur :

Le moteur (Figure II-3) est un ensemble combiné qui a le rôle d'assurer la rotation de la vis sans fin dans la machine.



Figure (II – 3) : Moteur.

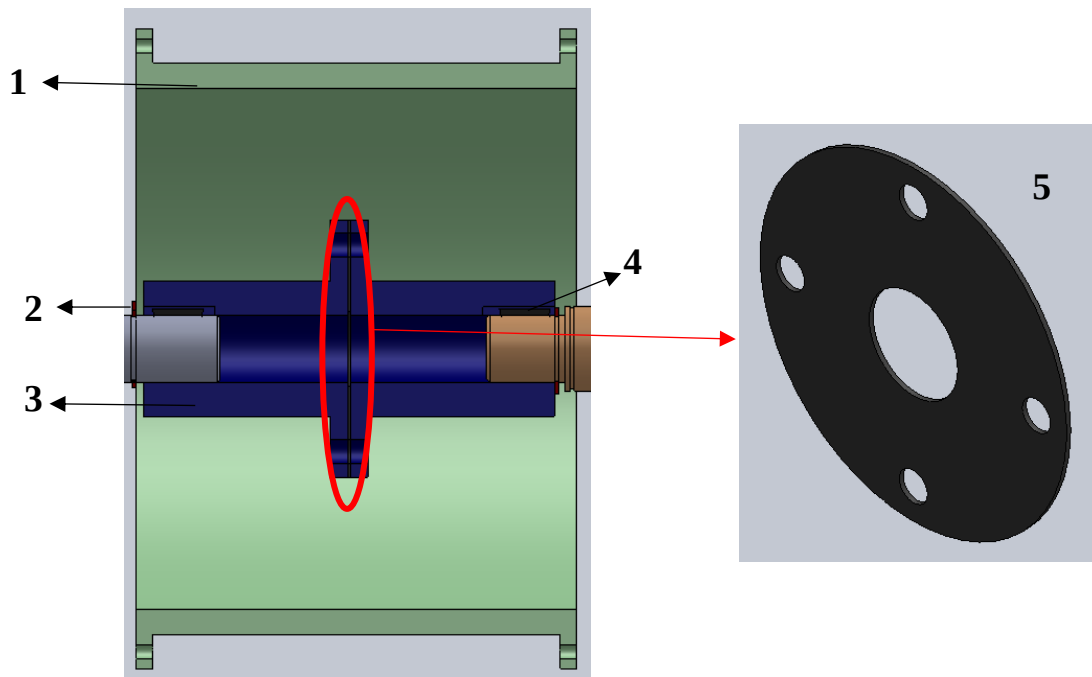
b. Le groupe d'accouplement :

Le groupe d'accouplement a le rôle d'accoupler le motoréducteur avec la vis sans fin par ces étapes :

1. Le motoréducteur tourne avec une vitesse connue puis il fait tourner l'accouplement.
2. L'accouplement fait tourner la vis sans fin.

Nous avons ajouté deux éléments :

1. Un joint entre les deux collerettes pour éviter le frottement et l'abrasion des surfaces.
2. Un couvercle pour protéger l'accouplement contre les facteurs externes comme la poussière.



5	1	Joint
4	2	Clavette
3	2	Collerette
2	2	Circlip
1	1	Couvercle
Numéro	Quantité	Nom

Figure (II – 4) : Le groupe d'accouplement.

- Choix de clavette : Clavette disque :

Géométrie de la clavette :

a*	b	c	e	f	j	h	k
h9	h11	h11	h11	P9	h11	E9	H13
1,5	2,6	7	6,5	1,5	d - 1,8	1,5	d + 0,9
2	2,6	7	6,5	2	d - 1,8	2	d + 0,9
2,5	3,7	10	9	2,5	d - 2,7	2,5	d + 1,1
	3,7	10	9		d - 2,7		d + 1,2
3	5	13	11,5	3	d - 4	3	d + 1,2
	6,5	16	15		d - 5,5		d + 1,2
	5	13	11,5		d - 3,5		d + 1,8
4	6,5	16	15	4	d - 5	4	d + 1,8
	7,5	16	17,5		d - 6		d + 1,8
5	6,5	16	15		d - 4,5		d + 2,3
	7,5	19	17,5	5	d - 5,5	5	d + 2,3
	9	22	20,5		d - 7		d + 2,3
	9	22	20,5		d - 6,5		d + 2,8
6	10	25	23	6	d - 7,5	6	d + 2,8
	11	28	25,5		d - 8,5		d + 2,8
	13	32	30		d - 10,5		d + 2,8
8	11	28	25,5	8	d - 8	8	d + 3,3
	13	32	32		d - 10		d + 3,3

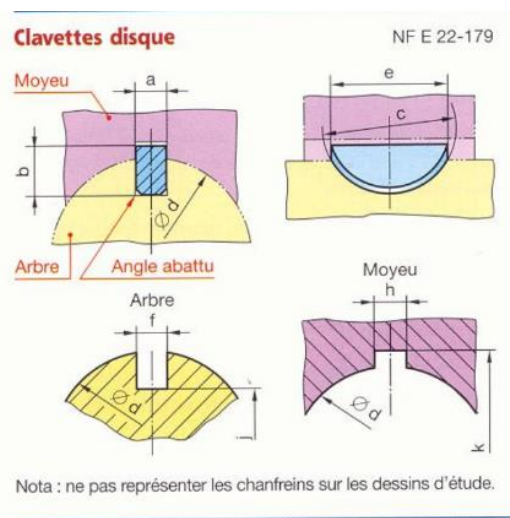


Figure (II – 5) : Choix de clavette.

Les clavettes disque sont utilisées pour des arbres de petits diamètres transmettant de faibles couples (arbre assez fortement affaibli par le logement de la clavette). Le fraisage du logement est particulièrement simple.[6]

c. La trémie :

C'est un récepteur de la matière sous forme de pâte, qui va descendre par gravité ou l'intervention humaine, jusqu'au vis sans fin.

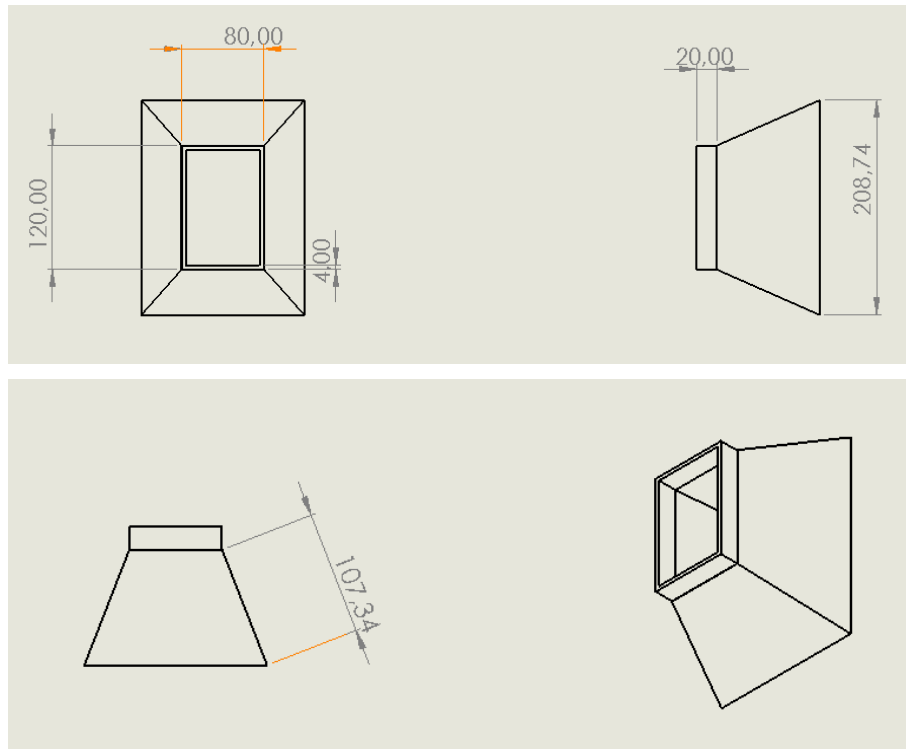


Figure (II – 6) : La trémie.

d. Vis-fourreau :

L'ensemble de vis-fourreau est un ensemble qui contient un cylindre (fourreau) et une vis sans fin.

- **Fourreau :**

Il représente une voie que la matière (la pâte) passe à travers, la matrice de formage attache d'un côté et l'accouplement de l'autre.

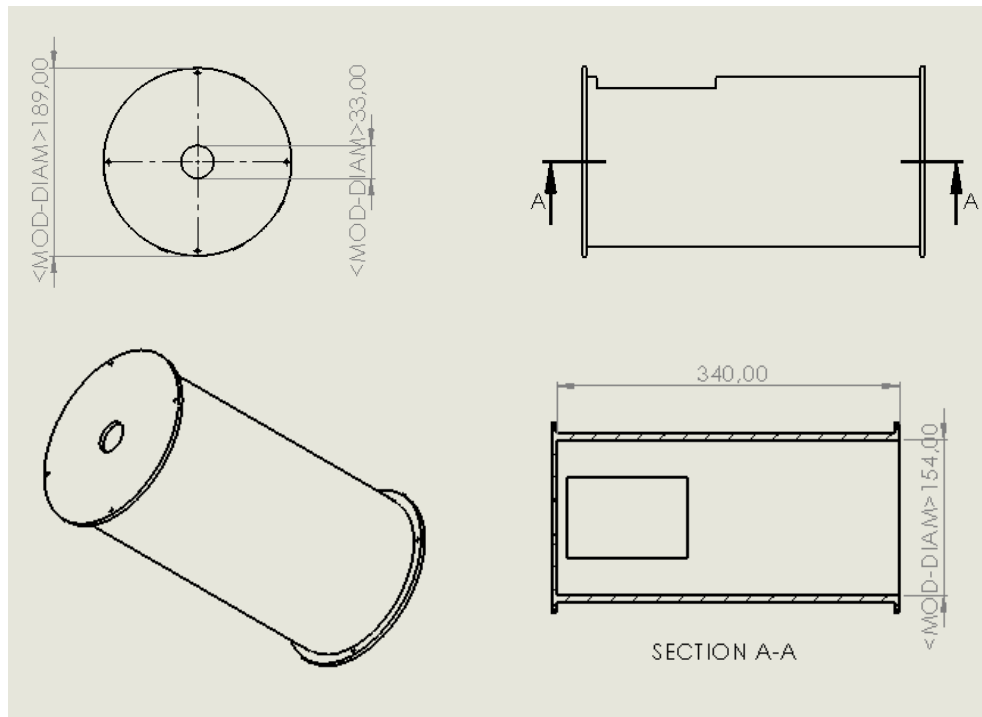


Figure (II – 7) : Fourreau.

- **Vis sans fin (vis d'extraction) :**

Une vis sans fin est un cylindre comportant une cannelure hélicoïdale (parfois plusieurs). Elle est l'organe la plus importante dans notre machine, ce derrière tourne dans un cylindre (fourreau) pour assure le transport de la matière de la trémie jusqu'à la matrice de formage.

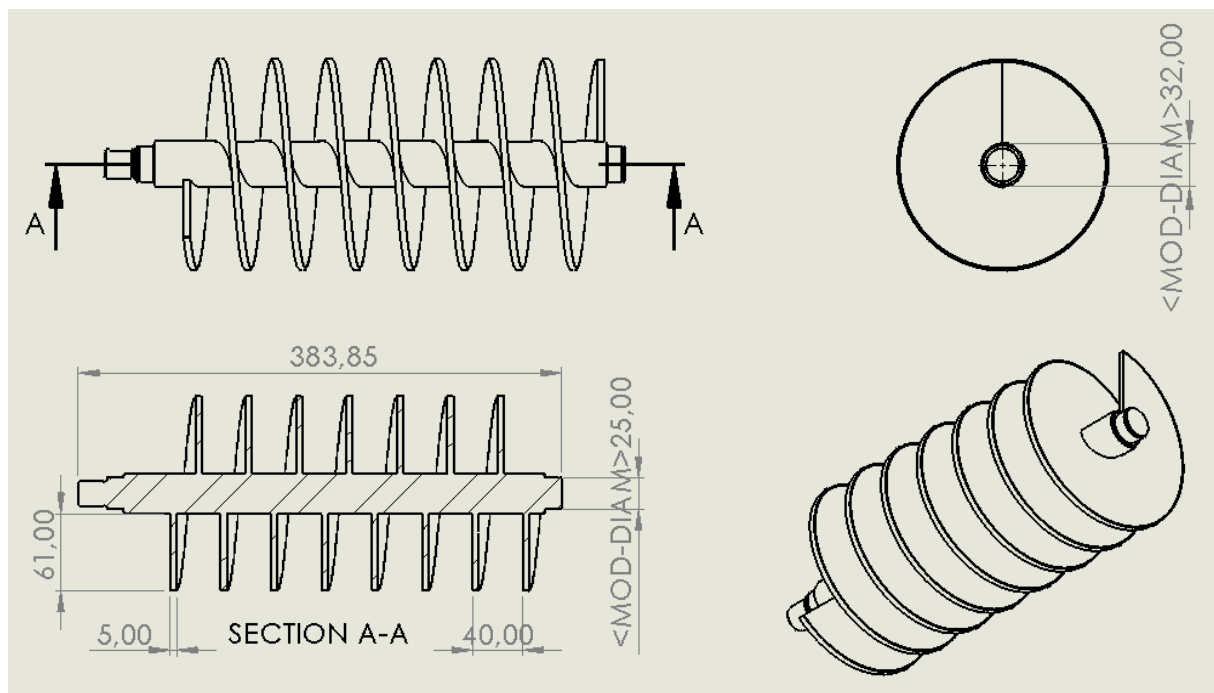


Figure (II – 8) : Vis sans fin.

Vérification de la résistance de Vis sans fin :

1. Propriétés de l'étude :

Type d'analyse	Statique
Type de maillage	Maillage solide
Effets thermique	Activé(e)
Option thermique	Inclure les chargements thermique
Température de deformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	Automatic
Effet dans le plan	Off
Ressort doux	Off
Relaxation interielle	Off
Options de contact solidaire incompatible	Automatic
Grand déplacement	Off
Verifier les forces externe	Activé(e)
Friction	Off
Utilizer la méthode adaptive	Off

Tableau (II – 1) : Propriétés de l'étude.

2. Information sur le modèle :

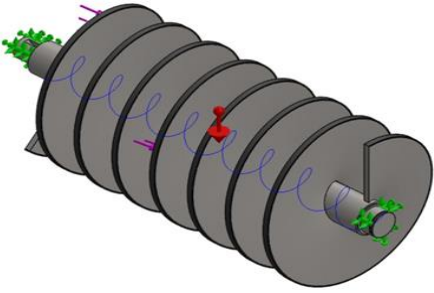
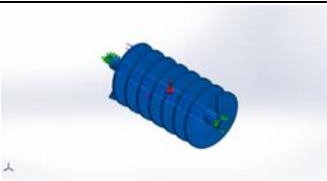
 Nom du modèle : Vis sans fin		
Corps solides		
<L_MdInf_SldBd_Nm/>	Traité comme	Propriétés Volumétrique
	Corps solide	Masse : 7,77908 kg Volume : 0,000972385 m ³ Densité : 8 000 kg/m ³ Poids : 76,235 N

Tableau (II – 2) : Information sur le modèle.

