



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

Chiboub Othmane

Pour l'obtention du diplôme

Master Sciences et Techniques

Electronique, Signaux et Systèmes Automatisés

(E.S.S.A)

Intitulé

**Maitrise et régulation de la température aux zones de
l'extrudeuse**

Encadré par :

Pr ECHATOUI Nor-Said (FST fes)

Mr EL ALAMI Anouar (Richbond)

Soutenu le 18 Juin 2018, devant le jury composé de :

Pr Echatoui Nor-Said.....: Encadrant

Pr Lamcharfi..... : Examineur

Pr Bouayad..... : Examineur

Pr Mechaqrane..... : Examineur

Remerciement

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à mes encadrants, Monsieur **Nor-said ECHATOU**, qui n'a cessé de me prodiguer de ses soutiens et conseils lors de la période du stage.

J'adresse également mes sincères remerciements et ma sympathie à Monsieur **EL ALAMI** et **BENABDELOUAHED** à tous les agents de l'usine SOMS qui n'ont pas épargné d'efforts pour m'avoir fait part de leur riche expérience.

Je souhaite aussi faire part de ma reconnaissance tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.

Table des matières

Remerciement.....	1
Liste des figures	5
Introduction générale.....	7
Chapitre I Présentation de l'entreprise d'accueil	8
I. Présentation du groupe Richbond	9
1. Métiers stratégiques du groupe Richbond.....	9
2. Filiales du groupe Richbond	10
II. Présentation de la société Richbond.....	10
1. Fiche signalétique de la société.....	11
2. Organigramme de la société Richbond	12
3. Principales activités de la société Richbond	12
III. L'usine SOMS.....	14
1. Matière premier	14
2. Processus de fabrication de la mousse substrat.....	14
Chapitre II Généralité sur l'extrusion.....	17
I. Présentation du procédé	18
1. Principe.....	18
2. Description de la vis de plastification	18
3. Description de l'extrudeuse Tandem (deux extrudeuses en cascade).....	19
II. Profil de température dans l'extrudeuse.....	20
1. Effet de température	20
2. Etape de production.....	20
III. Problématique.....	22
1. Enoncée de la problématique :	22
2. Relevé de température	23
3. Cahier de charge.....	25
Chapitre III Bilan thermique	26
I. Généralités sur le bilan thermique.....	27
1. Définition	27
2. But	27
3. Bilan thermique simple	27

4.	Les transferts de chaleur.....	27
II.	Elaboration du bilan thermique	29
1.	Frigo :	30
2.	Réservoir d'eau :	31
3.	L'échangeur tubulaire	32
III.	Phase de dimensionnement thermique	34
1.	Problème thermo hydraulique	34
2.	Principe de calcul thermique d'un échangeur	34
3.	Calcul analytique (Méthode du DTML).....	35
Chapitre IV Régulation de température.....		37
I.	Principe de régulation.....	38
1.	La chaîne de traitement de l'information	38
2.	Boucle de régulation.....	38
3.	Régulation et asservissement	39
4.	Types de régulateurs.....	39
II.	Régulateur PID	39
1.	Rôle du régulateur	39
2.	Action PID.....	40
3.	Effet des actions PID.....	40
III.	Régulation de température	41
1.	Définition du processus et des entrées/sorties.....	41
2.	Identification du processus.....	43
3.	Méthode Broïda : identification de la dynamique de la zone.....	45
4.	Simulation sur Matlab-Simulink	47
Chapitre V Automatisation et supervision des zones de l'extrudeuse		50
I.	Concept actuel :.....	51
II.	L'automate programmable industriel	51
1.	Objectif de l'automatisation	51
2.	Critères de choix d'un API.....	52
3.	Présentation du CPU 1215 :	52
III.	Programmation et Synchronisation des électrovannes	53
1.	Présentation des régulateurs de logiciel	53
2.	Objet technologique PID_Compact	53

3. Configuration du régulateur	54
4. Organigramme de synchronisation.....	55
5. Programmation de la synchronisation	56
Conclusion.....	57
Bibliographie.....	58

Liste des figures

Figure 1: Contribution des secteurs en chiffre d'affaires de l'année 2011	9
Figure 2: Filiales du groupe Richbond	10
Figure 3: Organigramme de la société Richbond.....	12
Figure 4: Différentes activités de la société RICHBOND.....	12
Figure 5: Principaux départements de la société RICHBOND.....	13
Figure 6: Extrusion	15
Figure 7: Processus de fabrication de la mousse substrat	15
Figure 8: Zone de stabilisation.....	16
Figure 9: Lamination	16
Figure 10: Extrudeuse tandem.....	19
Figure 11: Résistance de chauffe.....	20
Figure 12: Zones de chauffage	21
Figure 13: Zone de la deuxième extrudeuse.....	21
Figure 14: Circuit de refroidissement	22
Figure 15: Variation de température de quelque zone de chauffe	24
Figure 16: Schémas de principe sur les mécanismes de transferts de chaleur	29
Figure 17: Vue en coupe du réservoir d'eau	31
Figure 18: Schéma d'un échangeur tubulaire.....	32
Figure 19: Schéma du circuit de l'échangeur	32
Figure 20: L'échangeur de chaleur	33
Figure 21: Principe de calcul thermique d'un échangeur	34
Figure 22: Schéma de principe de régulation	41
Figure 23: Identification d'un élément de premier ordre	44
Figure 24: Méthode de broida.....	45
Figure 25: Guide sur la régulation à appliqué.....	45
Figure 26: Enregistrement de la réponse du procédé	46
Figure 27: Réponse en boucle ouverte.....	48
Figure 28: Réponse en boucle fermé avec $P=1$	48
Figure 29: Réponse en boucle fermé avec $P=2$	49
Figure 30: Réponse en boucle fermé avec $P=1.3$	49
Figure 31: électrovanne de commande.....	51

Figure 32: L'automate CPU 1215	52
Figure 33: Régulateur PID_Compact.....	53
Figure 34: Configuration du PID.....	54
Figure 35: Programme de régulation	56

Introduction générale

Le marché de la mousse connaît ces dernières années un grand développement. Pour être en phase avec la croissance du secteur mondial et pour répondre à la demande croissante et exigeante du marché local, RICHBOND s'est lancée dans de nombreux projets d'optimisation et d'innovation.

Ainsi, pour faire diversifier sa gamme de produits et élargir de plus en plus sa part de marché, RICHBOND a lancé depuis trois ans un projet d'envergure et sur lequel elle mise. C'est la production de la mousse, principale activité de l'entreprise, en utilisant un nouveau processus et une matière première jamais encore utilisée dans ce secteur. L'idée de départ était de remplacer la mousse d'entrée de gamme faite en polyuréthane à basse densité par du polyéthylène extrudé, un matériau connu jusque-là pour sa vaste utilisation dans l'emballage. Après huit mois de son lancement, la nouvelle usine de production de la mousse en polyéthylène extrudé se révèle être un succès retentissant. Cependant, durant la phase de préparation de l'extrudeuse avant son fonctionnement normal et la production de la mousse conforme, la température élevée est un facteur favorable à la nucléation de bulles. Néanmoins, il faut s'assurer que le polymère conserve une résistance à l'état fondu suffisante pour supporter les bulles et éviter leur affaissement et leur fusion. Ainsi, la structure de la mousse est généralement meilleure lorsque la température de mise en œuvre est plus basse.

Pour cela, la maîtrise de la température qui permet la production de la mousse s'avère primordial pour garantir un produit conforme, C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'étude intitulé « **Maitrise et régulation de la température aux zones de l'extrudeuse** ».

Le présent rapport comporte cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous donnons un aperçu général du groupe RICHBOND et plus précisément la société RICHBOND, présentons l'usine de production de la mousse substrat, la problématique, on définissons les différentes ligne de production. Quant au second chapitre, il sera consacré à une étude du principe de fonctionnement de l'extrudeuse ainsi un diagnostic et une analyse de l'existant pour définir les points à améliorer. Dans le troisième chapitre, nous réalisons une étude expérimentale sur le bilan thermique qui consiste à quantifier avec précision la variation des paramètres influant sur le processus de production. La détermination du modèle mathématique du processus et la régulation de température des zones de l'extrudeuse fera l'objet du quatrième chapitre. Le cinquième chapitre présente l'automatisation des solutions élaborer, et en fin conclusion.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise d'accueil

I. Présentation du groupe Richbond

Le groupe Richbond est l'un des premiers groupes industriels privés du Maroc, composé de sociétés aux marques prestigieuses, recentrées continuellement sur leur cœur de métier, il écrit depuis plus d'un demi-siècle l'histoire de succès marocaine.

Le groupe Richbond résulte du regroupement des cinq entreprises du Groupe Tazi : RICHBOND, Simmons, Simec, Baltimar et Omega.

Le groupe est donc la société holding qui détient l'ensemble de ces filiales. Présent sur la ville de Casablanca, il emploie plus de 2300 personnes et a réalisé en 2012 un chiffre d'affaires de 1 milliard de dirhams.

1. Métiers stratégiques du groupe Richbond

Les métiers du groupe RICHBOND touchent différents secteurs entre la literie et l'ameublement, la plasturgie et l'agroalimentaire. La figure ci-dessous représente la répartition du chiffre d'affaires du groupe RICHBOND sur les 3 secteurs de métiers à titre de l'année 2011 :

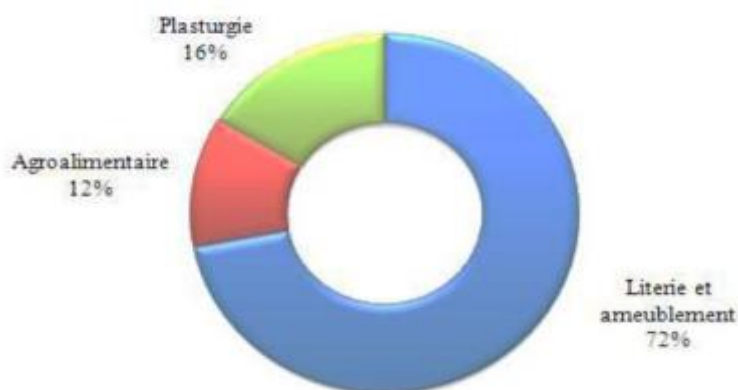


Figure 1: Contribution des secteurs en chiffre d'affaires de l'année 2011

Le secteur de literie et d'ameublement prend la part du lion au niveau du chiffre d'affaires du groupe avec un pourcentage qui atteint 72%.

- **Literie et ameublement** : Ce métier rassemble toutes les activités du Groupe liées à la conception, la production et la commercialisation de literie, d'ameublement et de bois. Le groupe RICHBOND détient des positions de leader dans tous les secteurs d'activité qu'elle couvre (fabrication de literie, salons, matelas, menuiserie, mousse polyuréthane) via sa filiale RICHBOND. Il cible également une clientèle « haut de gamme » via Simmons Maroc.
- **Plasturgie** : L'activité du Groupe dans ce secteur s'exerce dans des domaines divers et se décline sur les marchés ménagers et industriels : transformation des matières plastiques (par soufflage, injection, extrusion et thermodurcissable), articles ménagers et industriels, mobilier de jardin, emballage et sacherie plastique.
- **Agroalimentaire** : Dans le métier de l'agroalimentaire, le Groupe RICHBOND grâce à sa filiale Baltimar propose une offre complète allant du traitement et raffinage des huiles jusqu'à la production. Baltimar est un leader incontesté sur le marché Marocain dans la

production selon les normes de qualité internationales (American Oil Chemists Society) du meilleur des huiles végétales à base d'huile de soja, de palme, de palmiste...

2. Filiales du groupe Richbond

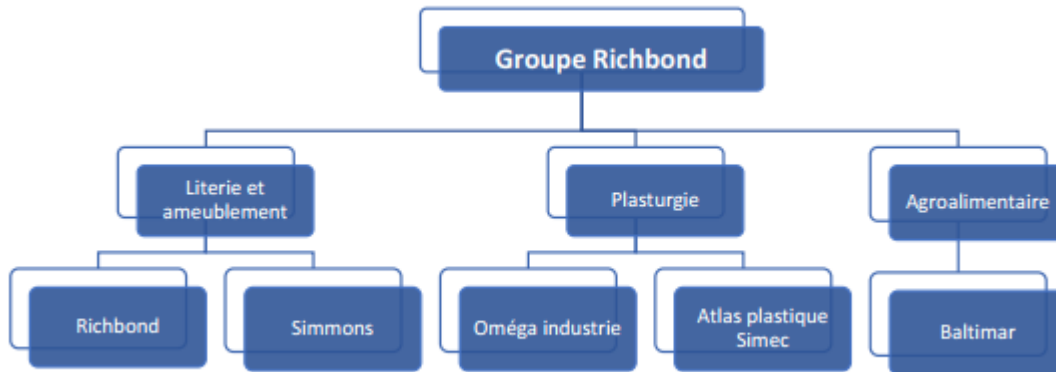


Figure 2: Filiales du groupe Richbond

II. Présentation de la société Richbond

Créée en 1965, la société Richbond, fabricant de meubles est une entreprise familiale de droit privé qui s'est transformée rapidement en société anonyme. Elle fait partie d'un groupe qui porte le même nom « Groupe Richbond », et dont l'activité touche plusieurs secteurs.

L'origine de création de Richbond est née de l'évolution des produits d'Atlas Plastique ; la première société du groupe Richbond fondée par Mr Abdelaziz Tazi en 1956 ; dont la spécialité originelle fut la création d'articles ménagers en plastique. Cette évolution a amené la société à produire de la mousse polyuréthane qui servira à créer les premières banquettes Richbond.

Face au succès commercial de ses banquettes, la société Richbond étendra sa gamme de produit en fabricant des matelas dans les années 1970, l'ameublement ainsi que des salons marocains dans les années 1990 puis du linge de maison à partir de 2010.

Considérée comme l'une des grandes sociétés marocaines qui opèrent dans le secteur d'ameublement et de la literie, Richbond se positionne en créateur d'intérieur et en plus d'équiper les particuliers via son réseau de distribution qui compte 24 points de ventes implantés au travers du monde (Maroc, France, Belgique, Suisse, Pays-Bas et Canada).

Aujourd'hui, Richbond est leader national au niveau du secteur où elle opère. La société dotée de plus de 1400 personnes, a réalisé au titre de l'année 2011, un chiffre d'affaires de 818 millions de dirhams, avec une part de marché qui dépasse 30%.

1. Fiche signalétique de la société

Raison sociale	RICHBOND
Forme juridique	Société anonyme
Date de création	1965
Branche d'activité	Bois, meubles et ameublement
Secteur d'activité	Secondaire
Dirigeant PDG	M. Abdelaziz Tazi
Chiffre d'affaires (2011)	818 Millions de dirhams
Capital social	230 Millions de dirhams
Personnel	1400 personnes
Siège social	265, bd Moulay Ismail – 20290 Casablanca
Adresse	Km.11, 7 autoroute de Rabat – Casablanca
Site internet	www.richbond.ma
Téléphone	(+212) 05-22-75-48-88
Fax	(+212) 05-22-75-48-00

2. Organigramme de la société Richbond

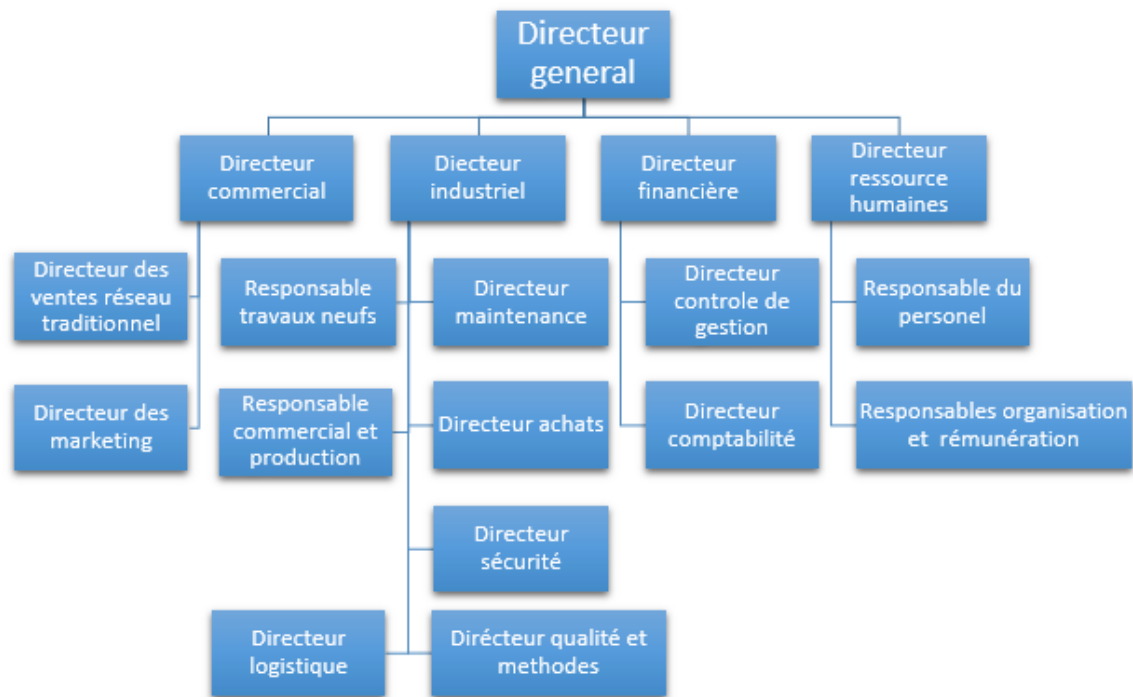


Figure 3: Organigramme de la société Richbond

3. Principales activités de la société Richbond

Aujourd'hui, Richbond est relativement une entreprise intégrée. Elle est à la fois filateur, tisseur, fabricant de mousse pour matelas, confectionneur, menuisier, et fabricant de linge de maison.