3. Propriétés de matériau:

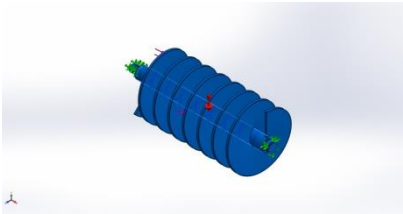
Reference du modèle	Propriétés	Composants
	Nom : AISI 304 Type de modèle : Linear Elastic Isotropic Critère de défaillance par défaut : Max von Mises Stress Limite d'élasticité : 2,06807e+08 N/m² Resistance à la traction : 5,17017e+08 N/m² Module d'élasticité : 1,9e+11 N/m² Rapport de poisson : 0,29 Densité de Masse : 8 000 kg/m³ Module de cisaillement : 7,5e+10 N/m² Coefficient de dilatation thermique : 1,8e-05 /Kelvin	(Vis sans fin)

Tableau (II – 3) : Propriétés de matériau.

4. Charges et déplacements imposés:

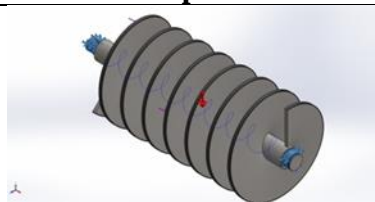
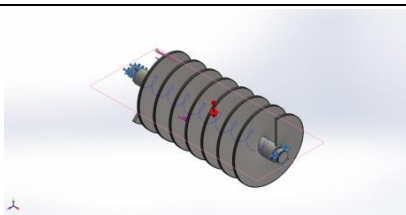
Nom de déplacement imposé	Image de déplacement imposé	Details de déplacement imposé		
Fixed-1		Entities: 2 face(s) Type: Fixed Geometry		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Resultant
Force réaction (N)	-148,316	76,8013	-0,302873	167,021
Moment de réaction (N.m)	0	0	0	0

Tableau (II – 4) : Les déplacements imposés.

Nom de charge	Image de charge	Details de charge
Gravité-1		Référence: Top Plane Valeurs: 0 -9,81 0 Unités: m/s²

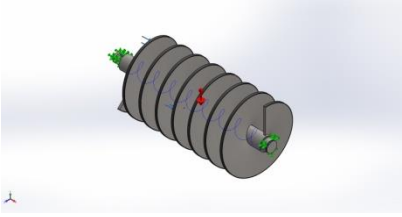
Force-1		Entités : 1 face(s) Type : Apply normal force Valeur : 150 N
---------	--	---

Tableau (II – 5) : Charges appliquées.

5. Résultat de l'étude:

Nom	Type	Min	Max
Contrainte	VON : Von Mises Stress	1,824e+03N/m ²	8,473e+06N/m ²

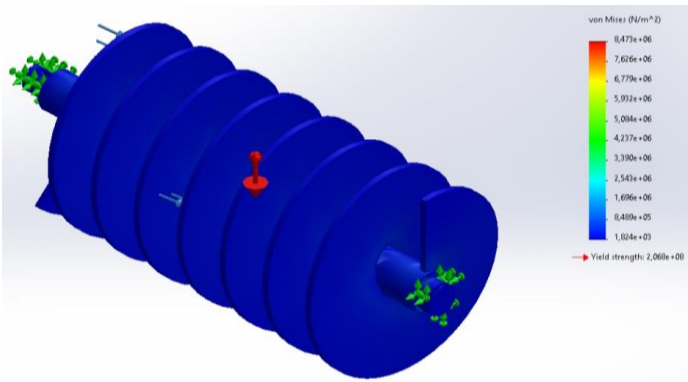


Tableau (II – 6) : La Contrainte.

Nom	Type	Min	Max
Déplacement	URES : Déplacement Résultant	0,000e+00mm	2,169e-03mm

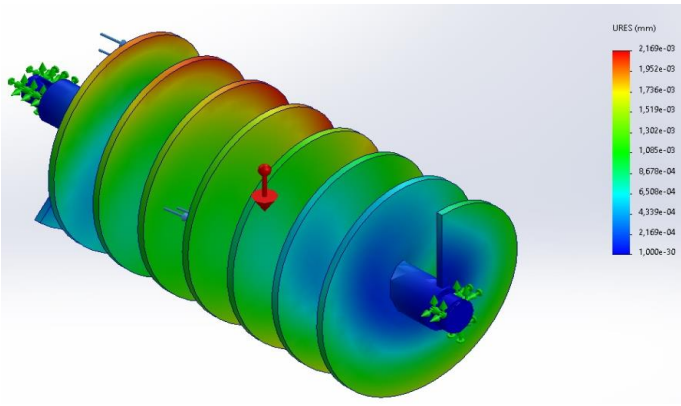


Tableau (II – 7) : Le déplacement.

Nom	Type	Min	Max
Déformation	ESTRN : Equivalent Strain	5,156e-09	3,159e-05

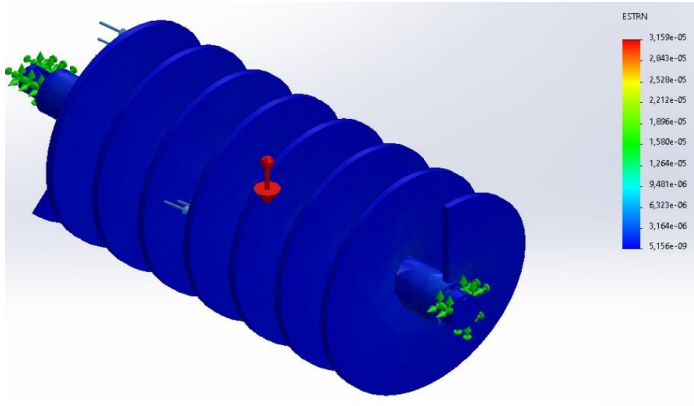


Tableau (II – 8) : La déformation.

D'après les résultats :

La contrainte maximale est inférieure à la limite d'élasticité, ce que veut dire que la vis résiste bien.

Et on a Les valeurs de déplacement maximal (**2,169e-03mm**) et la déformation maximale (**3,159 e-05**) sont faibles.

e. Choix de roulements :

Roulement à une rangée de billes, à contact radial (BC) : [6]

- Ces roulements supportent des charges radiales et axiales relativement importantes.
- Ils exigent une bonne coaxialité des portées de l'arbre d'une part et des alésages des logements d'autre part.
- C'est un type de roulement très employé.

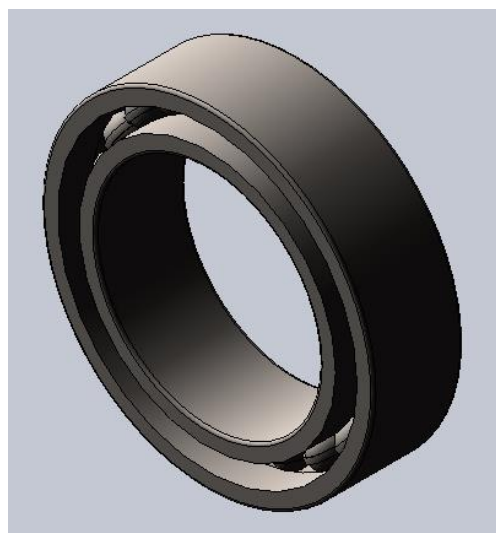


Figure (II – 9) : Roulement BS 6267 RBB – 3825 – 22, DE, AC, 22_68

- **Géométrie de roulement :**

- Diamètre extérieur : 37 mm.
- Diamètre intérieur : 25 mm.
- Épaisseur : 10 mm.

- **Couvercle de roulement :**

Se place dans le support de roulement par serrage, son rôle est de recouvrir le roulement et il est en plastique.

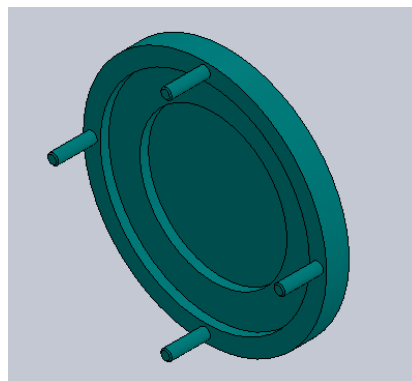


Figure (II – 10) : Couvercle de roulement.

f. Choix de circlip : [6]

Circlip normal DIN.

EXEMPLE DE DÉSIGNATION : Anneau élastique pour arbre, d × e, NFE 22-163							
d	e	c	f	g	Tol. g	k	Fa*
3	0,4	6,8	0,5	2,8	0 – 0,04	0,3	0,47
4	0,4	8,4	0,5	3,8	0	0,3	0,60
5	0,6	10,7	0,7	4,8	– 0,048	0,3	1
6	0,7	12,2	0,8	5,7	0 – 0,058	0,45	1,45
7	0,8	13,2	0,9	6,7		0,45	2,6
8	0,8	15,2	0,9	7,6		0,6	3
9	1	15,4	1,1	8,6	0 – 0,11	0,6	3,5
10	1	17,6	1,1	9,6		0,6	4
12	1	19,6	1,1	11,5		0,75	5
14	1	22	1,1	13,4	0	0,9	6,4
15	1	23,2	1,1	14,3	– 0,11	1,05	6,9
17	1	25,6	1,1	16,2	0 – 0,13	1,2	8
20	1,2	29	1,3	19		1,5	17,1
22	1,2	31,4	1,3	21	0	1,5	16,9
25	1,2	34,8	1,3	23,9	– 0,21	1,65	16,2

* c : espace libre nécessaire au montage.

C 60 phosphaté

Cuivre au béryllium

Figure (II – 11) : Choix de circlip.

g. Support de roulement :

Le support de roulement se fixe avec le cylindre. Il a plusieurs de rôles, dont la première consiste à serrer le roulement chargé de faire tourner la vis sans fin, et il est également installé avec le corps de matrice et en même temps pousse la matrice de formage.

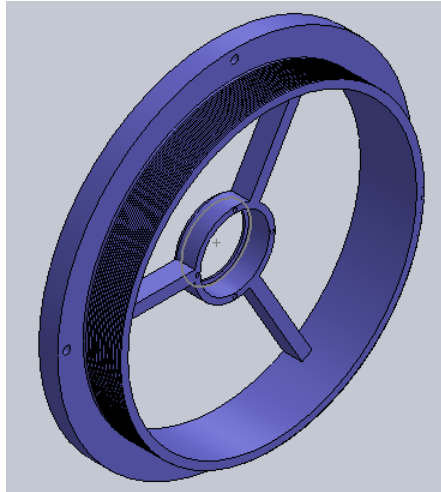


Figure (II – 12) : Le support de roulement.

h. La matrice de formage :

C'est une pièce importante de la machine d'extrusion des pâtes. Elle fournit la forme finale dont on a besoin. Elle se place dans un corps appelé corps de matrice, ce dernier se place par filetage dans le support de roulement.

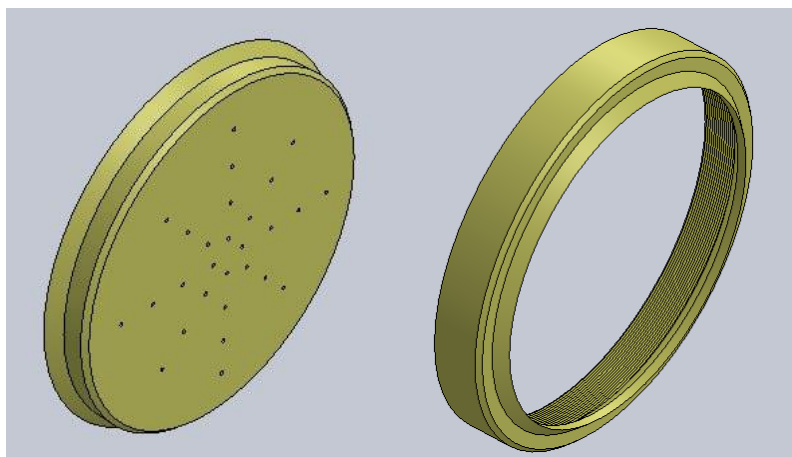


Figure (II – 13) : La matrice de formage et le corps de la matrice.

II.2.1.3. Préparation de la pâte :

La pâte alimentaire se prépare à base de semoule du blé dur et de l'eau dans un pourcentage de (30 - 33%) sous forme de pâtes longues (spaghetti).

- **Dimensions de la pâte extrudée :**

Nous voulons obtenir une pâte longue (spaghetti) de diamètre $D = 1.5$ mm, et de longueur $L = 265$ mm.

II.2.1.4. Système vis-fourreau :

Les éléments géométriques essentiels du système vis-fourreau sont indiqués sur la figure ci-dessous :

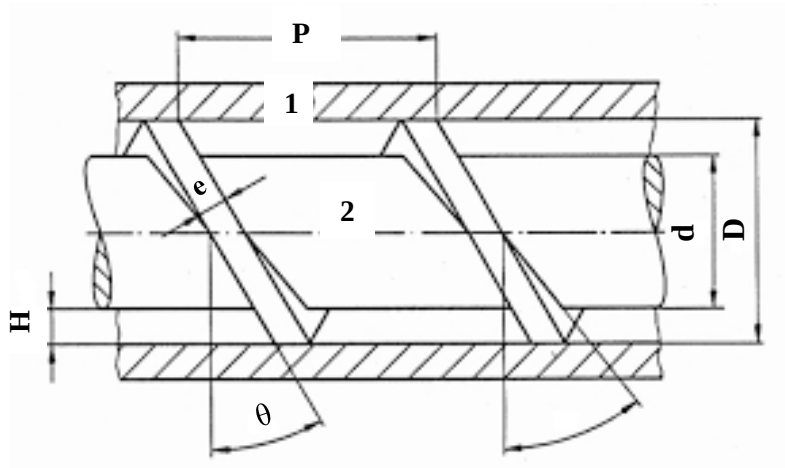


Figure (II – 14) : Géométrie de vis-fourreau.

a. Géométrie du système vis- fourreau :

- Le diamètre intérieur du fourreau (1) = le diamètre extérieur du vis (2) $D + 2\text{mm}$ de balais = 154 mm.

Le balai se place au bord de la cannelure hélicoïdale de la vis pour éviter que la pâte ne colle aux bords du cylindre.

- Le diamètre du corps de vis = le diamètre de vis $d = 32$ mm.

Ces deux paramètres donnent l'accès à la profondeur de chenal : $H = \frac{D-d}{2}$

- La profondeur de chanel $H = 61$ mm.
- L'épaisseur $e = 5$ mm.
- Le pas de la vis $P = 40$ mm.

Le pas de la vis nous permet de déterminer l'angle θ que fait le filet avec un plan orthogonal à l'axe de la vis.

$$\tan \theta (r) = \frac{P}{\pi \times 2r} = \frac{P}{\pi \times D} \implies \tan \theta = \frac{40}{\pi \times 154} = 0.083 \implies \theta \approx 4.74^\circ.$$

- La longueur de la vis $l = 335$ mm.