Figure 4: Différentes activités de la société RICHBOND

La société Richbond est organisée en six départements opérationnels qui se chargent de la production des différents produits, comme l'indique l'organigramme ci-dessous :

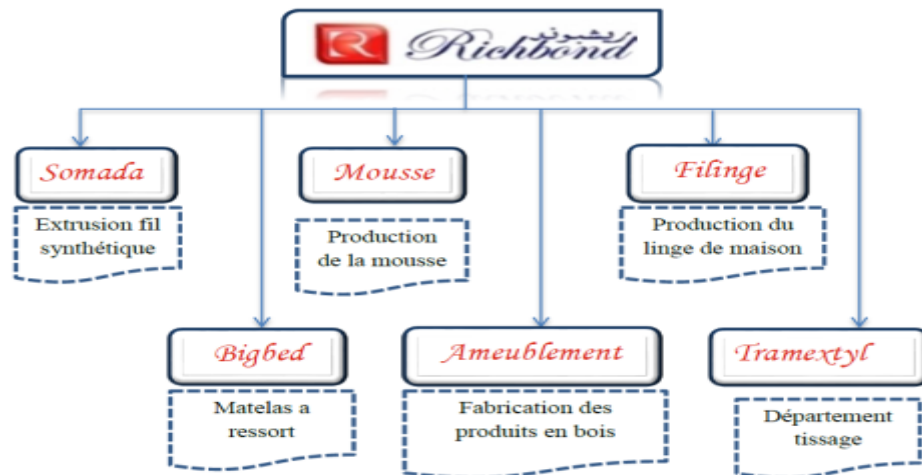


Figure 5: Principaux départements de la société RICHBOND

A travers ses six départements, RICHBOND dispose d'outils complémentaires pour accomplir la mission qu'elle s'est fixée :

- **La Mousse** : La fabrication de mousse polyuréthane est considérée comme l'activité principale de la société RICHBOND. Elle représente 40% de son chiffre d'affaires globale occupe ainsi le haut du pavé de cette activité. Elle est réalisée à partir de plusieurs produits chimiques contenus dans des cuves qui sont traités par la suite par des machines spéciales, et qui ont résulté des blocs découpés selon les besoins.
- **L'extrusion** : Il s'agit de l'extrusion des filaments qui donne le fil continu, y compris les brins de très grande longueur de façon à former un ensemble continu de fils frisé, élastique et ondulé avec un touché doux.
- **Le Tissage** : Il est réalisé dans une usine spécialisée : TRAMEXTYL. Cette activité a permis d'élargir la gamme des produits de RICHBOND et satisfaire tous les besoins de la production interne. En effet, l'atelier tissage fournit le besoin en tissu pour la production des matelas et pour l'ameublement.
- **L'ameublement** : Le département ameublement, fort de près de 200 personnes (tapissiers, menuisiers, ébénistes et couturières) produit des articles d'ameublement contemporain et traditionnel marocain. Le département propose une palette de mobiliers : fauteuils, canapés, tables basses ; lits et sommiers. Les matériaux utilisés sont soigneusement sélectionnés (bois massif, panneau de haute qualité, tissus, mousses et autres garnissages) pour garantir une qualité irréprochable pour chaque pièce de mobilier.
- **Le Filinge** : Ce département est créé en 2008. Il se spécialise dans la fabrication de linge de lit et de maison, à savoir : les rideaux, les couettes, les protèges matelas... etc.

III. L'usine SOMS

L'activité de cette usine est la production de la mousse substrat. Le but est de produire des feuilles de mousse en polyéthylène qui seront vendues en l'état ou bien qui seront transformées pour en faire des produits finis utilisables par le client final (généralement des matelas et des banquettes).

1. Matière première

La production de la mousse substrat nécessite les matières premières suivantes :

- **Les grains de polyéthylène LDPE (low densité polyéthylène)**

Les polyéthylènes sont des polymères (macromolécules) qui font partie de la famille des polyoléfinés. Ils sont issus de la polymérisation de l'éthylène gazeux. Les (LDPE) font partie des thermoplastiques. C'est-à-dire qu'ils ont des propriétés qui leur confèrent une malléabilité à chaud et une thermo plasticité réversible.

- **Agent gonflant** : Les agents gonflants sont utilisés pour apporter une structure cellulaire, au produit après sa mise en œuvre. Il s'agit de produits qui se décomposent sous l'action de la chaleur ou par réaction chimique en donnant un dégagement gazeux.

L'utilisation du butane pour la production de la mousse en polyéthylène extrudé est plus avantageuse qu'un autre gaz, d'où son choix comme agent gonflant pour la production de la mousse substrat.

- **Les poudres de talc (talcum Powder)** : Les poudres de talc sont injectées avec le polyéthylène (PE) brut à l'entrée de l'extrudeuse. Le talc est utilisé comme un additif qui donne l'aspect fine et lisse à la feuille. Il est largement utilisé dans les industries de porcelaine, de plastique et dans l'industrie pharmaceutique.

- **GMS (mono stéarate de Glycérine)** : GMS est une molécule organique utilisée comme émulsifiant, c'est un agent contre le rétrécissement de la feuille. Non toxique, il est parfois utilisé comme additif dans les produits alimentaires. GMS est une poudre floconneuse incolore, inodore et au goût sucré qui est hygroscopique.

- **Colorants** : Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable, il possède des propriétés spécifiques, indépendantes l'une de l'autre, la couleur et l'aptitude à être fixée sur un support.

2. Processus de fabrication de la mousse substrat

Le processus de fabrication de la mousse substrat passe par trois grandes étapes. La première étant l'extrusion pour obtenir des feuilles de faibles épaisseurs, ne dépassant pas 13mm. Suivi d'une phase de stabilisation pendant une semaine pour diminuer la quantité de gaz contenu dans le produit, et enfin une étape de la lamination pour transformer les feuilles en plaque d'épaisseurs plus importante.

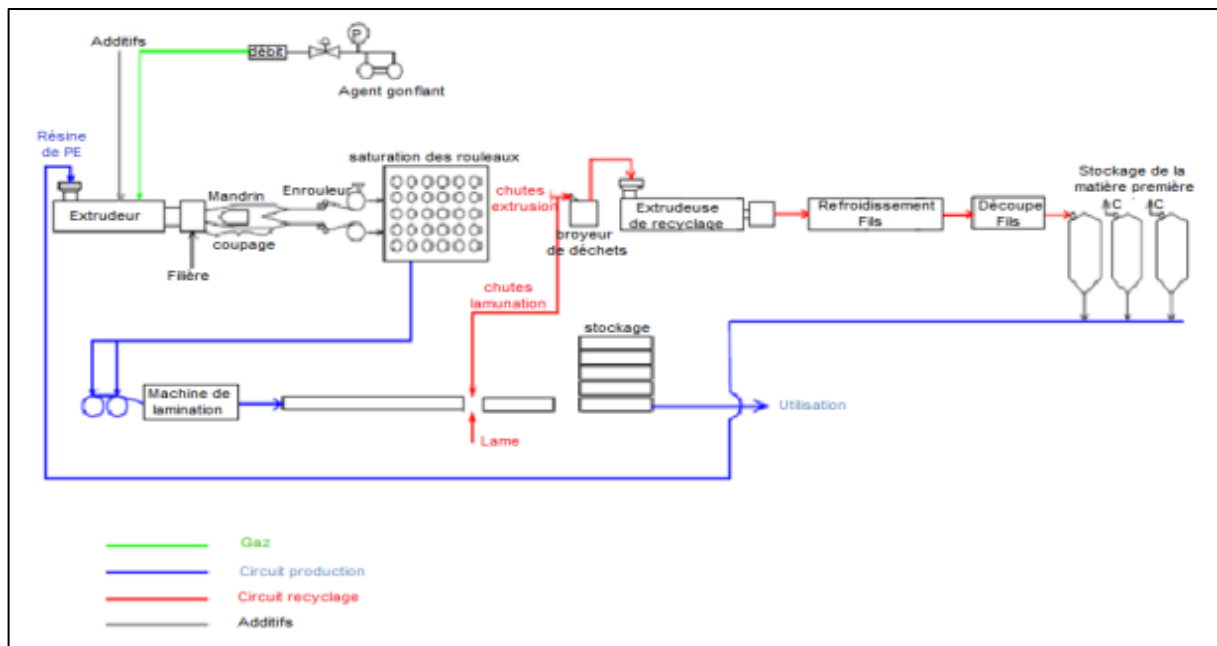


Figure 7: Processus de fabrication de la mousse substrat

- Extrusion** : Les grains de LDPE et les additifs (GMS et le talc) sont mis dans la trémie, pour être transformés par la suite par l'extrudeuse vers le bain PE, puis à l'aide d'une pompe haute pression on ajoute l'agent gonflant qui est dans notre cas le gaz butane, qui sera dissolvé une fois la pression atteint son maximum, tout ceci se mélange dans le bain PE. Le mélange coule dans la vis en 1er étage pour être chauffé, poussé, comprimé, décompressé et dégager dans le 2ème étage afin d'être homogénéisé et extruder, et à cause d'une dépressurisation soudaine au niveau de la filière ; le mélange se transforme en mousse. La mousse chaude passe dans le mandrin pour être refroidi, ensuite elle est aplatie sous forme de film pour être enroulée sur des rouleaux pour la stabilisation.

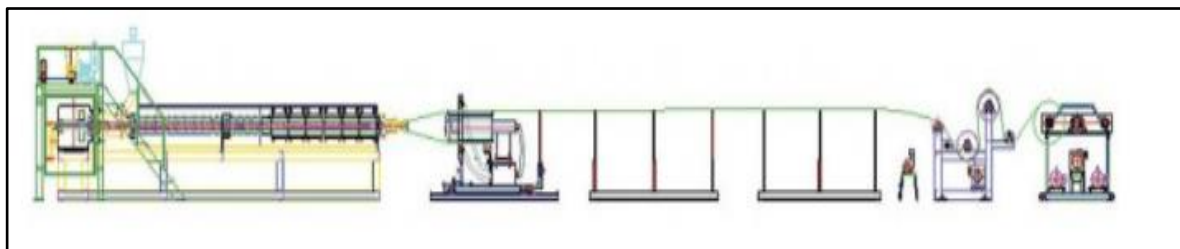


Figure 6: Extrusion

- Stabilisation** : Après avoir enroulé les films de la mousse substrat sur des rouleaux, ces derniers seront transférés vers la zone de stabilisation pour le dégazage du gaz (environ 40%), et la stabilité dimensionnelle. Les rouleaux sont déposés d'une façon verticale sur des palettes en bois pour faciliter le dégazage du gaz butane, ceci est fait pour une durée d'une semaine. Le produit est dit stable lorsqu'il y'a un équilibre entre la pression du gaz à l'intérieur de la cellule et la pression atmosphérique. Pendant la phase de stabilisation, des légères augmentations d'épaisseur et de largeur sont observées à force du poids du rouleau et une faible diminution de la densité.



Figure 8: Zone de stabilisation

• **Lamination et découpe** : Après avoir dégagé le gaz et assuré une stabilité dimensionnelle, on est arrivé à la phase de la lamination qui a comme but l'augmentation d'épaisseur de la feuille de la mousse substrat, l'enroulement des rouleaux et la découpe. La découpe se fait par une machine à deux rouleaux, pour laquelle on définit l'épaisseur de la feuille qu'on souhaite avoir, puis on découpe la feuille selon la longueur et la largeur qui répondent aux besoins exprimés par le client.



Figure 9: Lamination

• **Circuit de Recyclage** : C'est-à-dire les déchets de mousse produites lors du procédé de fabrication, un circuit de recyclage est mis en place.

Durant ce circuit, les déchets sont collectés et broyés afin de réduire leurs tailles, par la suite ils sont envoyés vers une extrudeuse de recyclage pour produire des fils. Ces fils sont refroidis et découpés pour obtenir à la fin la matière première régénérée utilisé durant la fabrication de la mousse en polyéthylène extrudé.

Chapitre II

Généralité sur l'extrusion

I. Présentation du procédé

1. Principe

L'extrusion est une technique de fabrication en continu. Elle consiste à transporter, fondre, malaxer, plastifier, comprimer la matière thermoplastique dans une extrudeuse à l'aide d'une vis de plastification. Dans un premier temps, l'extrudeuse doit être alimentée par la matière première (LDPE, GMS, talc, colorant). Ensuite la matière plastifiée est chauffée puis passe sous pression au travers de la filière pour donner la forme du profilé. La matière chaude subit alors des opérations diverses visant à lui donner son aspect et sa forme définitive : soufflage ou conformation. La matière est ensuite refroidie et figée dans sa forme définitive, soit dans l'air soit dans l'eau, soit encore sur des cylindres refroidis.

2. Description de la vis de plastification

La vis représente l'élément principal de l'extrudeuse. Elle est caractéristique à chaque matière, à chaque machine. Elle tourne à l'intérieur d'un cylindre chauffé et elle est entraînée par un moteur électrique.

- La longueur de la vis est exprimée en nombre de diamètres. Elle est égale à 50 fois le diamètre.
- La vis se compose de 3 zones différentes :



La zone d'alimentation ou d'entrée :

Alimenter et convoyer les granulés de plastique vers la zone de compression. C'est dans cette zone que se développe la force de poussée de la matière le long de la vis par le phénomène vis écrou (la matière correspond à l'écrou). Pour que cette force soit suffisante la matière ne doit pas tourner avec la vis (effet de "patinage"). Pour y parvenir, il est nécessaire que :

- la température de la vis soit inférieure à celle du cylindre
- la matière ne commence pas à fondre dans cette zone

La zone de compression :

Plastifier la matière et la mettre sous pression de façon progressive. C'est dans cette zone que la matière va passer progressivement de l'état solide à l'état fondu. Ce phénomène de plastification est dû à une augmentation de T° de la matière par l'apport de chaleur du fourreau et par le travail des forces de cisaillement au sein du matériau. Le mouvement de circulation de la matière dans le canal de la vis contribue à la répartition uniforme des températures dans la matière. La diminution du volume spécifique entre la matière à l'état solide (en granulé) et la matière à l'état fondu est compensée par le rétrécissement de la section du canal de la vis.

La zone de pompage ou d'homogénéisation

Mélanger, homogénéiser la matière et augmenter la pression sur le polymère. La rotation de la vis permet d'augmenter la pression sur le polymère afin d'assurer l'écoulement de la matière à travers la filière à l'avant de l'extrudeuse.

Tête d'extrusion - porte filière

La tête présente un élément monté au bout du cylindre de l'extrudeuse, en aval de la vis. Son rôle est de laisser passer la matière plastifiée par la filière qui lui donne la forme de la section voulue. L'ensemble de la tête exige un chauffage très soigneusement réglé, pour bien contrôler la température de la matière extrudée, on chauffe et on régle la température de la tête à trois niveaux ; la 1^{er} zone se trouve au niveau de la grille, la 2^e zone est situé autour du poinçon et la 3^e zone à la hauteur de la filière.

3. Description de l'extrudeuse Tandem (deux extrudeuses en cascade)

En ce qui concerne notre projet, l'usine SOMS est dotée d'une extrudeuse à deux étages, dont le premier consiste à chauffer, pousser, comprimer, décompresser et dégager la matière et le deuxième étage l'homogénéise et l'extrude par la filière. Le système dérive du partage des rôles de la vis à deux étages, Le premier étage est une vis classique qui chauffe et fait fondre le polymère. Puis le deuxième étage généralement une mono vis très longue permet de refroidir le polymère contenant le gaz en solution qui est introduit à la fin de la première extrudeuse.

L'intérêt majeur de ce système est de permettre un meilleure contrôle thermique des deux corps de la machine et par la possibilité de réglage indépendant des vitesses, ainsi que la souplesse de l'ensemble. Elle permet aussi de transformer une large gamme de matière avec un rendement élevé.



Figure 10: Extrudeuse tandem

II. Profil de température dans l'extrudeuse

1. Effet de température

Afin d'obtenir de bons résultats, la vis doit permettre un mélange homogène et un contrôle efficace de la température.

a. Premier étage

L'extrudeuse doit posséder un système de refroidissement de la trémie afin d'éviter la fusion et le blocage du polymère à l'entrée de la vis. D'autre part, une température excessivement basse résulterait en un mélange moins efficace et une mauvaise qualité de l'extrudat. La meilleure approche pour déterminer les paramètres d'extrusion est tout d'abord de fixer une température assez faible dans la zone d'alimentation et de contrôler la qualité de l'extrudat, la stabilité de pression et la qualité de mousse. Si la température de la zone d'alimentation est trop basse, la température de la zone suivante peut être augmentée afin d'améliorer la fusion et le mélange puisqu'il est important d'atteindre la température de décomposition de l'agent gonflant avant la zone de pompage pour avoir une dispersion homogène des gaz dissous.

b. Deuxième étage

Pour les zones de la deuxième extrudeuse, il est recommandé de fixer un profil de température décroissant. En effet, une fusion précoce permet un bon mélange, et des températures plus faibles dans les zones avals augmente la viscosité du mélange, ce qui augmente le cisaillement et par conséquent améliore le mélange et l'homogénéité. Si les zones 1 et 2 de la vis sont trop chaudes, les températures des zones en aval peuvent être réduites afin d'éviter une température du fondu trop haute au moment d'entrer dans la filière.

2. Etape de production

a. Premier chauffage

Au démarrage de l'extrudeuse, nous avons besoin d'extraire le déchet de la matière restante après le dernier démarrage de l'extrusion, pour cela nous devons en premier temps chauffer la machine pour faire fondre la matière avant de la sortir de la machine. Pour cela il y a lieu des résistances chauffantes toutes aux longs de l'extrudeuse pour permettre le chauffage du polymère.

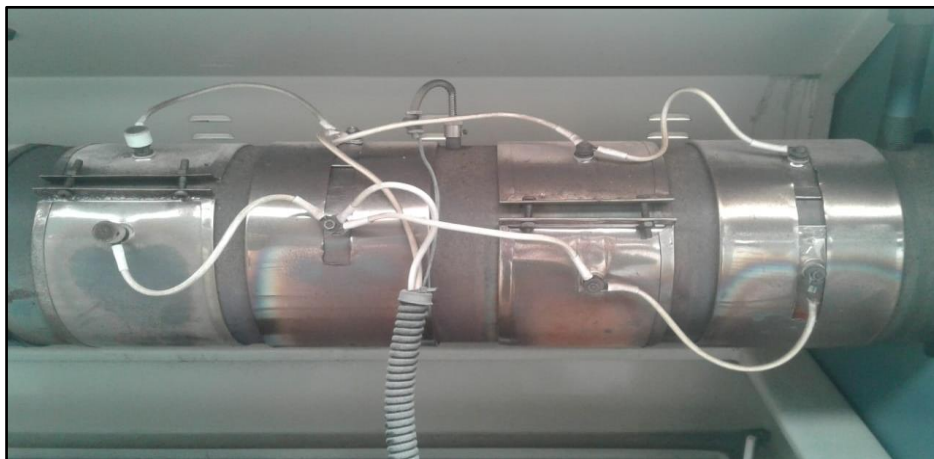


Figure 11: Résistance de chauffe

On trouve 17 zones de chauffe distribuée comme la montre la figure suivante :