- Nombre de filets (cannelures hélicoïdales) $n = \frac{l}{p} = 8.375$.

b. La vitesse maximale de rotation de la vis sans fin $N_{\max}$:

La vitesse de rotation maximale est exprimée en vitesse tangentielle sur le diamètre de la vis

$$\text{Vitesse de rotation (tr/min)} = \frac{\text{vitesse tangentielle en } \left(\frac{m}{s}\right) \times 60000}{\text{périmètre de la vis en (mm)}} = N_{\max}$$

La vitesse tangentielle d'une vis d'Archimède utilisée pour mélanger des pâtes alimentaires sont de l'ordre 1 à 3 m/s. [7] des vitesses plus élevées peuvent entraîner une dégradation de la pâte et une perte de structure.

Donc, en prenant une vitesse tangentielle = 2 m/s.

$$N_{\max} = \frac{2 \times 60000}{\pi \times 154} = \mathbf{248.034 \text{ tr/min.}}$$

Notre vis sans fin peut tourner jusqu'à **248 tr/min.**

II.2.1.5. Choix de moteur :

Afin de choisir un moteur pour la partie d'extrusion de notre machine nous devons passer par les étapes suivantes :

- Calcule de volume de la pâte.
- Calcule de la longueur de la pâte.
- La vitesse de rotation de la Vis N2.
- Le couple moteur.

a. Le volume de la pâte V :

On a :

$$m = \rho \times V \quad \Longrightarrow \quad V = \frac{m}{\rho}$$

Avec :

m : la masse de la pâte en (kg) = 15 kg.

ρ : la masse volumique de la pâte en (kg/m³) = 700 kg/m³.

V : le volume de la pâte (m³).

AN :

$$V = \frac{15}{700} = \mathbf{0.022 \text{ m}^3}.$$

b. La longueur de la pâte L :

Sachant que :

$$\text{Volume de la pâte} = S \times L \times N_t$$

Alors :

$$L = \frac{V}{S \times N_t}$$

Avec :

S : la surface de la pâte extrudée en (m²).

L : la longueur de la pâte extrudée pour une heure (m).

N_t : Nombre de trous (trous de la matrice) = 28 trous.

$$S = \pi \times \frac{D_{p\grave{a}te}^2}{4}$$

AN:

$$L = \frac{4 \times 0.022}{\pi \times 0.0015^2 \times 28} = \mathbf{444.62 \text{ m.}}$$

En prenant : L = **445 m.**

Remarque :

La vitesse d'écoulement représente la distance transversée par la pâte par lapse de temps.
Par conséquence, La vitesse d'écoulement V_{écoulement} = la longueur de pâte par lapse de temps.

- Pour t = 60 min, la vitesse d'écoulement :

$$V_{\text{écoulement}} \times 60 = \mathbf{444.62 \text{ m.}}$$

- Pour t = 1 min :

$$V_{\text{écoulement}} = \frac{444.62}{60} = \mathbf{7.42 \text{ m/min (L}_{p\grave{a}te} = 7.42 \text{ m)}}.$$

c. La vitesse de rotation de la Vis N₂ :

On suppose que L_{pâte} est un périmètre d'un cercle, donc :

$$L_{p\grave{a}te} = 2\pi R.$$

$$R = \frac{L_{p\grave{a}te}}{2\pi}$$

Avec :

R : le rayon du cercle.

AN :

$$R = \frac{7.42}{2\pi} = \mathbf{1.18 \text{ m. (D = 2.36 m)}}.$$

C'est-à-dire : ce rayon (1.18 m) fait 1 tr/min pour produire 7.42 m de pâte.

Dans le cas de notre vis sans fin on a un diamètre d = 0.032 m.

Sur la base de la déclaration précédente on peut donc calculer la vitesse de rotation de la vis en utilisant le rapport de réduction R_d :

On a :

$$D = 2.36 \text{ m} \longrightarrow L = 7.42 \text{ m.}$$

$$\text{Et : } d_{\text{vis}} = 0.032 \longrightarrow L = 7.42 \text{ m.}$$

$$R_d = \frac{D}{d_{\text{vis}}}$$

AN:

$$R_d = \frac{2.36}{0.032} = 73.75$$

Finalement, la vitesse de rotation de la vis nécessaire $N_2 = 73.75 \text{ tr/min.}$

Remarque :

- **Le débit volumique optimal :**

$$Q_{\text{optimal}} = S \times L$$

S : la surface de la pâte extrudée = 0.00000177 m^2 .

L : la longueur de la pâte extrudée pour une minute = 7.42 m.

AN:

$$Q_{\text{optimal}} = 0.00000177 \times 7.42 = 0.0000131 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$Q_{\text{optimal}} = \frac{0.0000131}{60} = 2.18 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s.}$$

d. Le couple de moteur C_m :

Dans notre machine, la pâte joue le même rôle d'un écrou. Alors pour calculer le couple C_m , on va utiliser les mêmes paramètres que le système vis - écrou.

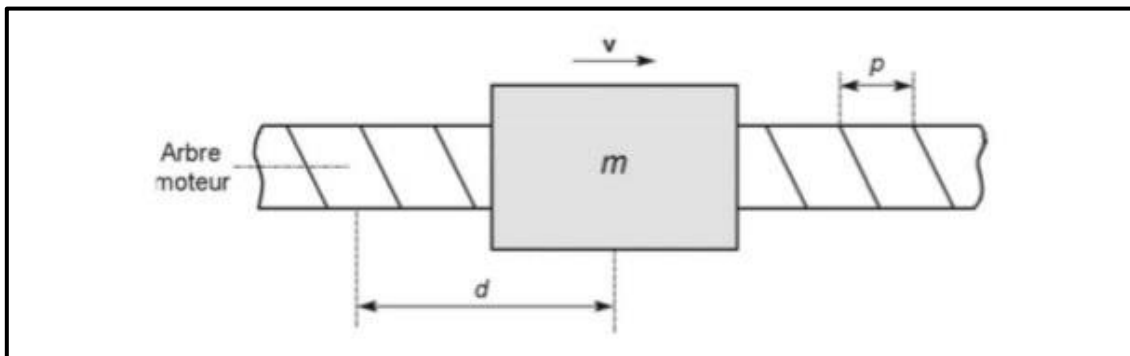


Figure (II – 15) : Système vis – écrou.

Une charge de masse m soumise à une force résistante f , parallèle à son déplacement est solidaire d'un écrou mobile sur une vis de pas P fixée sur l'arbre moteur. Des glissières, non représentées sur la figure, guident la charge pour imposer le mouvement de translation. L'écrou se déplace d'un pas à chaque tour de la vis. Si l'arbre moteur tourne d'un angle θ , la charge parcourt la distance :[8]

$$d = P \frac{\theta}{2\pi}$$

En dérivant, on obtient une relation entre la vitesse linéaire (vitesse de déplacement) $V_{\text{déplacement}}$ de la charge et la vitesse angulaire ω du moteur :

$$V_{\text{déplacement}} = \frac{P}{2\pi} \omega = \frac{P \times N}{60}$$

$$V_{\text{déplacement}} = \mathbf{0.05m/s.}$$

f étant la force exercée par la vis sur l'écrou et C_m le couple résistant exercé par la vis sur le moteur, le rendement du mécanisme est défini par :

$$n = \frac{f V}{C_m \omega}$$

$$C_m = \frac{f V}{n \omega}$$

Généralement le couple moteur dans les extrudeuses des pâtes varie entre (70 – 380 N.m) [9], on prend un couple nominal de fonctionnement = **80 N.m.**

La puissance nominale P_{nl} :

Nous avons pour le choix de moteur les lois et les données suivantes :

- Couple de sortie : $C_m = 80 \text{ N. m}$

- Puissance de sortie : $P_2 = \frac{C_2 \times N_2}{9550}$

- Puissance d'entrée : $P_1 = \frac{P_2}{n}$

- $n = \mathbf{0.86}$

AN :

$$P_2 = \frac{80 \times 73.7}{9550} = \mathbf{0.62 \text{ KW.}}$$

$$\mathbf{P_1 = 0.72 \text{ KW.}}$$

Pour le calcul de la puissance nominale nécessaire, il faut prendre en considération les caractéristiques de la machine à entraîner et de sa motorisation, on multiplie par le facteur de service, le cas de l'extrudeuse des pâtes de fonctionnement moyen **3 à 10 heures/jour**, $F_s = \mathbf{1.25.}$ [10]

- La puissance nominale : $P_{nl} = P_1 \times F_s$

AN :

$$P_{nl} = 0.72 \times 1.25 = \mathbf{0.90 \text{ KW.}}$$

e. Choix de moteur :

D'après les résultats de calculs ci-dessus, nous avons choisis un moteur (**JM 2 POLES SERIES 80 b**) de vitesse nominale : $N = 2840 \text{ tr/min}$, et de puissance nominale $P_{nl} = 1.1 \text{ KW}$.

JM 2 POLES SERIES

Tab. 6.14.1

IE1	JM Motor	Poles	P_N kW	n_M min ⁻¹	T_N Nm	$I_{N(500V)}$ A	COS ϕ 100%	η 100%	$\frac{I_s}{I_N}$	$\frac{T_s}{T_N}$	$\frac{T_{max}}{T_N}$	J Kg m ²	Weight Kg
$\Delta Y 230/400V 50Hz$	56 a	2	0,09	2670	0,32	0,34	0,66	58,0	3,4	2,3	2,7	0,00012	3
	56 b	2	0,12	2720	0,42	0,44	0,67	59,0	3,5	2,4	2,8	0,00015	3,6
	63 a	2	0,18	2720	0,63	0,5	0,80	65,0	4,2	2,9	3,1	0,00020	4,5
	63 b	2	0,25	2720	0,88	0,66	0,81	68,0	4,5	2,8	2,9	0,00028	4,9
	63 c*	2	0,37	2740	1,29	0,94	0,81	70,0	4,1	2,9	3,0	0,00033	5,3
	71 a	2	0,37	2740	1,29	0,94	0,81	70,0	5,4	2,9	3,1	0,00042	6
	71 b	2	0,55	2740	1,92	1,33	0,82	73,0	5,2	2,9	3,0	0,00051	6,3
	71 c*	2	0,75	2840	2,52	1,81	0,83	72,1	5,5	2,7	2,8	0,00063	6,6
	80 a	2	0,75	2840	2,52	1,81	0,83	72,1	5,6	2,8	2,9	0,00078	8,7
	80 b	2	1,1	2840	3,70	2,52	0,84	75,0	5,7	2,8	3,0	0,00103	9,2
	80 c*	2	1,5	2840	5,04	3,34	0,84	77,2	5,8	3,0	3,1	0,00127	10,5
	90 S	2	1,5	2840	5,04	3,34	0,84	77,2	5,9	3,0	3,2	0,00129	12
	90 La	2	2,2	2840	7,40	4,69	0,85	79,2	6,1	2,9	3,1	0,00160	15
	90 Lb*	2	3	2860	10,0	6,11	0,87	81,5	5,8	3,2	3,3	0,00210	15,5
	100 La	2	3	2860	10,0	6,11	0,87	81,5	6,4	2,6	3,0	0,00240	20
	100 Lb*	2	4	2880	13,3	7,9	0,88	83,1	6,1	2,5	2,8	0,00285	21,5
	112 Ma	2	4	2880	13,3	7,9	0,88	83,1	6,6	2,3	2,9	0,00540	26
	112 Mb*	2	5,5	2900	18,1	10,7	0,88	84,7	6,5	2,5	2,9	0,00572	32
	112 Mc	2	7,5	2900	24,7	14,3	0,88	86	7,0	2,2	2,3	0,00985	34

Figure (II – 16) : Choix de moteur.[11]

Pour contrôler la vitesse de ce moteur on a choisi un variateur de vitesse.

f. Le variateur de vitesse :

Est un appareil électronique indispensable pour contrôler la vitesse de rotation d'un moteur électrique. Il vous permet d'ajuster la vitesse du moteur aux besoins spécifiques de votre application, que ce soit pour une machine industrielle, un ventilateur, une pompe ou tout autre équipement électrique. En choisissant le bon variateur de vitesse, vous pouvez économiser de l'énergie, prolonger la durée de vie du moteur et améliorer les performances de votre équipement.



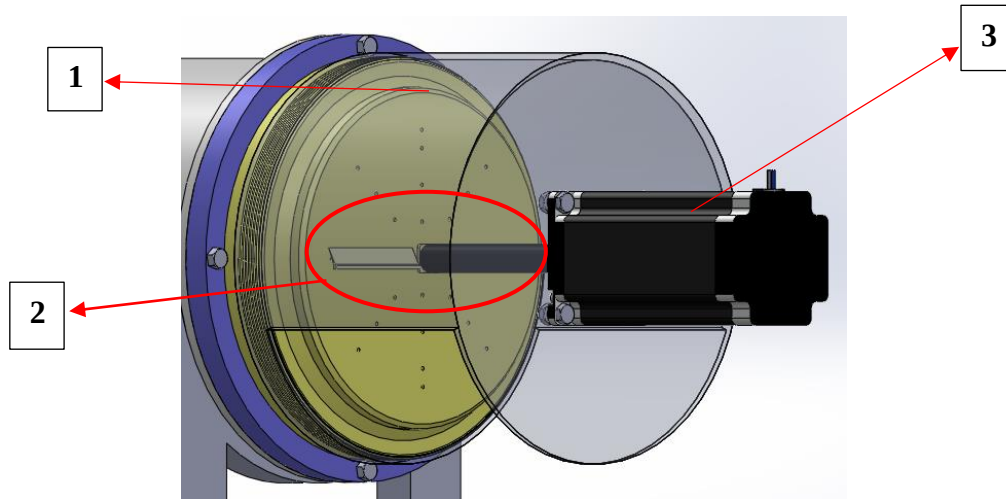
Figure (II – 17) : Variateur de vitesse.

II.2.2. Partie II : Système de découpage :

Cette partie a le rôle de découper la pâte extrudée à la longueur souhaitée.

II.2.2.1. Principe de fonctionnement :

Après l'extrusion, et après la pâte atteint la longueur souhaitée, elle va être découpée par un cutteur qui tourne à une vitesse connue. Et ainsi de suite elle va tomber dans un plateau pour la-déplacer vers l'unité de séchage.



1	3	Moteur pas à pas
1	2	Cutteur de pâte
1	1	Support de moteur
Quantité	Nombre	Nom

Figure (II – 18) : La partie du système de découpage.

II.2.2.2. Les organes du système de découpage :

- a. **Support** : Le support consiste à fixer le moteur, et il se place dans le corps de matrice par filetage (Figure II – 19).

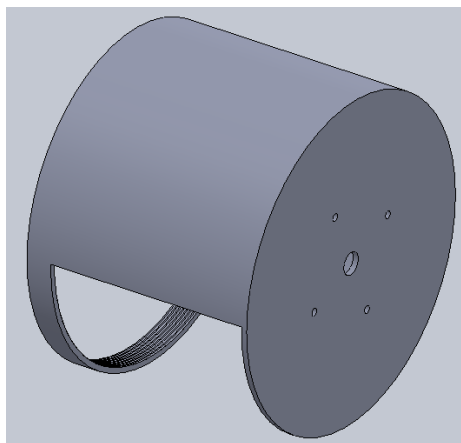


Figure (II – 19) : Support de moteur.

b. Cutteur de pâte :

Le cutteur se fixe dans un arbre et ce dernier est se fixe dans le moteur. Il consiste à découper la pâte extrudée en fonction du temps (Figure II – 20).