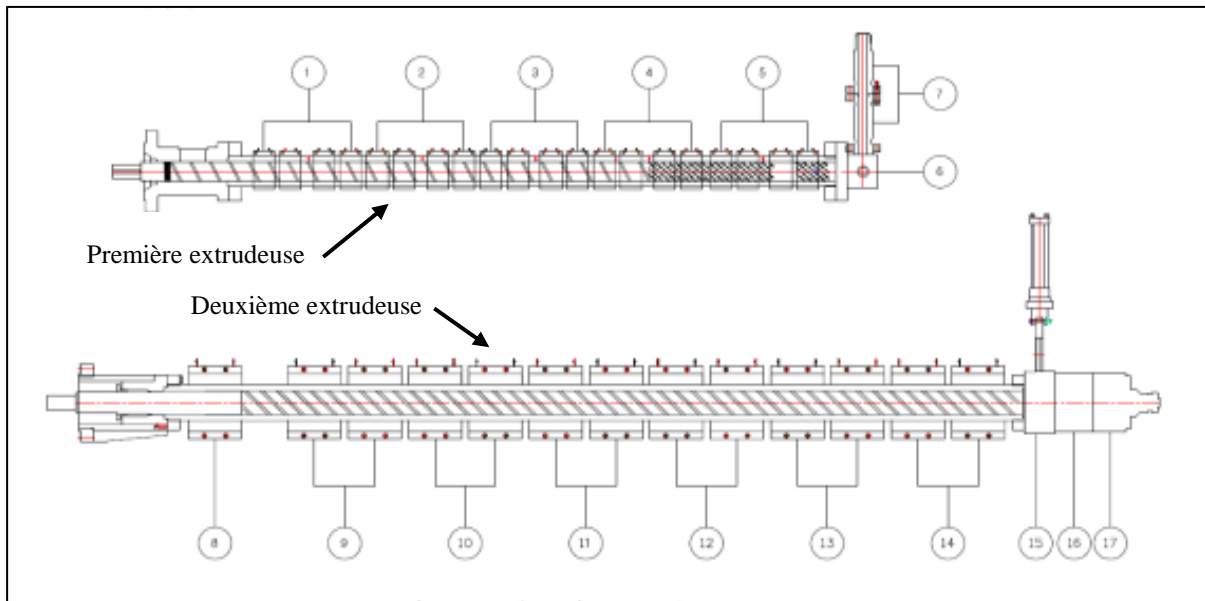


Figure 12: Zones de chauffage

La température doit arriver à 186 °C pour que le polymère restant fond, voici un tableau qui donne la température dans les différents points de chauffe :

Zone	Temp.	Zone	Temp.	Zone	Temp.	Zone	Temp.
1	160 °C	6	190 °C	11	185 °C	16	185 °C
2	175 °C	7	188 °C	12	185 °C	17	185 °C
3	190 °C	8	120 °C	13	185 °C		
4	190 °C	9	185 °C	14	185 °C		
5	190 °C	10	185 °C	15	185 °C		

b. Production normale

Quand la température arrive à la consigne voulue (186 °C), les vis tournent et le polymère commence à sortir, ainsi pour avoir des rouleaux de mousse conforme durant la production, il faut refroidir les zones de la deuxième extrudeuse en faisant circuler de l'eau froide à travers des anneaux attachés à chaque zone de chauffe.

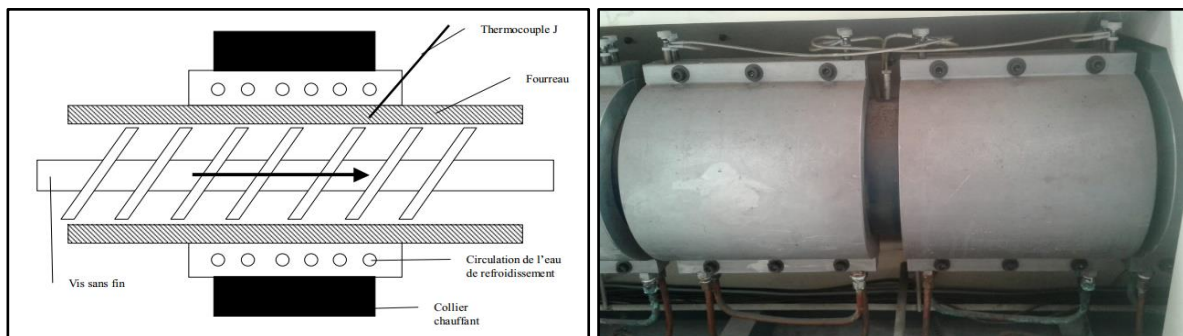


Figure 13: Zone de la deuxième extrudeuse

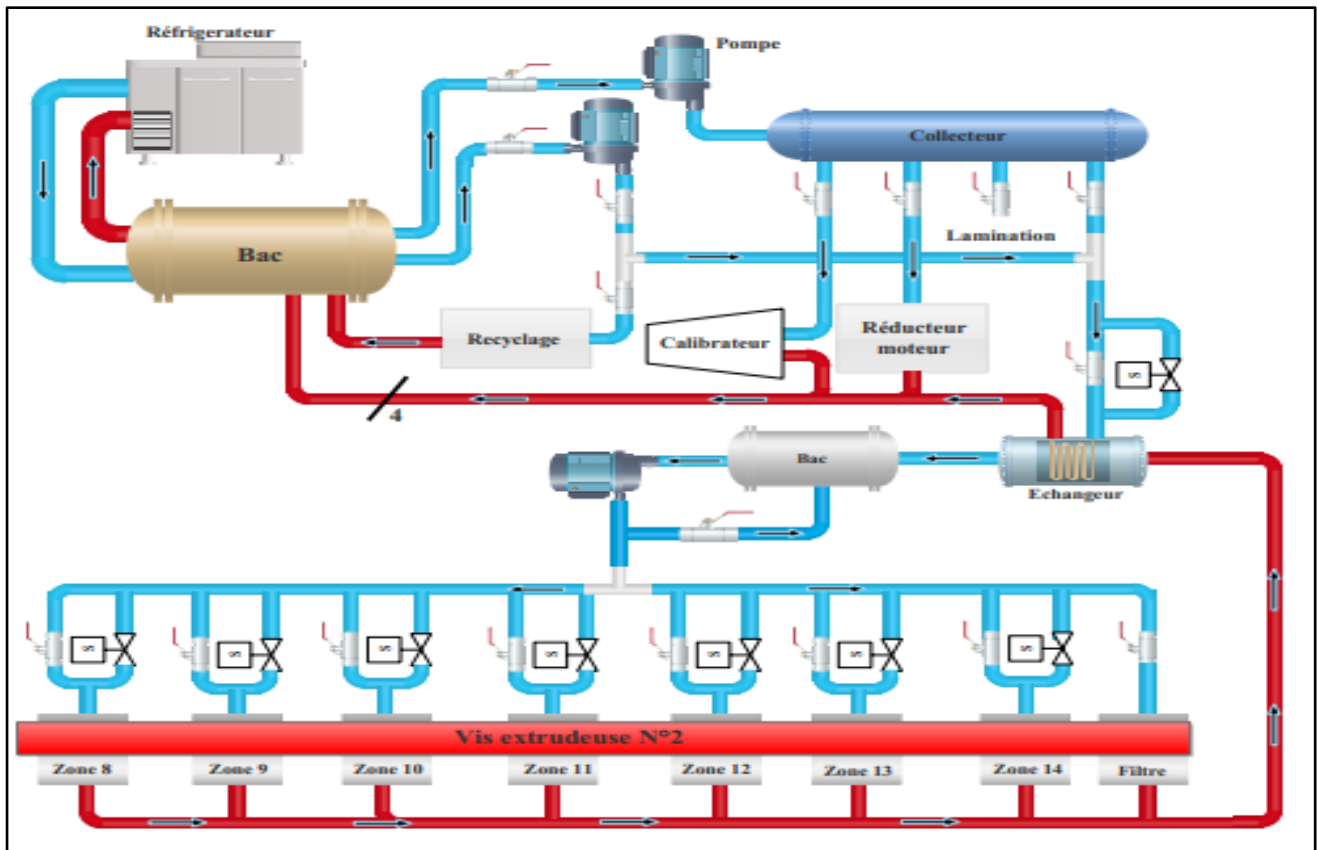


Figure 14: Circuit de refroidissement

Le tableau suivant indique les températures dans chaque zone pendant la production normale :

Zone	Temp.	Zone	Temp.	Zone	Temp.	Zone	Temp.
1	160 °C	6	190 °C	11	81 °C	16	95 °C
2	180 °C	7	190 °C	12	80 °C	17	95 °C
3	185 °C	8	65 °C	13	80 °C		
4	190 °C	9	165 °C	14	80 °C		
5	190 °C	10	105 °C	15	95 °C		

III. Problématique

1. Enoncée de la problématique :

Pour pouvoir profiter d'une bonne production de mousse, la maîtrise de la température joue un rôle primordial pour avoir une mousse de polyéthylène extrudée avec une bonne qualité. Dans le cas de notre extrudeuse, la température de production n'est pas maîtrisée, ce qui donne pour des températures très élevées la décomposition et la déformation du produit après réception (viscosité trop faible ne permettant plus son maintien), le produit ne possède plus de bonnes caractéristiques mécaniques. Et pour des températures très basses, Le produit est froid, n'est plus flexible et ne sort pas complètement de la filière.

2. Relevé de température

Durant le déroulement de mon stage, j'ai effectué un suivi de température qui nous aidera par la suite à trouver les anomalies qui perturbent le bon fonctionnement de l'extrudeuse.

Temps		08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Zone 2	Consigne	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
	Valeur	188	188	188	189	189	189	190	190	188	186	189	189
Zone 3	Consigne	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188
	Valeur	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188
Zone 4	Consigne	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Valeur	189	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Zone 5	Consigne	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Valeur	190	190	190	190	190	190	190	189	190	190	190	190
Zone 6	Consigne	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188
	Valeur	188	189	188	189	188	188	188	188	189	188	188	188
Zone 7	Consigne	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
	Valeur	187	187	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Zone 8	Consigne	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	Valeur	85	85	84	85	85	85	86	86	90	92	86	87
Zone 9	Consigne	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Valeur	150	150	151	152	152	152	152	154	154	156	151	151
Zone 10	Consigne	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	Valeur	150	151	151	151	152	152	152	152	154	156	151	150
Zone 11	Consigne	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	Valeur	110	110	111	110	111	111	111	111	111	114	111	111
Zone 12	Consigne	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	Valeur	88	88	88	88	89	89	89	89	92	92	89	89
Zone 13	Consigne	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	Valeur	93	93	93	93	93	93	94	94	96	96	94	94
Zone 14	Consigne	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
	Valeur	89	89	88	88	88	88	89	89	90	92	85	88
Zone 15	Consigne	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	Valeur	98	99	98	98	98	98	98	98	99	99	98	98
Zone 16	Consigne	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	Valeur	99	99	99	99	99	99	100	100	100	101	100	100
Zone 17	Consigne	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	Valeur	98	98	98	98	98	98	98	98	98	99	98	98
Résine	Consigne	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Valeur	90	90	90	91	91	91	92	92	92	91	91	91

Tableau 1: Relevé de température

On voit que les températures dans les zones au début de la deuxième extrudeuse (zone 8 à 13) sont très élevées de leurs consignes,

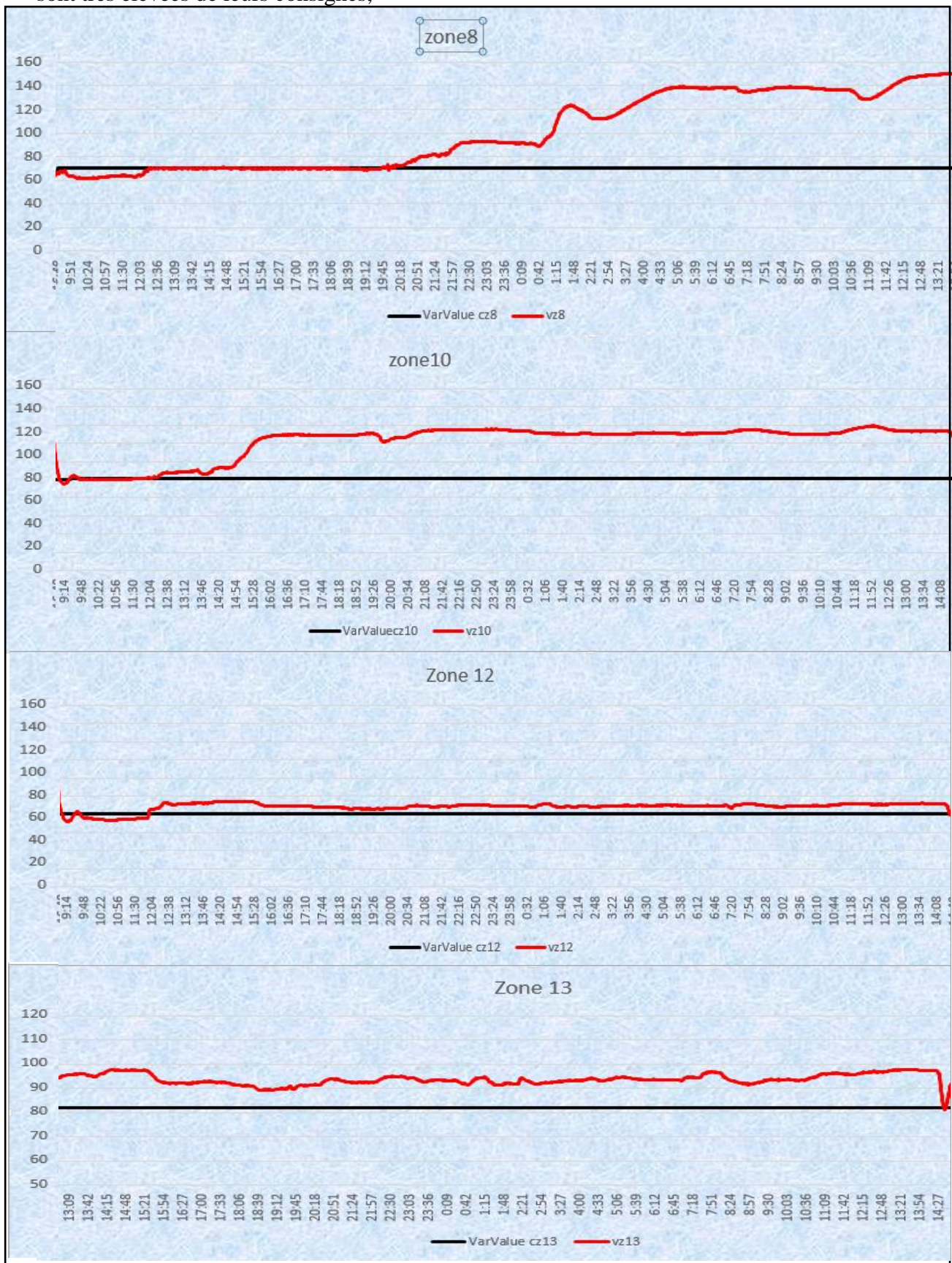


Figure 15: Variation de température de quelque zone de chauffe

3. Cahier de charge

Pour maîtriser la température dans les zones de l'extrudeuse, le chauffage est réalisé par des résistances de chauffe qui sont commandé à travers un automate programmable, cependant, le refroidissement des zones de l'extrudeuse est commandé à travers des vannes manuelles qui contrôle le débit d'eau froid qui alimente les anneaux de refroidissement dans chaque zones, par conséquent la température dans l'extrudeuse n'est pas maîtrisé à la valeur voulue, ce qui affecte la qualité de la mousse extrudé.

C'est dans ce cadre que s'inscrit mon projet de fin d'études « **Maitrise et régulation de la température aux zones de l'extrudeuse** ».

Travaux à faire :

- ✓ Réaliser un bilan thermique du circuit de refroidissement.
- ✓ Vérifier le fonctionnement des électrovannes.
- ✓ Concevoir un système de régulation pour commander les électrovannes afin de maîtriser la température dans la deuxième extrudeuse.

Chapitre III

Bilan thermique

I. Généralités sur le bilan thermique

1. Définition

Le bilan thermique, est un bilan des quantités de chaleur entrant et sortant d'une installation industrielle et tenant compte des transformations et changements d'état de la matière. C'est une opération très technique qui ne peut être effectuée que sur une installation fonctionnant en régime stable. Elle comprend un grand nombre de mesures (débits, températures, analyses des matières, gaz et combustibles) sur une période continue, pour obtenir des résultats fiables.

2. But

Le bilan thermique sert à donner une image instantanée du fonctionnement de l'installation par l'évaluation et la quantification des différents postes. La comparaison des bilans permet de suivre les progrès de fonctionnement et les améliorations techniques, ou de localiser les causes d'anomalies et de dérives.

3. Bilan thermique simple

Ce type de bilan peut être utilisé pour la plupart des procédés. On peut prendre l'exemple d'un échangeur de chaleur où circulent sans être en contact un fluide froid liquide et un fluide chaud. Le fluide chaud subit donc un changement d'état (condensation par exemple). Le but recherché est de déterminer les puissances thermiques consommées. On définit le système comme étant constitué du fluide froid et du fluide chaud dans leur traversée de l'échangeur. Les fluides froid et chaud sont respectivement définis par les grandeurs suivantes : débits massiques (m' et m), chaleurs massiques moyennes (CP' et CP) et températures d'entrée ($T0'$ et $T0$) et de sortie ($T1'$ et $T1$).

4. Les transferts de chaleur

Par définition, un transfert de chaleur ou transfert thermique entre deux corps est une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre les deux corps.

On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

- La conduction thermique ou diffusion thermique.
- Le rayonnement thermique
- La convection

Ces trois modes sont régis par des lois spécifiques et font ainsi l'objet de chapitres différents, cependant strictement parlant, seuls la conduction et le rayonnement sont des modes fondamentaux de transmission de la chaleur ; la convection, tout en étant très importante, ne fait que combiner la conduction avec un déplacement de fluide.

En outre il est rare qu'une situation particulière ne concerne qu'un seul mode : le plus souvent deux sinon trois modes entrent en jeu. Il sera donc nécessaire de poser correctement les problèmes pour prendre en compte ces différents mécanismes. N'oublions pas qu'un autre mode de transfert, qui ne fera pas l'objet ici d'étude, existe : il s'agit des changements d'état.

- **La conduction**

La conduction est définie comme étant le mode de transmission de la chaleur (ou l'échange d'énergie interne) provoquée par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux ou encore entre deux milieux en contact physique. (gradient de température dans un milieu).

Dans la plupart des cas, on étudie la conduction dans les milieux solides, puisque dans les milieux fluides (c'est-à-dire liquide ou gazeux), il y a souvent couplage avec un déplacement de matière et donc mécanisme de convection. La conduction est le seul mécanisme intervenant dans le transfert de chaleur dans un solide homogène, opaque et compact.

La conduction s'effectue de proche en proche :

Si on chauffe l'extrémité d'un solide il y a transfert progressif.

Si on coupe le solide, on stoppe le transfert.