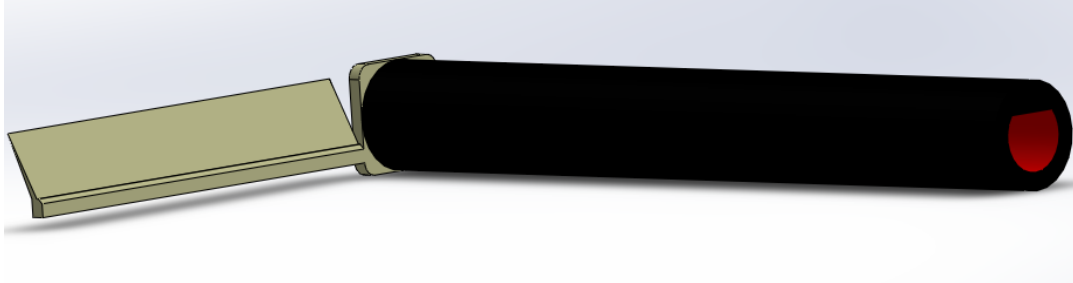


Figure (II – 20) : Cutteur de pâte.

c. Moteur :

Nous avons un petit moteur pas à pas de type NEMA 23 Bipolaire 23HS45-4204S1 (Figure II – 21), qui assure la rotation de cutteur.

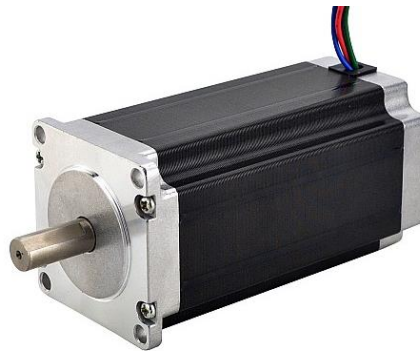


Figure (II – 21) : Moteur pas à pas de type NEMA 23 Bipolaire 23HS45-4204S1.

Spécification physique du moteur :[12]

- Dimensions : 57 x 57mm.
- Longueur du moteur : 113mm.
- Diamètre d'arbre : $\Phi 8$ mm.
- Longueur de l'arbre : 24mm.
- Longueur de D-Cut : 20mm.
- Nombre de Cable : 4.
- Longueur de Cable : 400mm.
- Poids : 1.668kg.

- **Vitesse de rotation du moteur :**

Pour choisir la vitesse de rotation du moteur, nous devons calculer la vitesse d'écoulement pour un trou.

On a : la vitesse d'écoulement pour 28 trous est : $V_{\text{écoulement}} = 7.42 \text{ m/min.}$

Donc pour un trou :

$$V_{\text{écoulement}} = \frac{7.42}{28} = 0.265 \text{ m/min.}$$

C'est-à-dire, dans le cas de pâte longue (Spaghetti) le moteur effectue un tour par seconde et il reste une minute (**Temporisation**) à attendre la longueur de la pâte atteint 265 mm, puis il effectue un autre tour... etc.

Dans d'autre cas :

Image	Type de la pâte	Longueur (mm)	Vitesse de rotation(tr/s)	Temporisation (s)
	Fusilli	50	1	18.87
	Coquillettes	20	1	7.55
	Les petit plombs	3	1.47	0

Tableau (II – 9) : Autre cas pour la vitesse de rotation du moteur.

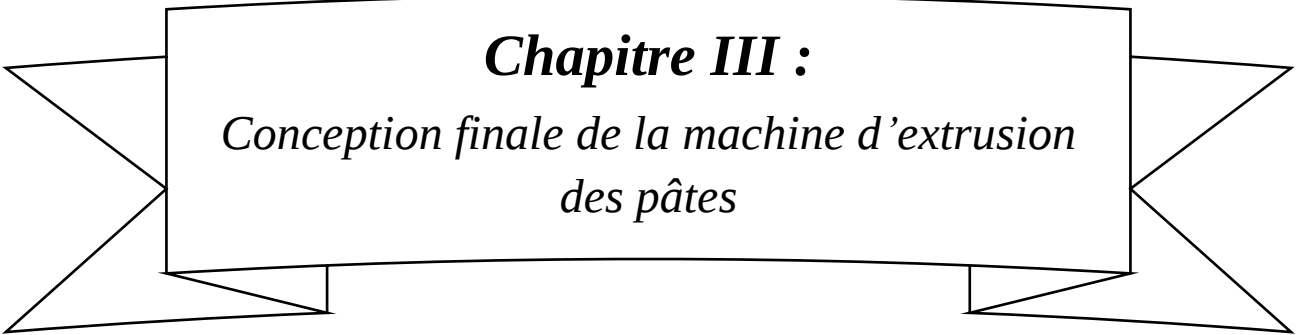
II.3. Comment faire fonctionner la machine :

- Allumez la machine.
- Ajoutez la pâte désirée dans la trémie.
- placez un panier sous la matrice de formage.
- Mettez le moteur de système de découpage en marche.

- Lorsque le panier est plein, déplacez-le vers l'unité de séchage et mettez un autre panier à sa place.
- Lorsque vous avez terminé, éteignez la machine et éteignez le système de découpage.
- Ouvrez le corps de matrice et nettoyez-le du reste de pâte pour pouvoir réutiliser facilement la machine

II.4. Conclusion :

La fabrication mécanique est un secteur qui regroupe des travailleurs polyvalents qui s'affairent à la conception, à la fabrication, au réglage, à la réparation ou à l'assemblage d'une multitude de pièces, d'outils, d'accessoires et de produits métalliques. Dans ce chapitre, nous avons vu la conception de la machine d'extrusion de pâtes et le fonctionnement de chacune de ses pièces. Nous avons également abordé certains calculs nécessaires pour obtenir de meilleurs résultats d'extrusion avec une meilleure forme de produit.



Chapitre III :

*Conception finale de la machine d'extrusion
des pâtes*

III.1. Introduction :

En continuation du chapitre précédent, ce chapitre a pour objectif de présenter l'environnement du logiciel SolidWorks ainsi que réaliser la conception des différents éléments de la machine d'extrusion des pâtes avec ce logiciel.

III.2. Logiciel SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plant. Ces fichiers sont en relation. A quelque ce soit le niveau, toute modification est répercutée vers tous les fichiers concernés.



Figure (III – 1): Logo SolidWorks.

III.3. Conception :

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Il existe plusieurs logiciels utilisés en CAO, parmi lesquels on cite : FreeCAD, Solid Edge, Kompas 3D, TopSolid, Catia, Abaqus, SolidWorks...etc.

Dans notre travail de conception et de simulation, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour faire la conception de chaque pièce de notre machine puis, l'assemblage de toutes les pièces pour avoir la conception finale de notre extrudeuse.

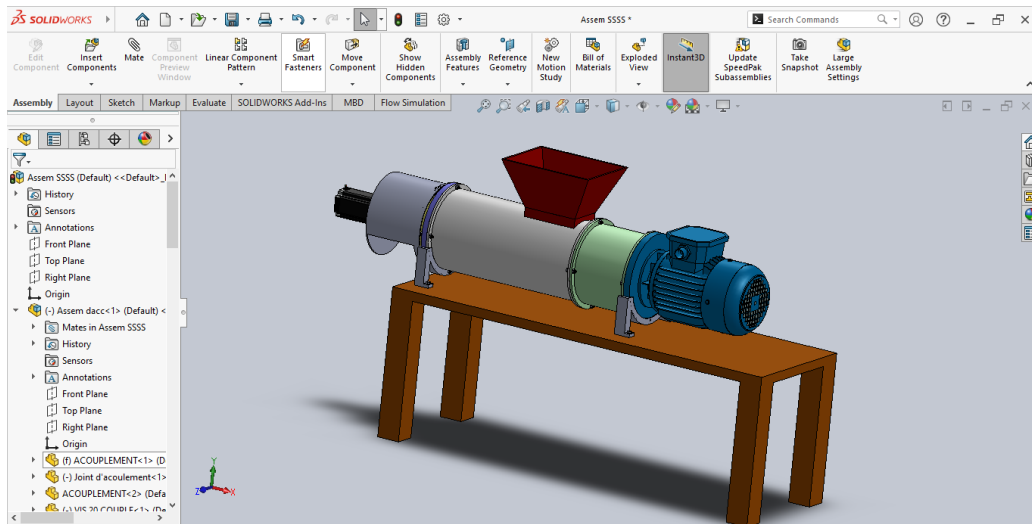


Figure (III - 2) : Extrudeuse des pâtes.

On a divisé notre conception en trois parties principales :

1. La partie d'extrusion : on a téléchargé le fichier CAD de notre moteur qu'on a choisi en chapitre II (**JM 2 POLES SERIES 80 b**), puis on a dessiné toutes les pièces nécessaires de notre machine (vis sans fin, le fourreau, la matrice de formage...etc.) avec SolidWorks, enfin on a réalisé l'assemblage.
2. La partie du système de découpage : on a téléchargé le fichier du moteur qu'on a choisi en chapitre II (**NEMA 23 Bipolaire 23HS45-4204S1**) et on a réalisé la conception des pièces et l'assemblage.
3. La base principale : c'est la base ou on va installer les parties 1 et 2.

III.3.1. Conception finale de la machine :

III.3.1.1 Partie d'extrusion :

a. Moteur :

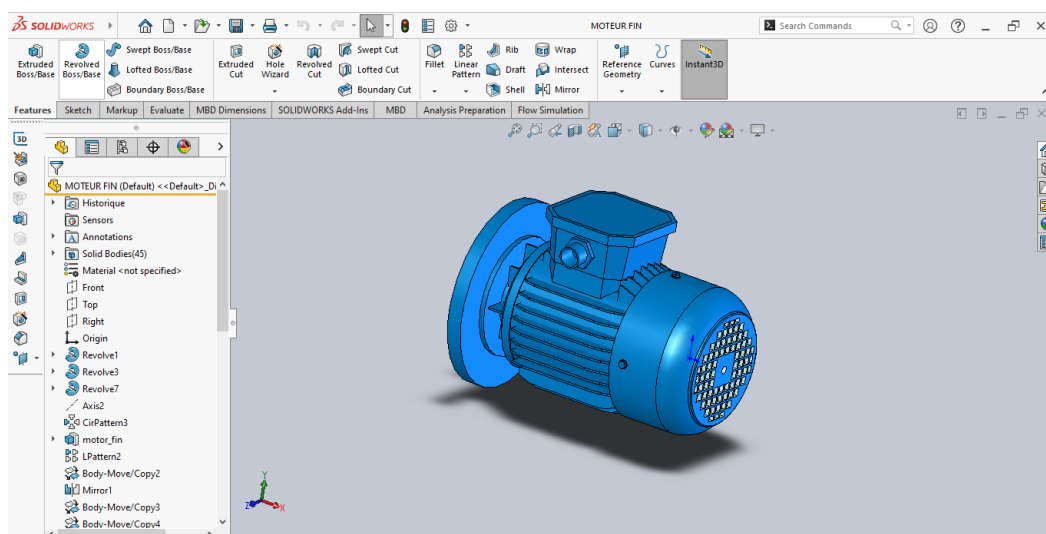
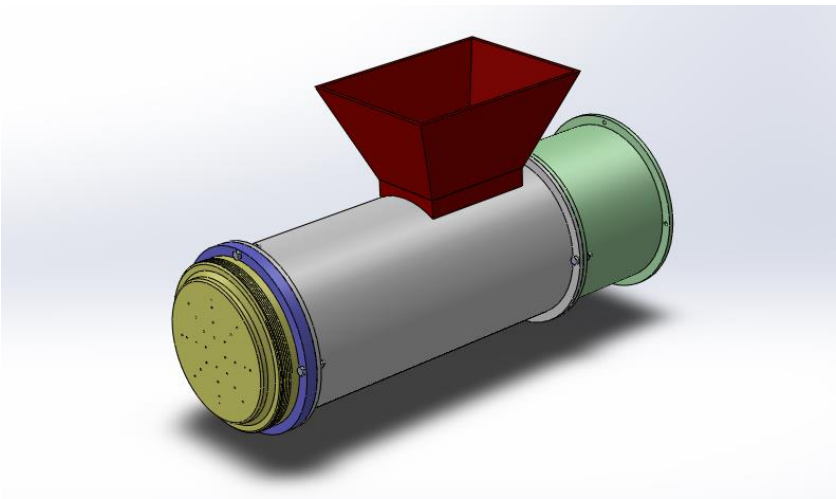
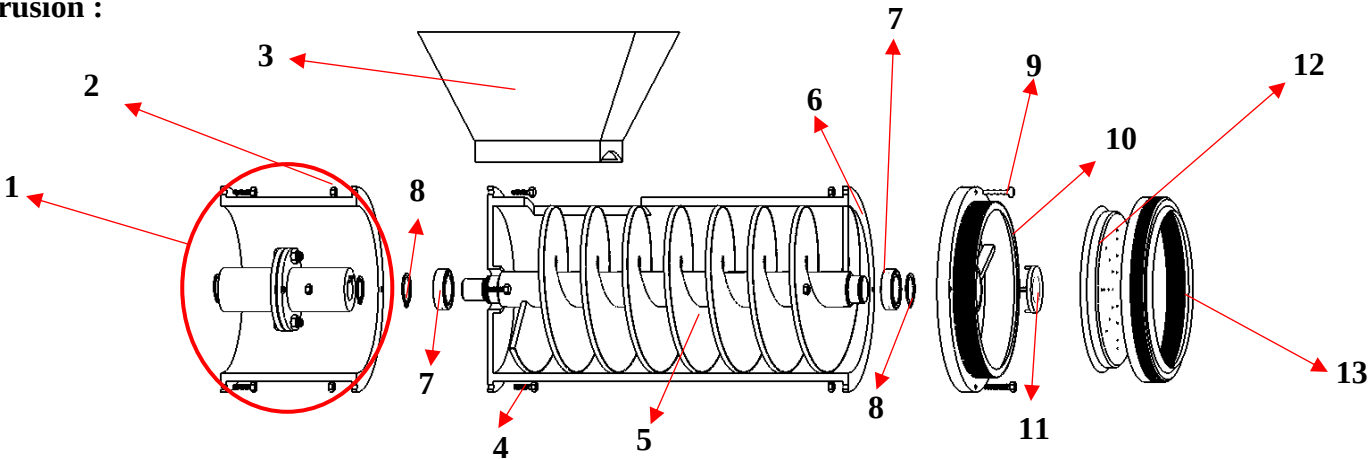


Figure (III – 3) : Moteur (JM 2 POLES SERIES 80 b).

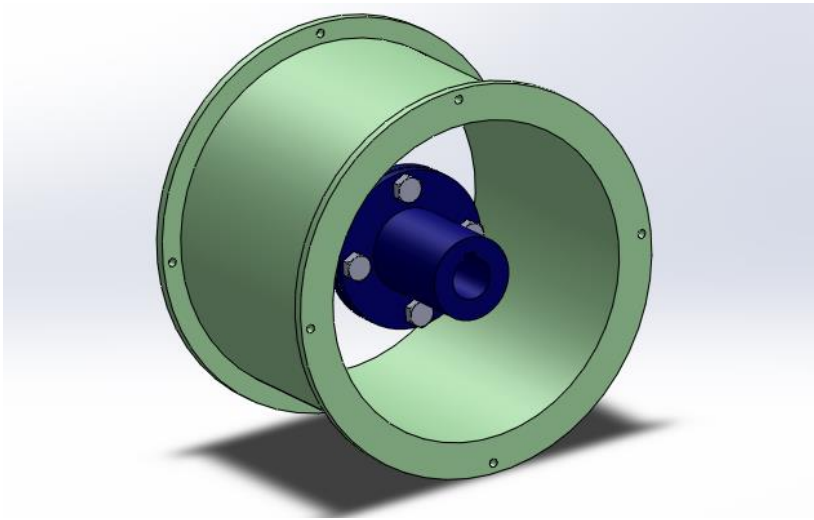
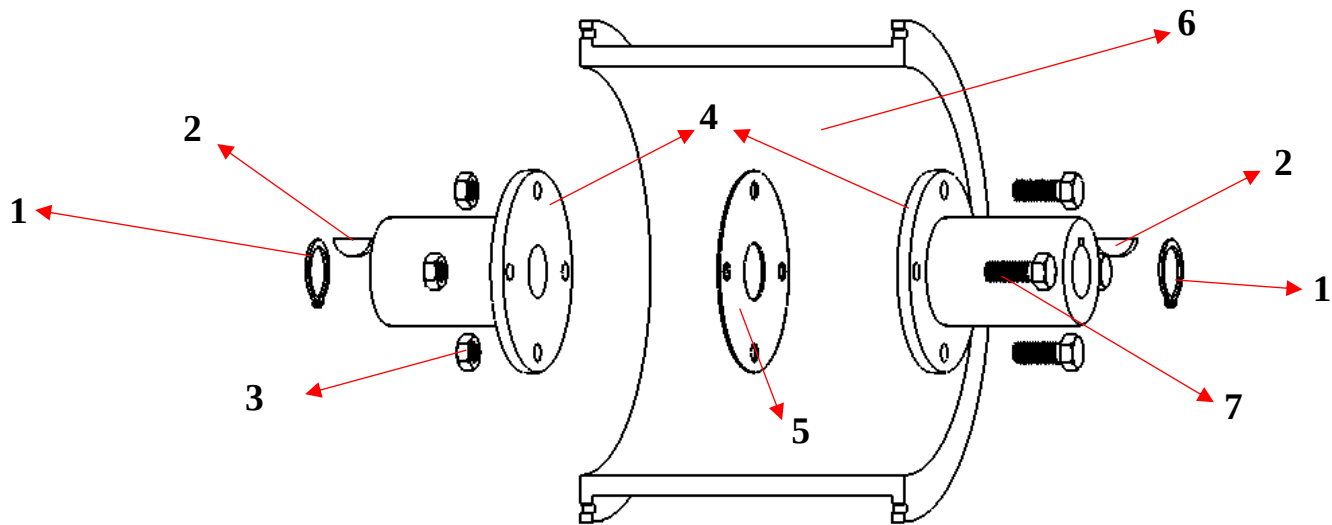
b. Groupe d'extrusion :



13	1	Corps de matrice
12	1	Matrice de formage
11	1	Couvercle de roulement
10	1	Support de roulement
9	4	Vis M4 × 25 mm
8	2	Circlip
7	2	Roulement
6	1	Fourreau
5	1	Vis sans fin
4	8	Vis M4 × 20 mm
3	1	Trémie
2	8	Ecrou
1	1	Groupe d'accouplement
Numéro	Quantité	Nom

Figure (III – 4) : Conception du groupe d'extrusion.

c. Groupe d'accouplement :



7	4	Vis M7 × 20 mm
6	1	Couvercle
5	1	Joint
4	2	Collerette
3	4	Ecrou
2	2	Clavette
1	2	Circlip
Numéro	Quantité	Nom

Figure (III – 5) : Conception du groupe d'accouplement.

III.3.1.2 Partie du système de découpage :

a. Moteur (NEMA 23 Bipolaire) :

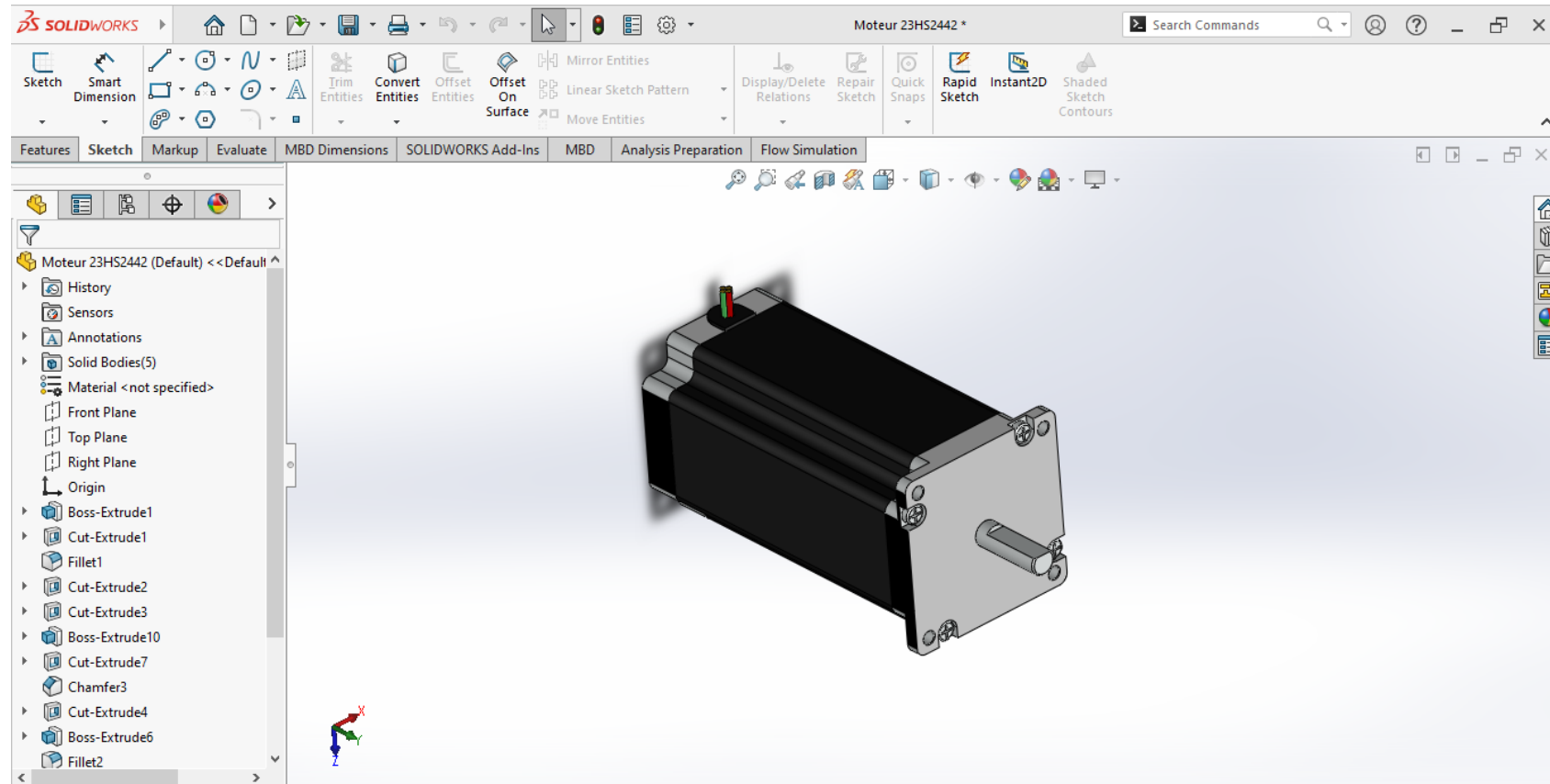
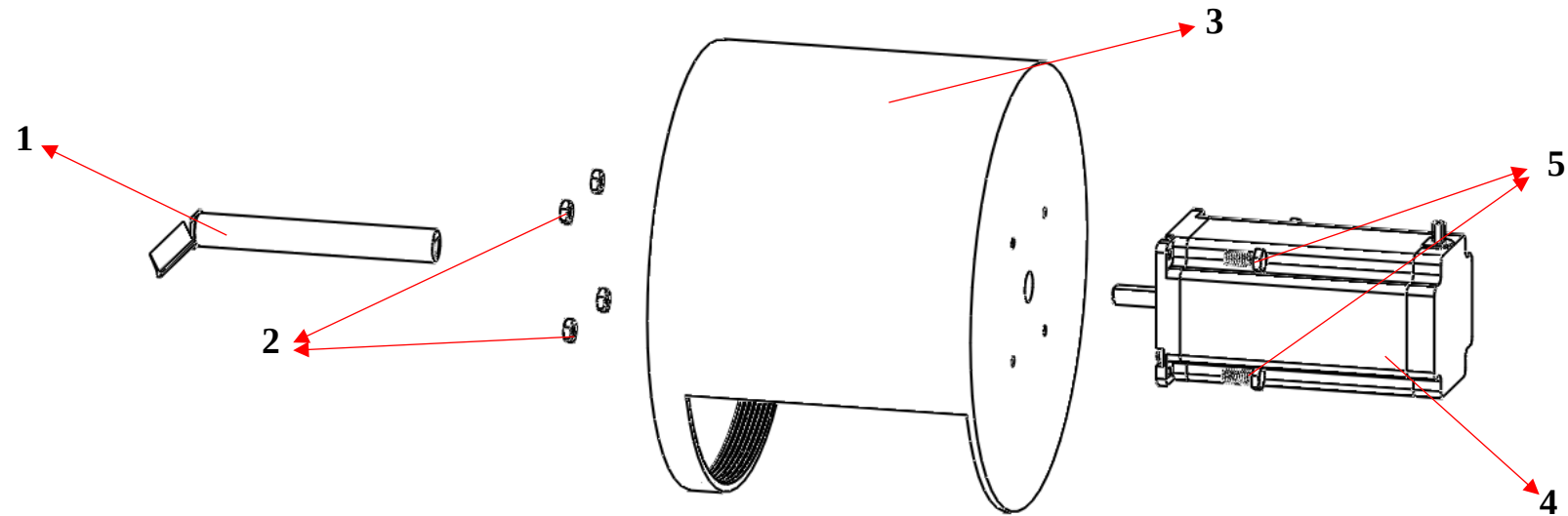


Figure (III – 6) : Moteur (NEMA 23 Bipolaire).

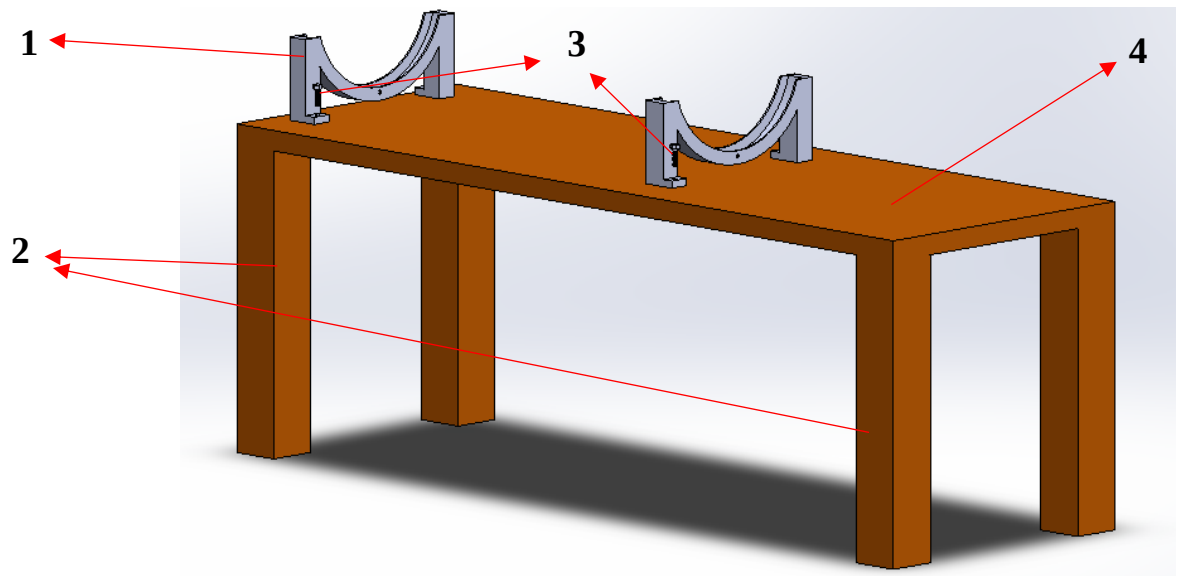
b. L'assemblage du système de découpage :



5	4	Vis M4 × 12 mm
4	1	Moteur pas à pas
3	1	Support de moteur
2	4	Ecrou
1	1	Cutteur de pâte
Numéro	Quantité	Nom

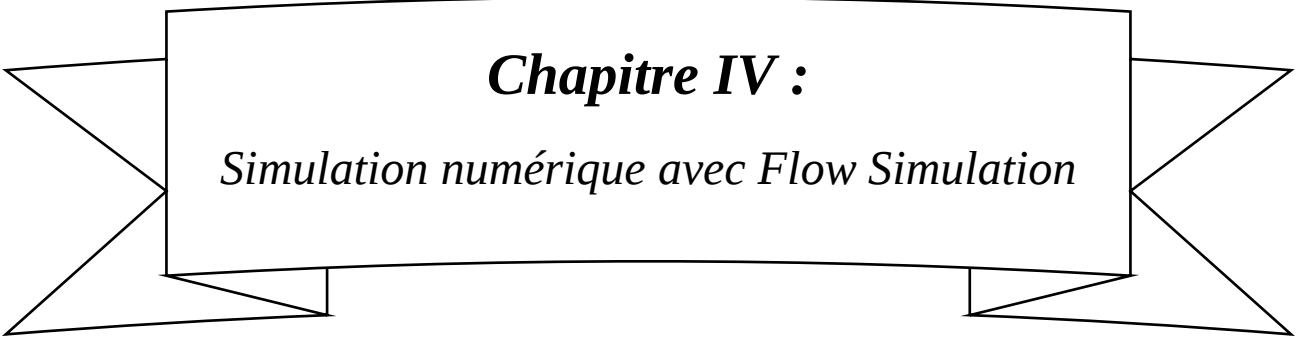
Figure (III – 7) : l'assemblage du système de découpage.

III.3.1.3 Partie de la base principale :



4	1	Base
3	4	Vis M4 × 20 mm
2	4	Pieds
1	2	Support de la machine
Numéro	Quantité	Nom

Figure (III – 8) : la base principale.



Chapitre IV :

Simulation numérique avec Flow Simulation

IV.1. Définition de Flow-Simulation :

D'abord, SolidWorks Flow-Simulation est le premier logiciel convivial de simulation d'écoulement et d'analyse thermique totalement intégré à SolidWorks. Il est utilisé par les étudiants, concepteurs, analystes et ingénieurs...etc. pour comprendre, valider et améliorer de nouvelles idées de produits pendant la phase de conception. Ensuite, il permet d'explorer les pièces ou les assemblages relevant de l'écoulement des fluides, du transfert de chaleur et des forces appliquées sur les volumes immergés ou environnants. Cela a pour but de produire des conceptions très efficaces et/ou optimiser la performance des utilisateurs.

SolidWorks Flow-Simulation est basée sur deux principes majeurs :

- l'utilisation de la CAO native comme source d'informations géométrique ;
- la combinaison de la modélisation CFD 3D complète avec des méthodes d'ingénierie plus simples dans les cas où la résolution du maillage est insuffisante pour une simulation 3D.