Exemple : Barre de métal chauffée à l'une de ces extrémités.

On comprend donc intuitivement que la conduction a une origine microscopique. Il s'agit d'un mécanisme de diffusion de la chaleur.

- **Le rayonnement**

Le rayonnement thermique peut être considéré comme un cas particulier du rayonnement électromagnétique. L'exemple le plus simple est celui du rayonnement solaire.

Le rayonnement thermique est le mode de transmission par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température à un autre plus froid sans nécessité de support matériel. C'est donc le seul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide.

Le rayonnement thermique ne diffère des autres ondes électromagnétiques, comme les ondes hertziennes par exemple, que par son origine : la température. En effet tout corps rayonne tant que sa température est différente de 0 K.

Le rayonnement thermique est un phénomène de surface.

- **La convection**

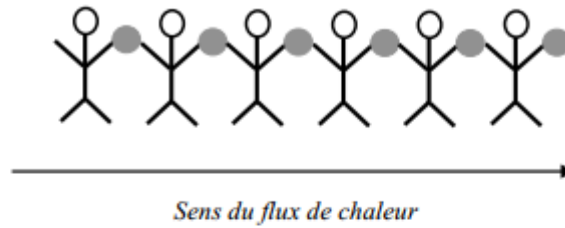
La convection est le mode de transmission qui implique le déplacement d'un fluide gazeux ou liquide (écoulement) et échange avec une surface qui est à une température différente.

Exemple : C'est ce qui se passe le long d'un radiateur. L'air froid s'échauffe au contact du radiateur, se dilate et monte sous l'effet de la poussée d'Archimède. Il est alors remplacé par de l'air froid et ainsi de suite ; il y a existence de courants de fluide dans l'air ambiant.

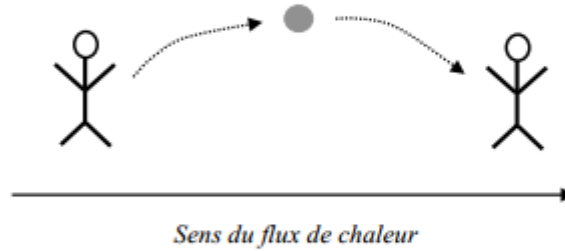
On distinguera la convection forcée (due à l'action d'une pompe, d'un ventilateur, etc., ...) de la convection naturelle (ou libre) dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité, elles-mêmes provoquées par des différences de température.

On peut schématiquement représenter les transferts de chaleur comme décrit ci-dessous :

(a) CONDUCTION



(b) RAYONNEMENT



(c) CONVECTION

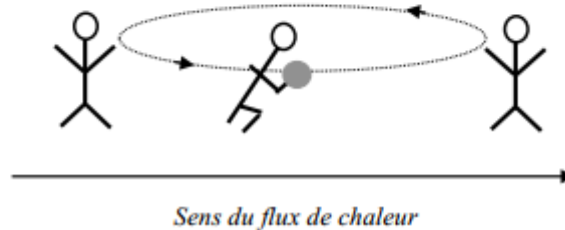
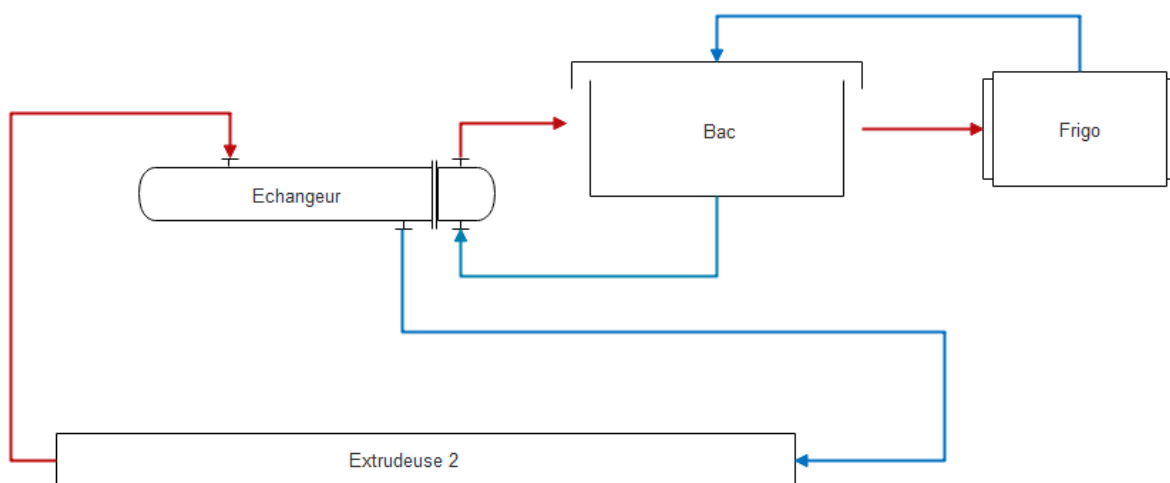


Figure 16: Schémas de principe sur les mécanismes de transferts de chaleur

II. Elaboration du bilan thermique

Notre étude consiste à réaliser le bilan thermique sur le circuit qui permet le refroidissement de la deuxième extrudeuse, le circuit est composé généralement d'un frigo, un bac de stockage et un échangeur ce qui forme 3 boucle d'échange de chaleur.

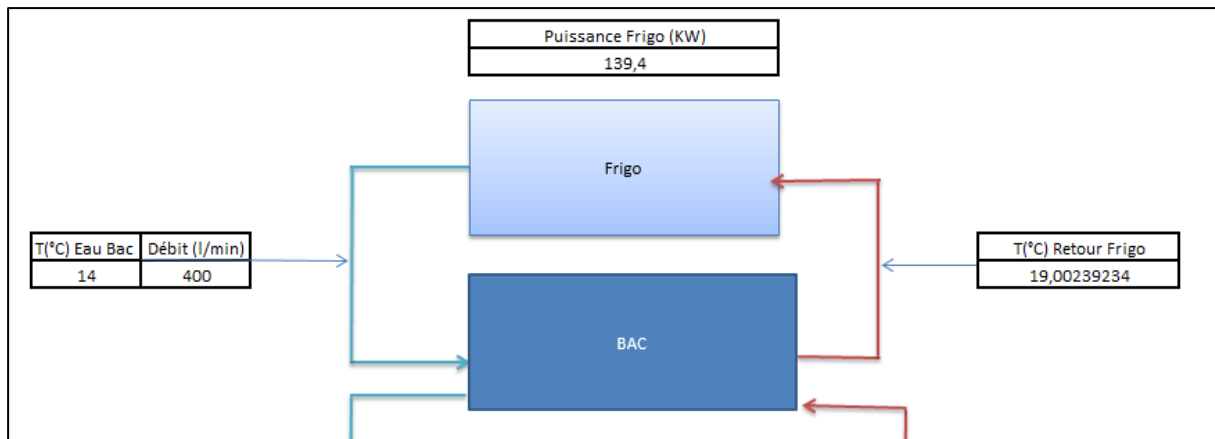


1. Frigo :

Caractéristiques du frigo :

- Puissance frigorifique : 160Kw
- Régime de température 7°/12°
- Débit de la pompe interne 400 L/min

Valeur de température mesuré à l'entrée et la sortie du frigo :



Puissance frigorifique fournie à l'eau :

Définition et formules	Valeurs	
$P = Q_m \cdot C_{eau} \cdot \Delta\theta =$ puissance calorifique échangée par l'eau en W	139500 W	139,5 KW
$Q_m = \rho \cdot Q_v =$ débit massique de l'eau en kg/s	6,6667	
$C_{eau} =$ capacité calorifique massique de l'eau = 4185 J/(kg.°C) = constante caractérisant la capacité du corps à stocker la chaleur	4 185	
$\Delta\theta =$ écart de température en °C lors de l'échange frigorifique	5,0	
$\rho =$ masse volumique en kg/m ³ (1000 kg/m ³ ou 1kg/l pour l'eau, variation négligeable en fonction de la température)	1000	
$Q_v =$ débit volumique de l'eau en m ³ /s	0,0067	400 L/min

2. Réservoir d'eau :

Le réservoir est de forme rectangulaire avec un volume de 6000 Litres et divisé par deux avec une ouverture au niveau bas afin que l'eau puisse passer d'un côté à l'autre. Le premier côté contient de l'eau froide provenant du frigo, et le deuxième côté contient un mélange d'eau froid et d'eau chaude arrivée de l'extrudeuse. Ainsi par effet de convection l'eau chaude ayant une densité inférieure à celle de l'eau froide, il reste dans la partie supérieure du réservoir et aspiré par le frigo pour être refroidi puis ramené une seconde fois au réservoir pour être stocker.