IV.2. Simulation de déplacement :

On va calculer par l'option de Flow-Simulation la vitesse de déplacement de la pâte sur toute la partie d'extrusion. Ensuite on va vérifier la concordance des résultats avec les résultats obtenus analytiquement dans le deuxième chapitre.

IV.2.1. Simulation de la vitesse de déplacement de la pâte :

Dans la partie d'extrusion, la pâte va passer entre la vis et le fourreau avec un débit égal à $2.18 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ (débit trouvé analytiquement en chapitre II). Donc, nous avons créé un système similaire du vis-fourreau avec SolidWorks pour appliquer la fonction Flow-Simulation (Figure IV.1). Puis nous allons effectuer les étapes de simulation.

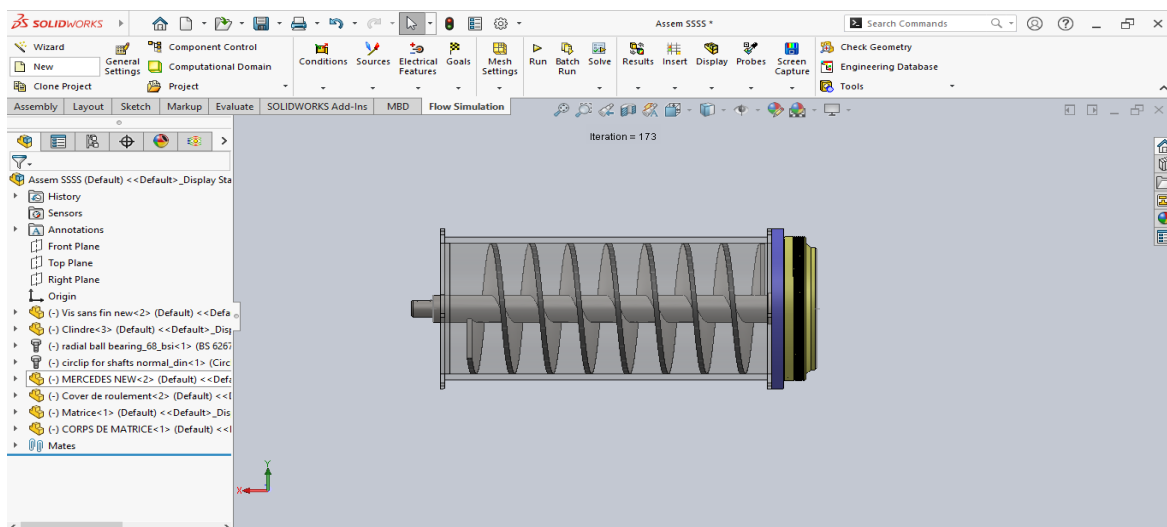


Figure (IV – 1) : Le mécanisme « vis-fourreau-matrice » à étudier.

IV.2.1.1. Etapes de flow simulation pour la simulation de la vitesse de déplacement :

1. On clique sur la fonction **Flow Simulation**, puis on clique sur l'icône du **Tools > Create Lids** pour fermer le système.

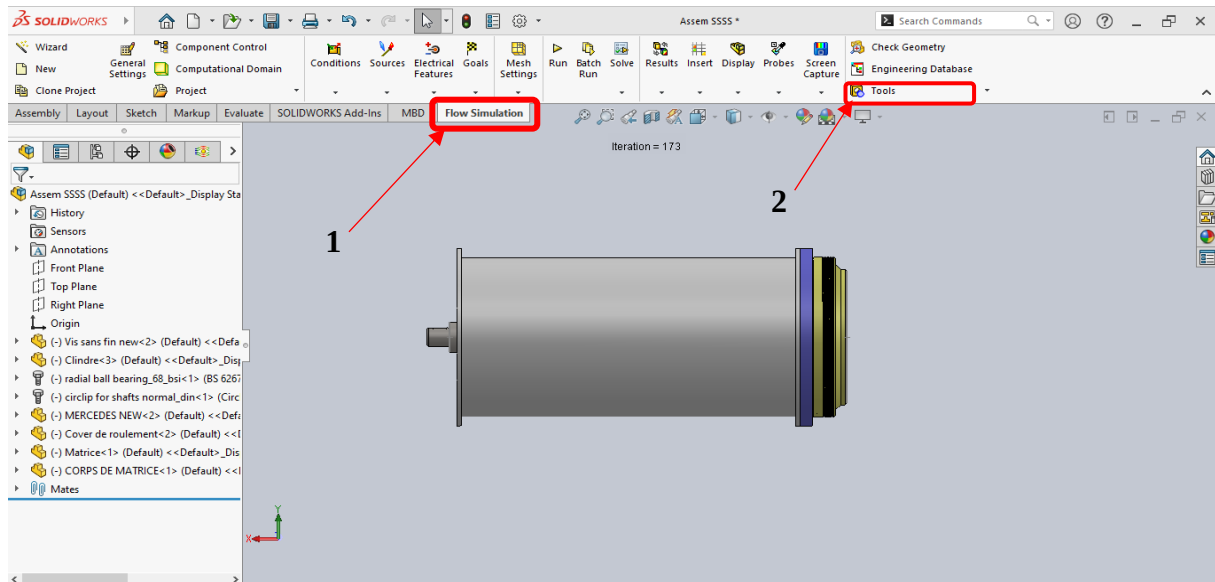


Figure (IV- 2) : Démarrage de la simulation avec Flow Simulation.

2. Fermeture du système : on va fermer tout le système par deux bouchons pour ne pas avoir des fuites.

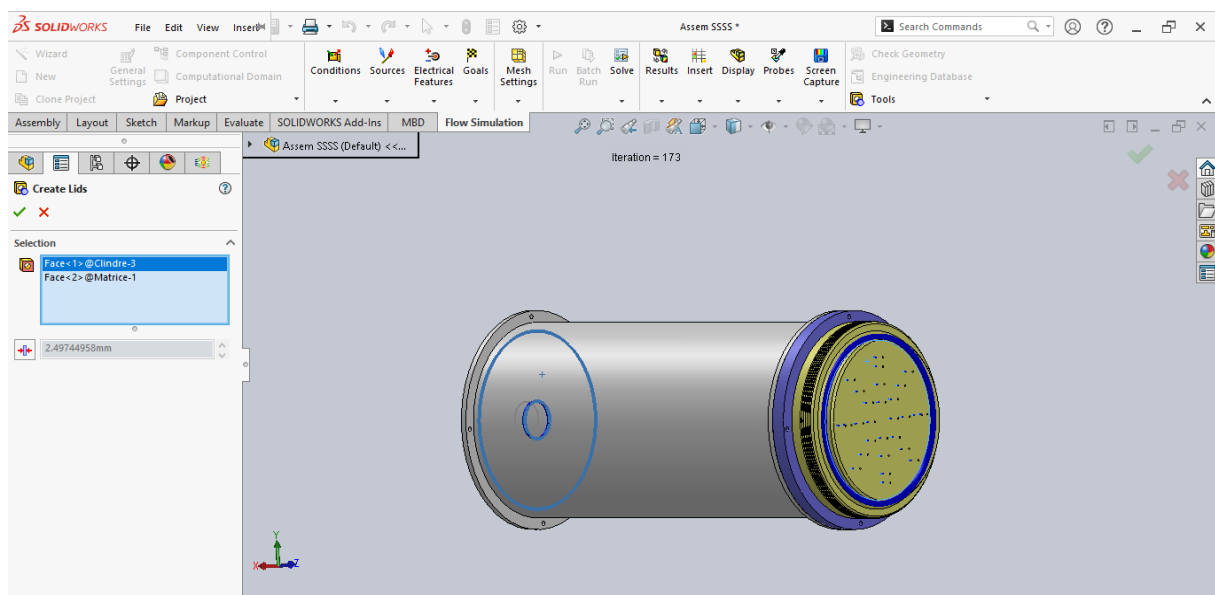


Figure (IV – 3) : Fermeture du système.

3. Création du nouveau projet :

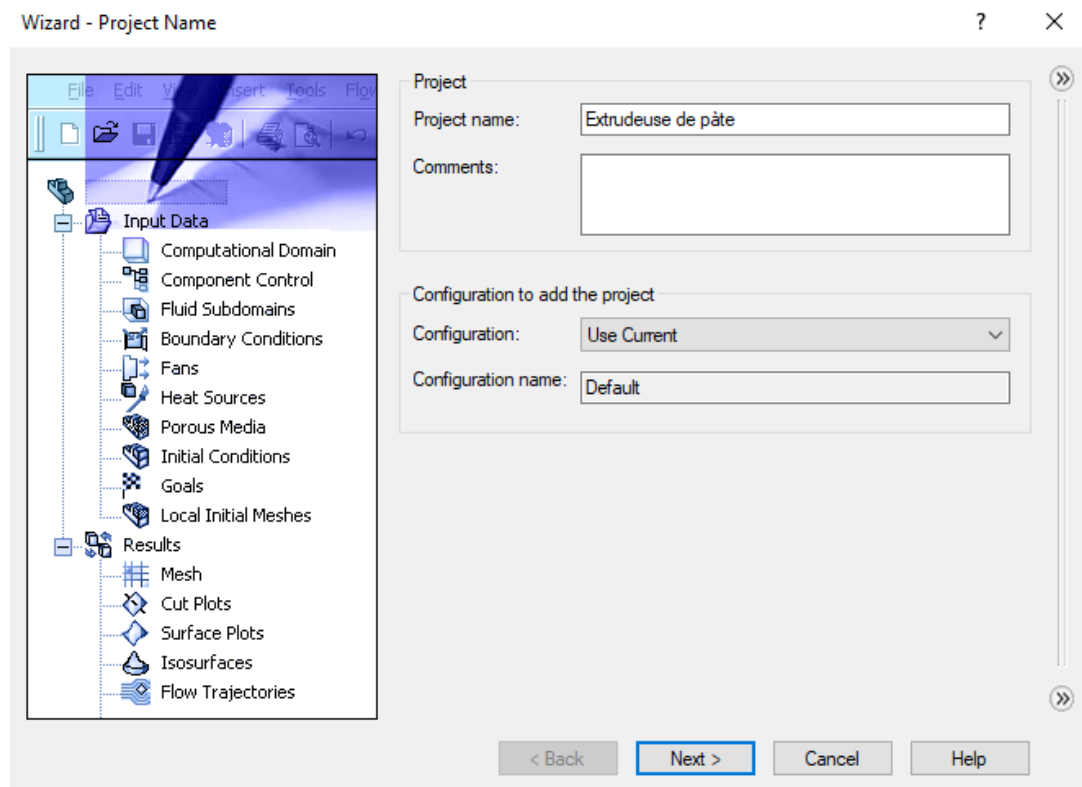


Figure (IV – 4) : Création du nouveau projet.

4. Choix d'unités :

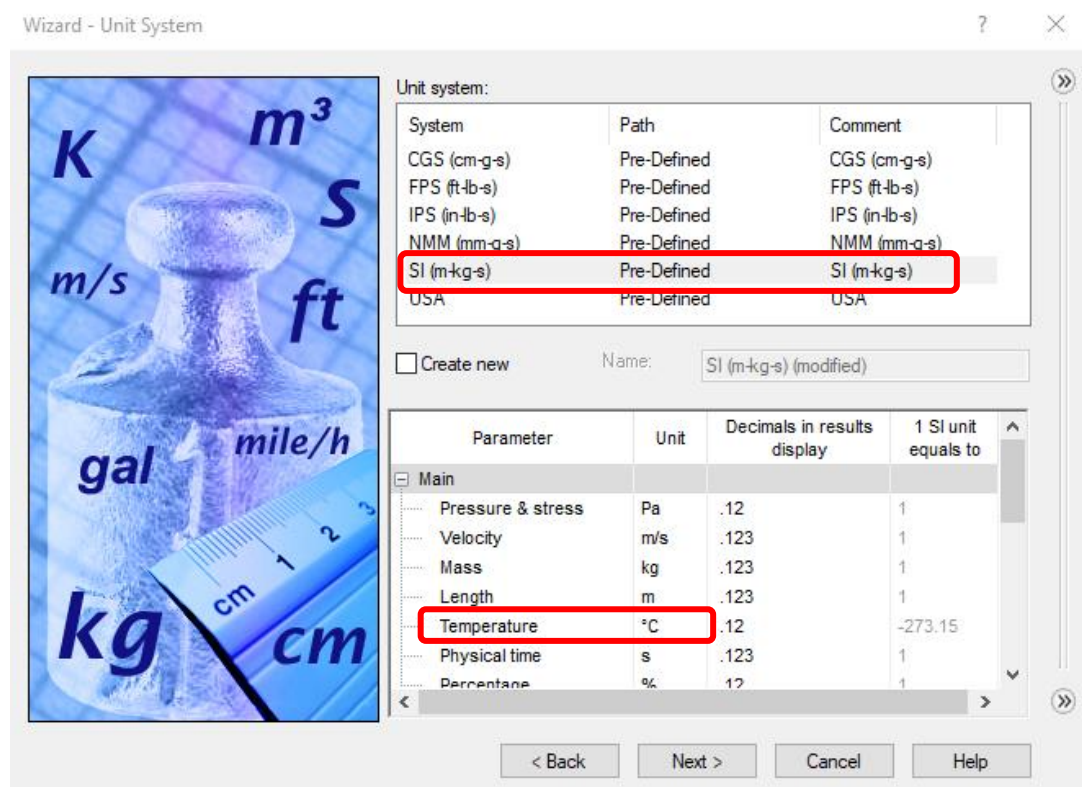


Figure (IV - 5) : Choix d'unités.

5. Choix de types d'analyse :

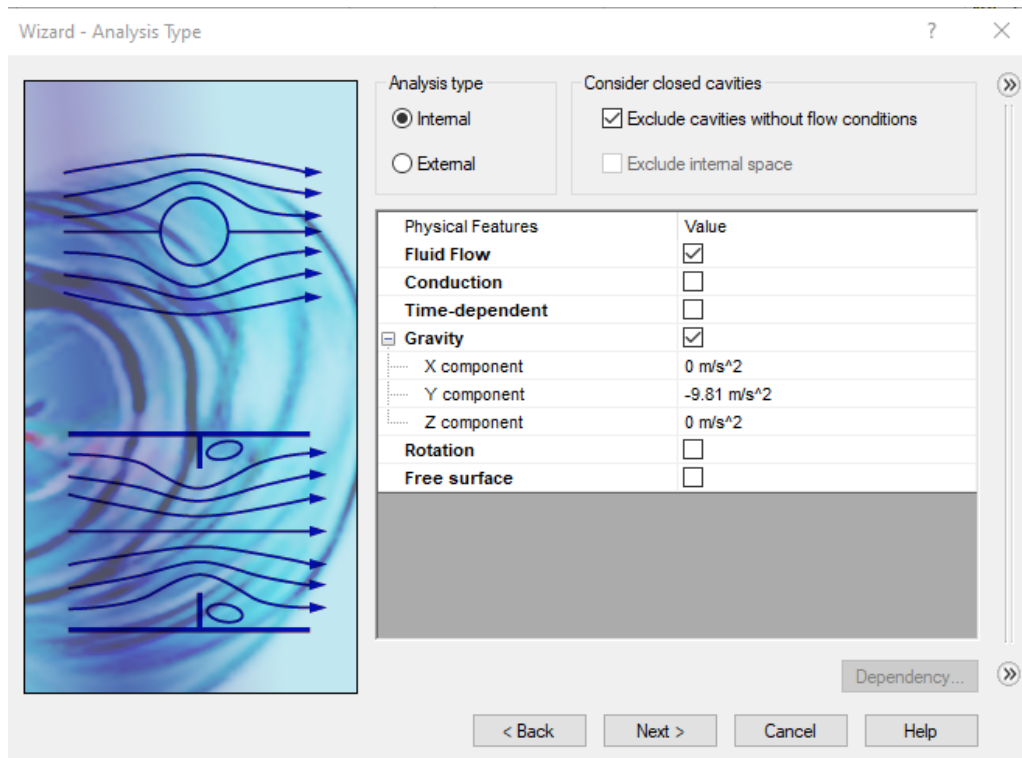


Figure (IV – 6) : Choix de types d'analyse.

6. Choix de la matière :

On a choisi la matière boue (**Slurry**) car elle a presque les mêmes caractéristiques de la pâte.

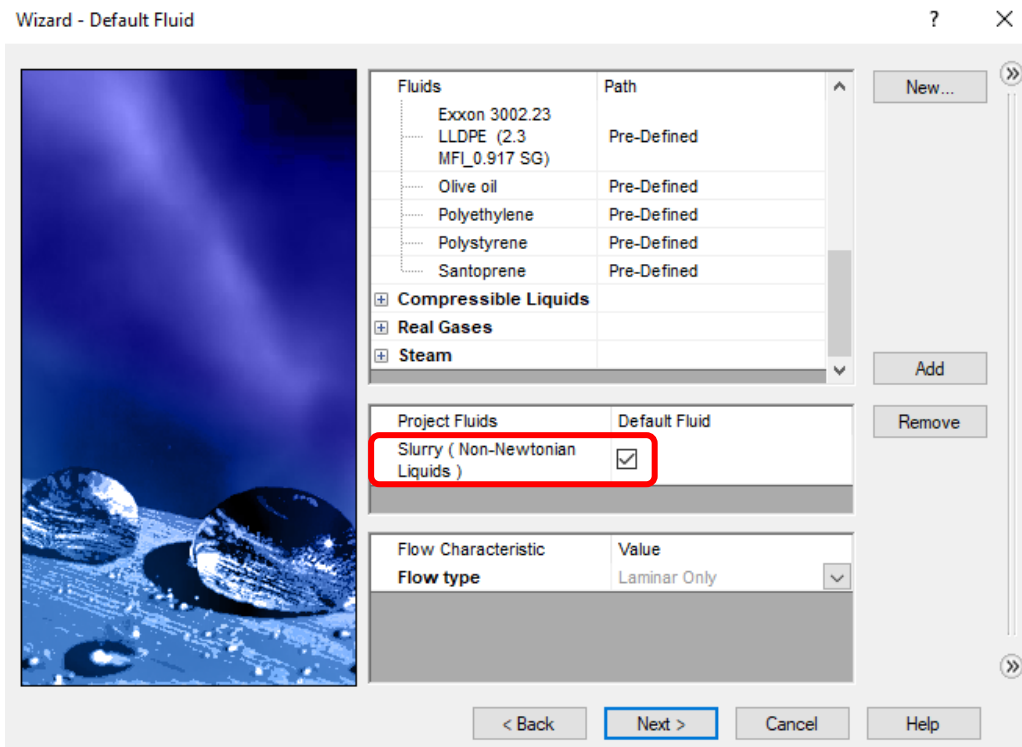


Figure (IV - 7) : Choix de la matière (Slurry).

7. Définition des conditions initiales :

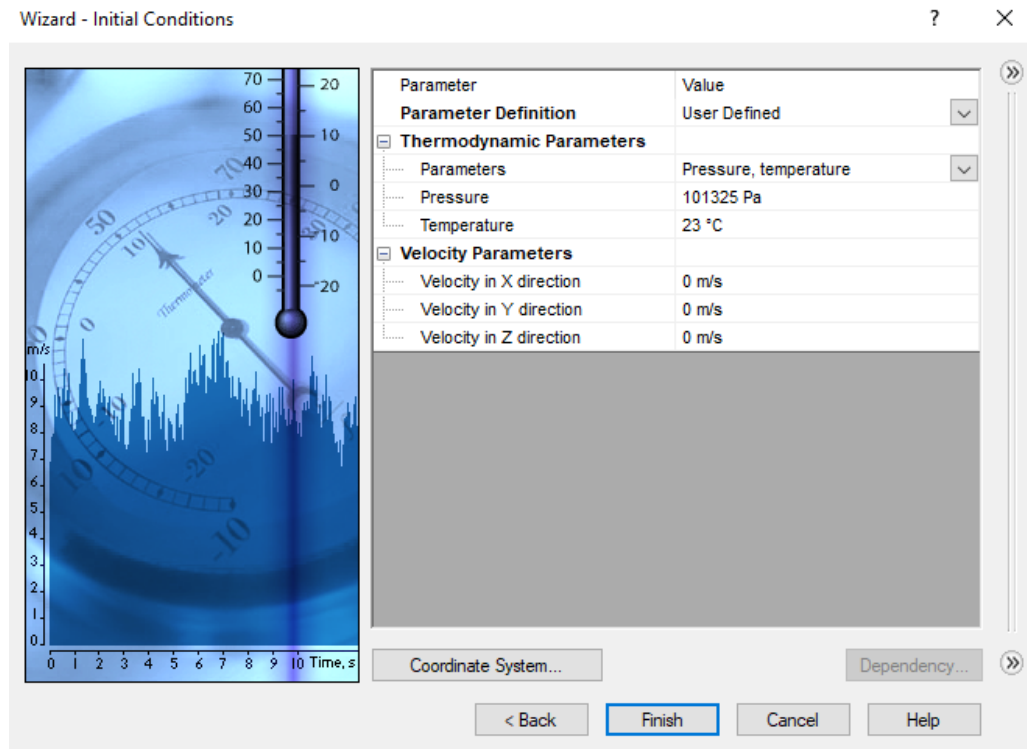


Figure (IV – 8) : Définition des conditions initiales.

8. Définition des conditions aux limites :

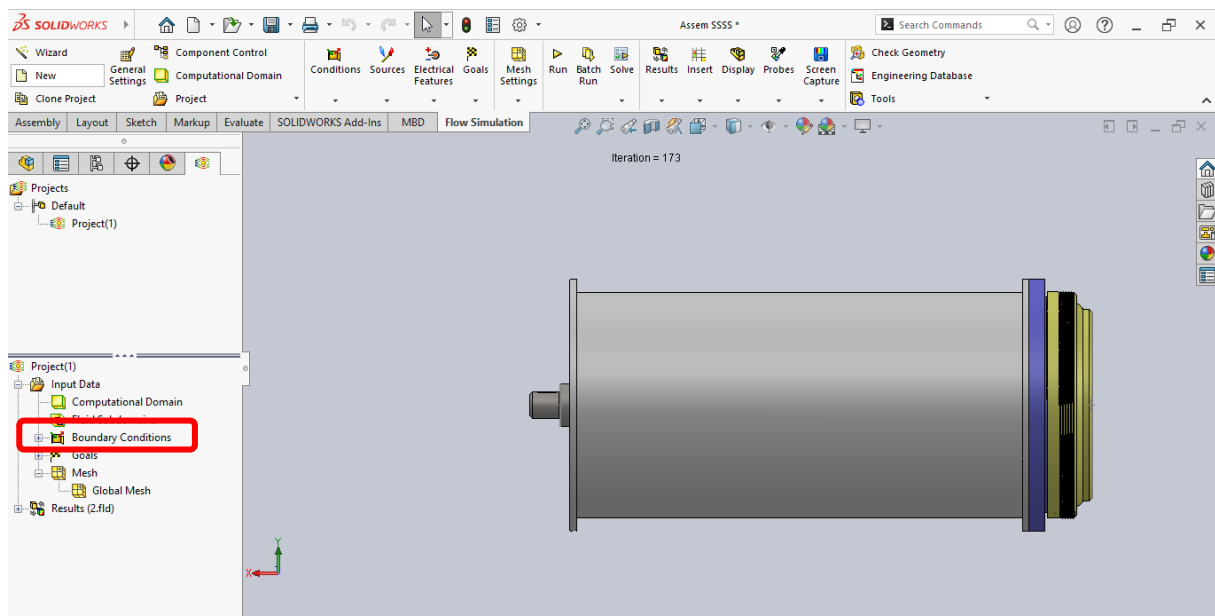


Figure (IV – 9) : Définition des conditions aux limites.

8.1. Condition à l'entrer :

À l'entrée on a un débit volumique $Q = 1.31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{min} = 2.18 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$, donc on va ajouter cette valeur à **Inlet volume flow** (le débit volumique entrant).

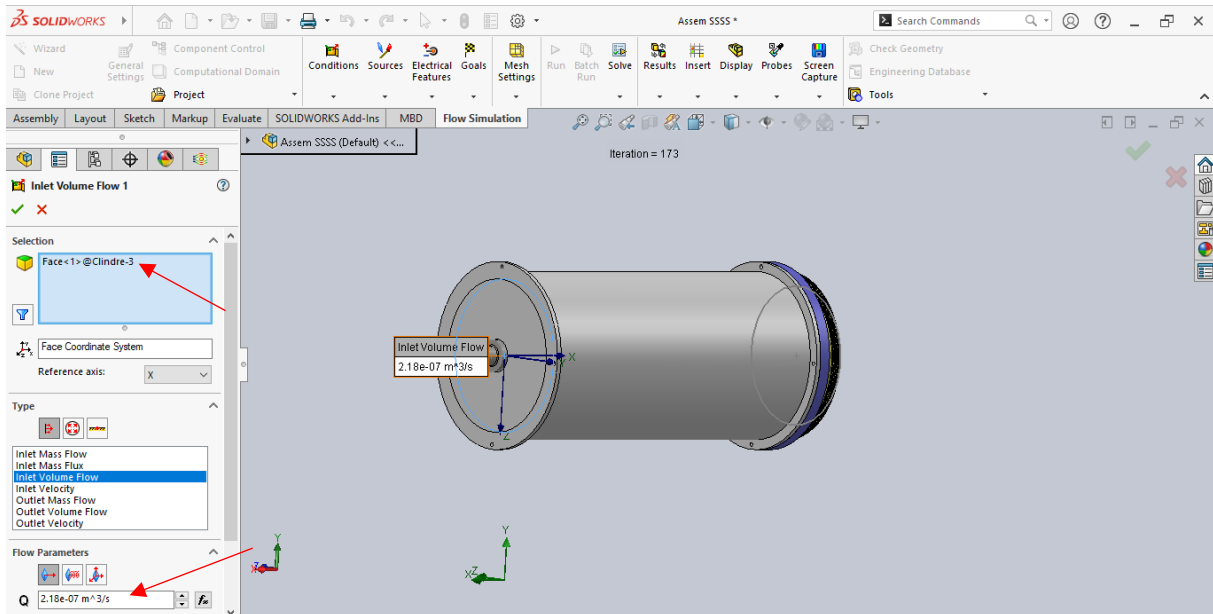


Figure (IV – 10) : Définition des conditions aux limites (Condition à l'entrer).

8.2. Conditions à la sortie :

En sortie, on ajoute les conditions normales d'environnement, une température de 23°C et une pression de 101325 Pa.

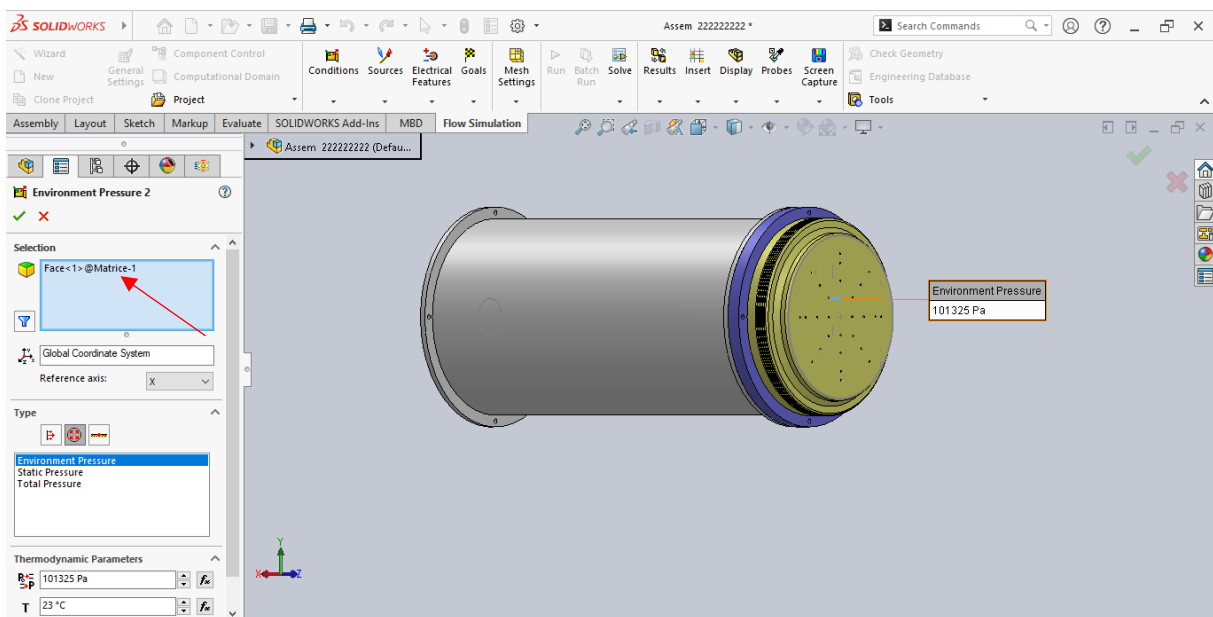


Figure (IV – 11) : Définition des conditions aux limites (Condition à la sortie).

8.3.Choix des résultats : vitesse sur l'axe X

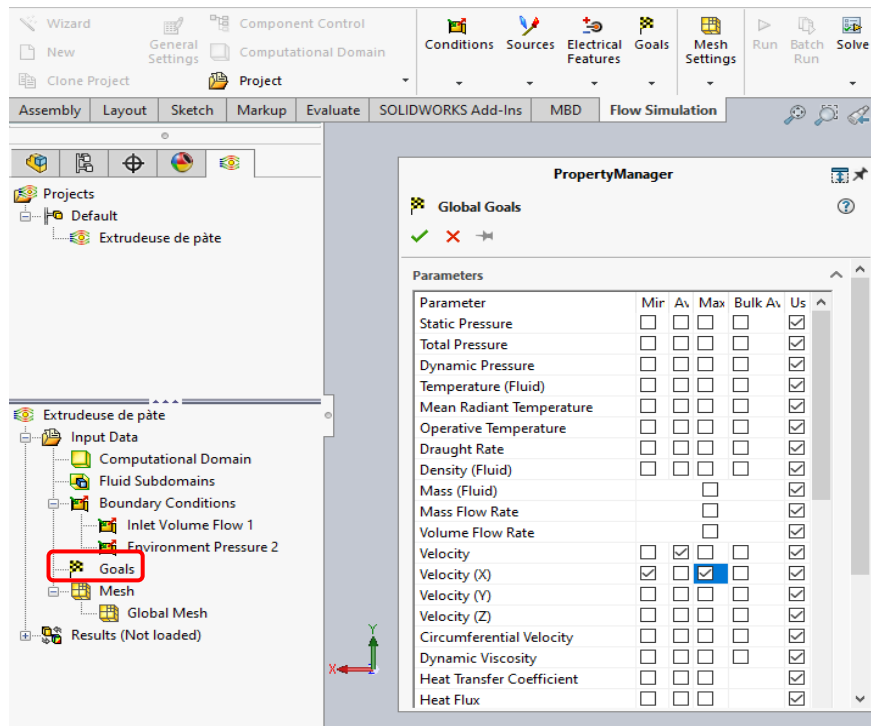


Figure (IV – 12) : Choix des résultats : vitesse sur l'axe X.

9. Lancement de calcul :

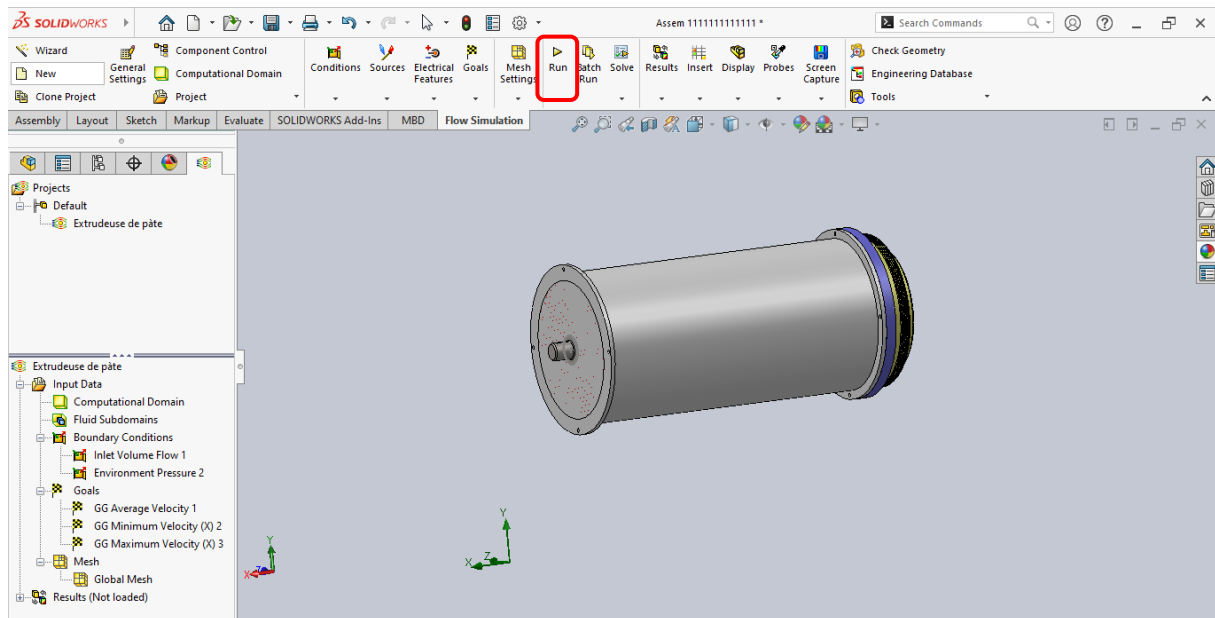


Figure (IV – 13) : Lancement de calcul.

IV.2.1.2. Résultat de la simulation de la vitesse de déplacement de la pâte :

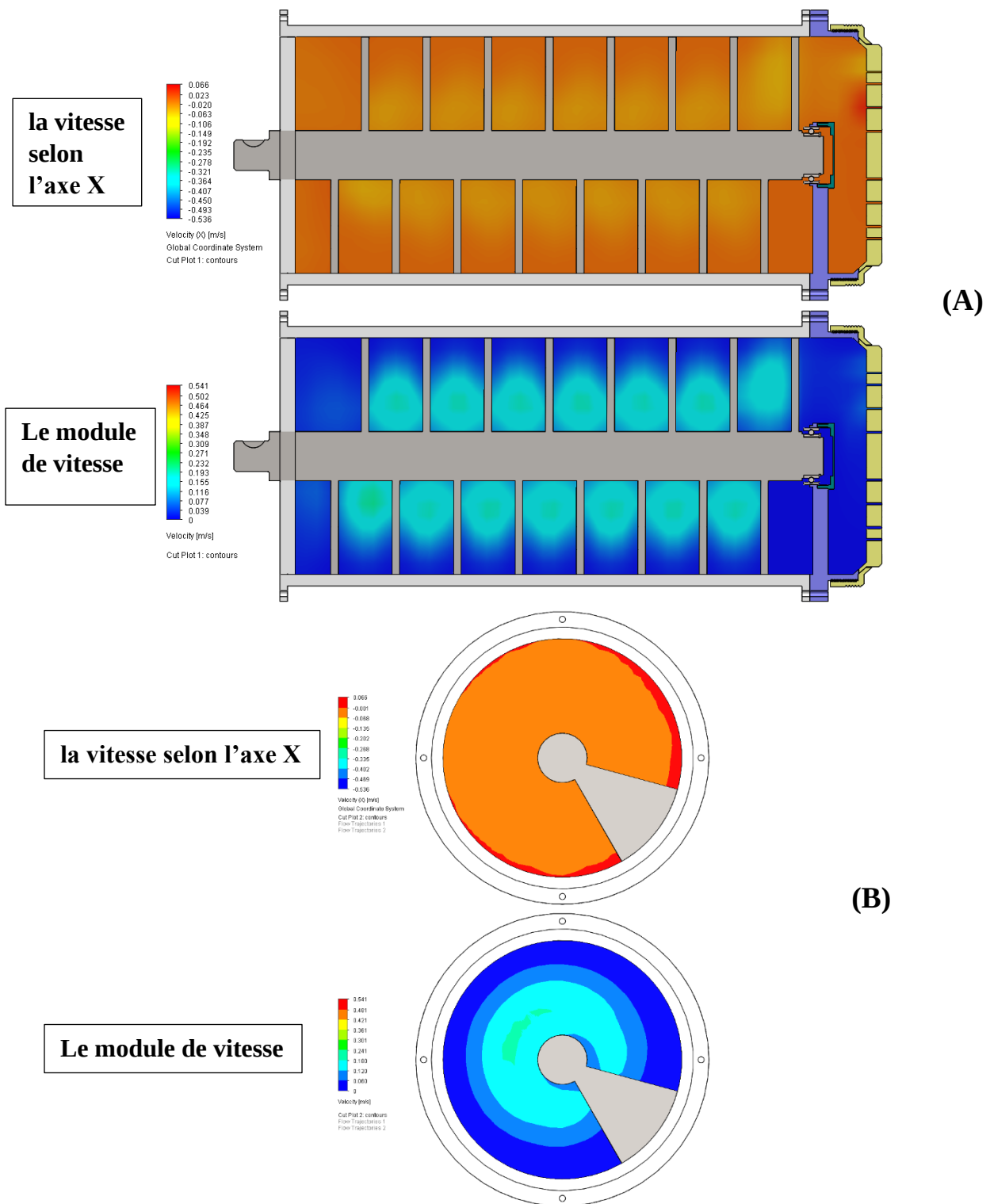


Figure (IV - 14) : (A) Coupe longitudinale de la vitesse selon l'axe X et le module de vitesse.

(B) Coupe transversale de la vitesse selon l'axe X et le module de vitesse.

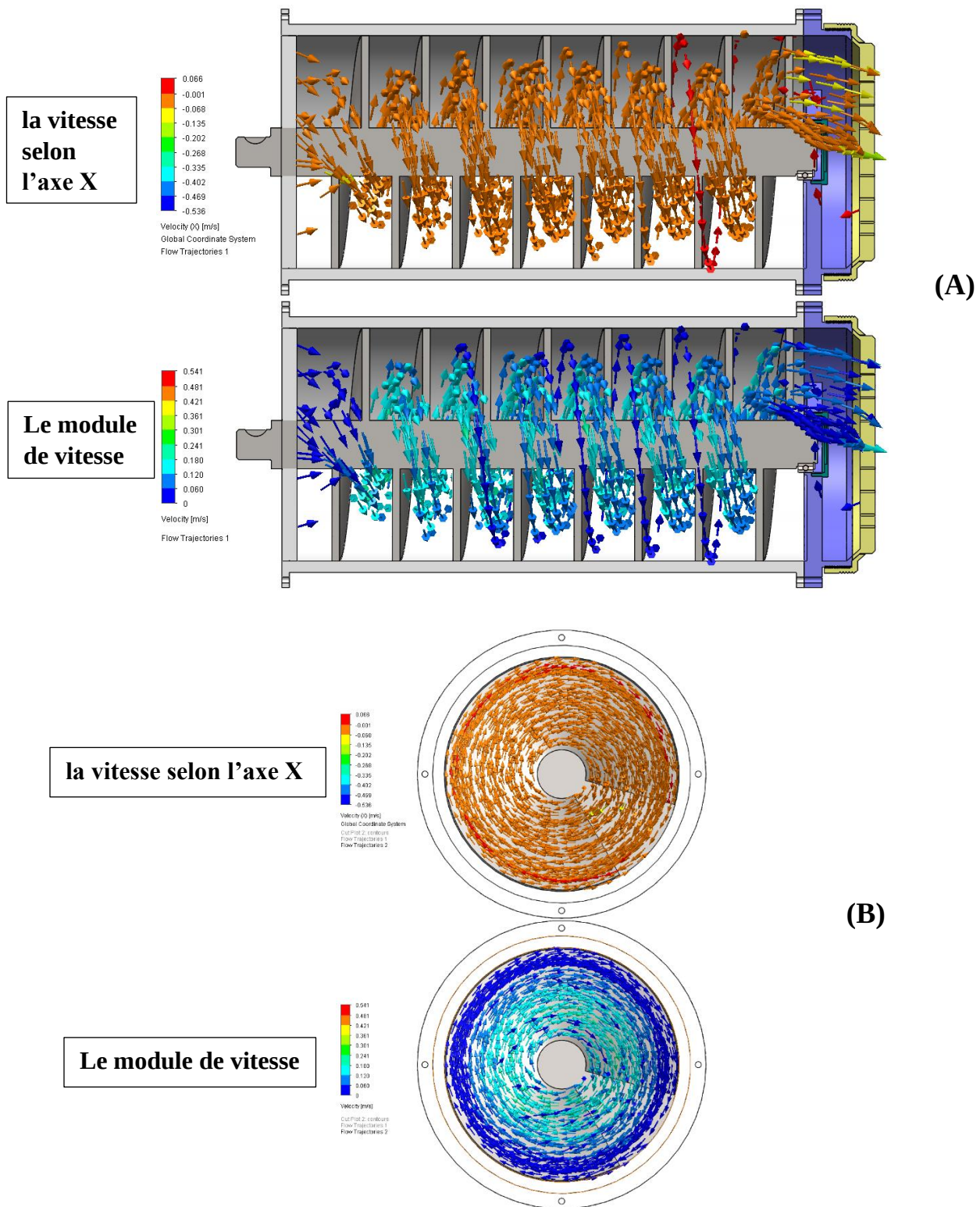


Figure (IV - 15) : (A) Coupe longitudinale du mouvement de la pâte à l'intérieur de la machine.
(B) Coupe transversale du mouvement de la pâte à l'intérieur de la machine.

La vitesse de déplacement de la pâte dans la partie d'extrusion est définie par l'intervalle :

$$V_{\text{déplacement}} \in [-0.068, 0.066] \text{ m/s}$$

Cela correspond à la condition de la vitesse établie dans le chapitre II avant de faire la conception :

$$V_{\text{déplacement}} = 0.05 \text{ m/s}$$

Remarque :

Les résultats obtenus peuvent différer légèrement des résultats corrects. Cela est dû aux différentes propriétés du boue et de la pâte.

IV. Conclusion :

Ce chapitre représente une vérification des calculs réalisés dans le chapitre II. Nous avons d'abord défini le logiciel avec lequel nous avons travaillé à savoir SolidWorks Flow-Simulation. Ensuite, nous avons vérifié la vitesse d'écoulement de la pâte lors de l'extrusion. Tout en expliquant les étapes suivies pour effectuer les tâches voulues de la simulation numérique. Les résultats numériques obtenus montrent une bonne concordance avec ceux obtenus analytiquement.

Conclusion générale

A travers ce travail qui rentre dans le cadre de notre formation de master, nous avons mieux compris comment résoudre une problématique ou un sujet technique de conception d'un mécanisme de fabrication mécanique à travers son étude et sa conception.

D'abord, durant notre travail, nous avons réalisé une étude de conception, et de vérification à travers une simulation numérique d'un système d'extrudeuse à fin d'obtenir des pâtes alimentaires.

Ensuite, nous avons parlé d'une façon détaillée de l'extrudeuse tout en faisant une étude analytique et numérique afin de calculer les dimensions de la vis, les vitesses de rotations et les choix des moteurs pour l'extrudeuse et aussi pour le système de découpage. Après la conception de tous les composants de la machine avec le logiciel SolidWorks, la fonction Flow-Simulation de SolidWorks a été employée pour la vérification des résultats finaux.

De plus, les résultats numériques de la vitesse de déplacement à l'intérieur du cylindre imposée pour la partie d'étude, a été confirmée avec l'outil numérique.

Enfin, c'est avec un grand enthousiasme que nous avons nous lancé dans cette recherche en souhaitant que ce modeste travail aidera toutes personnes désirant en savoir plus sur la fabrication mécanique et l'extrusion plus particulièrement.

Références bibliographiques

- [1] : Céline Deluzarche « <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/matiere-extrusion>. 13/04/2024, 13:47.
- [2] : Joel Abecassis « <https://www.techniques-ingenieur.fr/fabrication-des-pates-alimentaires> » 13/04/2024, 15:05.
- [3] : Cite commercial « <https://ferneto.com/fr/equipements/quest-ce-quune-extrudeuse-a-pate> » 13/04/2024, 16:43.
- [4] : Cite commercial « <https://technopast.com/fr/machine-pate/21-fabrication-pate-technologie> » 13/04/2024, 18:50.
- [5] : Cite commercial « <https://www.fermeallicoud.com/la-fabrication-des-pates> ». 14 Avril 2024, 13:16.
- [6] : André Chevalier, Guide de dessinateur industriel, Edition n°02, Hachette Technique, Paris, 2004. Page 232, 264, 238.
- [7] : Agitation Et Mélange « <https://www.scribd.com/document> ». 14/05/2024, 21:10.
- [8] : Pierre Mayé, Moteurs électriques pour la robotique, 3^e édition, Dunod, Paris, 2016. Page 236.
- [9] : An-I Yeh, Effects of Feed Rate and Screw Speed on Operating Characteristics and Extrudate Properties During Single-Screw Extrusion Cooking of Rice Flour, National Taiwan University, « <https://www.researchgate.net/publication> ». 20/05/2024, 15:02.
- [10] : Cite commercial « <https://www.js-technik.de/fr/information/facteur-de-service-facteur-de-vitesse> » 22/05/2024, 17:22.
- [11] : Catalogue de Seipex, Three-phase asynchronous, IE1 JM-GM MOTORS.
- [12] : Cite commercial « <https://www.omc-stepperonline.com/fr/nema-23-bipolaire> ». 04/06/2024, 21:32