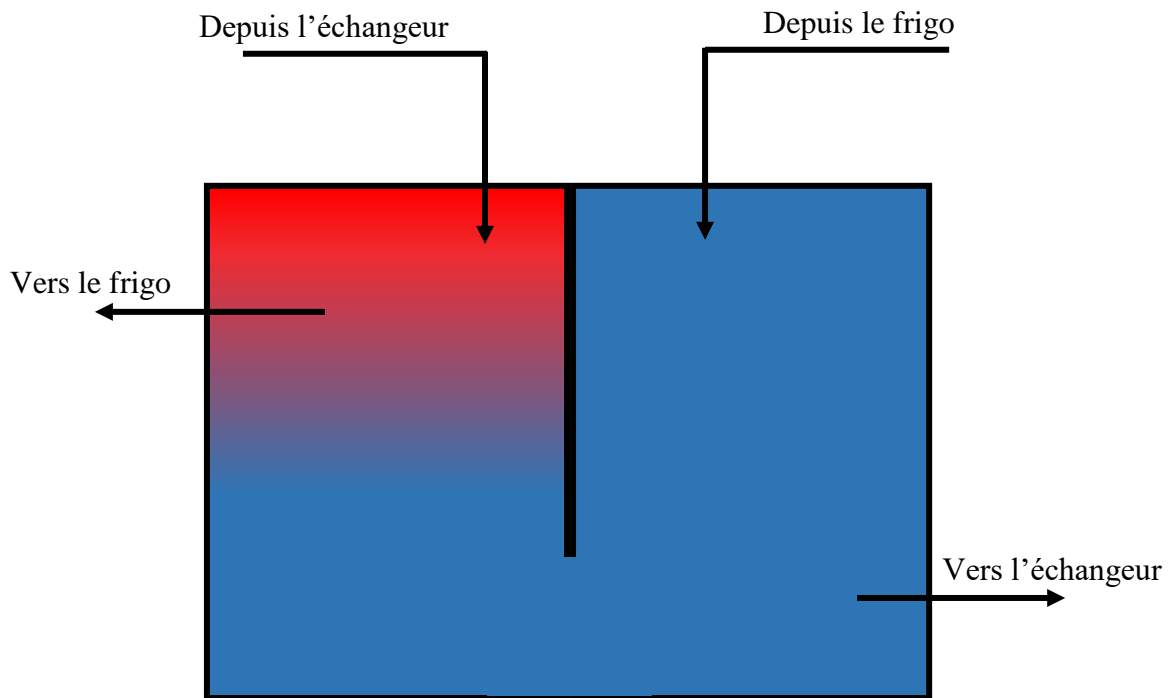


Figure 17: Vue en coupe du réservoir d'eau

La température du bac mesurée est de 13.5°C, lorsque l'eau chaude est versée avec un débit de 400 L/min dans le bac et mélangé avec 600 Litres l'eau froide sa température baisse de quelque degré, Soient M_c et T_c (respectivement M_f et T_f) la masse et la température de l'eau chaude (respectivement froide). En faisant le mélange :

$$c * M_c * (T_c - T_m) = c * M_f * (T_m - T_f)$$

Si T_m est la température finale du mélange, c la capacité calorifique de l'eau. (On pouvait aussi obtenir cette équation en notant que l'enthalpie de l'eau liquide s'écrit $U = M_c * T + Cte$, et écrire que l'enthalpie de l'eau dans la baignoire se conserve (transformation à pression constante d'un système globalement isolé).

On a donc le système d'équations :

$$T_m = \frac{M_c * T_c + M_f * T_f}{M_c + M_f}$$

$$T_m = 0.4 * T_c + 8$$

3. L'échangeur tubulaire

L'échangeur est constitué d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert à l'extérieur des tubes. A chaque extrémité du faisceau sont fixées des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en une ou plusieurs passes. La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide (qui circule à l'extérieur des tubes) suivant le chemin imposé par les chicanes.

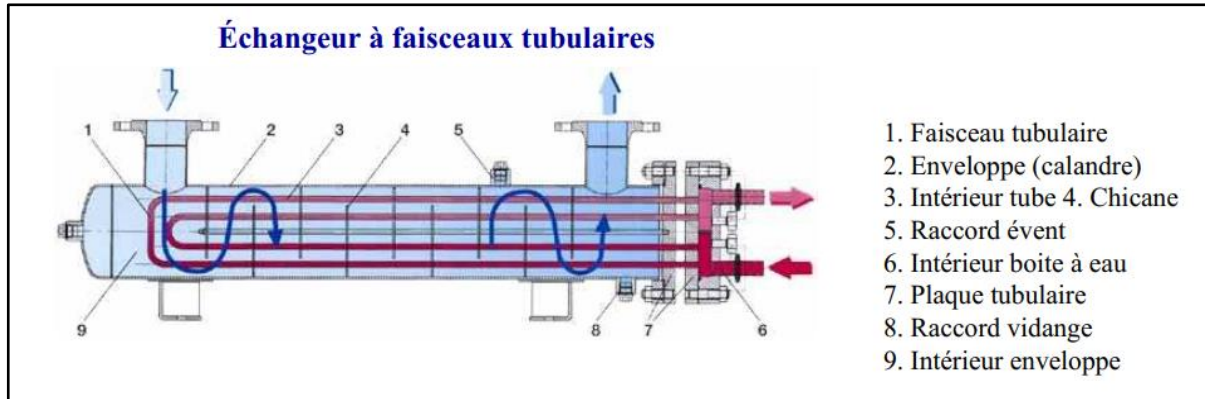


Figure 18: Schéma d'un échangeur tubulaire

L'eau froide arrivant du frigo entre dans les faisceaux tubulaires à une température de 20°C avec un débit de 400 L/min et sort à une température de 22°C . L'eau qui circule dans l'extrudeuse entre à l'intérieur de l'enveloppe de l'échangeur à une température de 28°C et refroidi afin d'obtenir la température de sortie à 20°C puis stocker dans un bac dont sa capacité est de 250 litres.

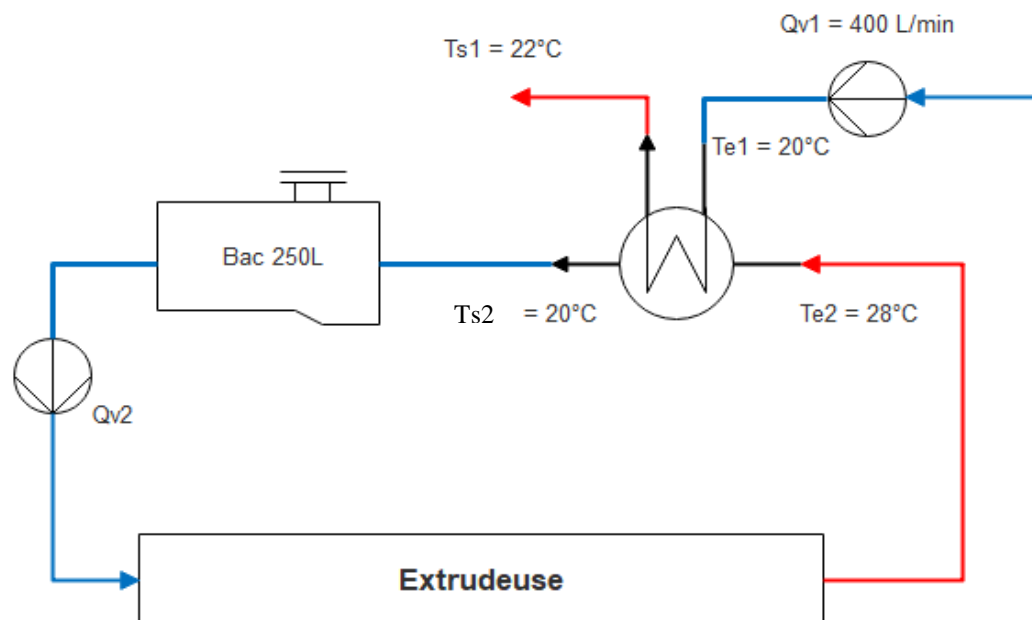


Figure 19: Schéma du circuit de l'échangeur

- Calcul du débit d'eau coté extrudeuse :

Pour calculé le débit d'eau, on estime que le flux de chaleur reçu par l'eau froid et transmis entièrement à l'eau chaud :

$\phi_e = \phi_f$ avec ϕ_e : flux cédé et ϕ_f : flux absorbé.

$$\rho * Qv1 * Ceau * (Ts1 - Te1) = \rho * Qv2 * Ceau * (Te2 - Ts2)$$

D'après cette égalité, on tire le débit d'eau :

$$Qv2 = Qv1 * \frac{(Ts1 - Te1)}{(Te2 - Ts2)}$$

On trouve :

$$Qv2 = 100 \text{ L/min}$$

- La puissance de l'échangeur



Figure 20: L'échangeur de chaleur

La puissance de l'échangeur est donné par :

$$P = \rho * Qv1 * Ceau * (Ts1 - Te1)$$

Avec :

- ρ : masse volumique d'eau (1000 Kg/m³)
- $Qv1$: Débit d'eau dans les tubes de l'échangeur en m³/s
- $Ceau$: Capacité calorifique massique de l'eau (4185 J/Kg.°C)
- $Ts1$: Température d'eau à la sortie de l'échangeur
- $Te1$: Température d'eau à l'entrée de l'échangeur

A.N

$$P = 55.8 \text{ Kw}$$

III. Phase de dimensionnement thermique

1. Problème thermo hydraulique

Dans l'industrie des échangeurs de chaleur, les problèmes relevant de la thermohydraulique concernent avant tout le dimensionnement thermique des appareils.

La complexité du problème de calcul thermique des échangeurs vient de plusieurs facteurs qui sont :

- la **grande diversité des appareils** (échangeurs tubulaires, à plaques, etc.) ;
- la **variété des régimes d'écoulement** : simple phase en régime laminaire ou turbulent, avec ou sans effet de convection naturelle, diphasique en évaporation ou en condensation, condensation avec ou sans incondensables, mélanges de fluides, etc. ;
- le **nombre important des configurations d'écoulement**, pouvant aller bien au-delà de deux fluides dans le cas d'un échangeur compact, par exemple.

À cette complexité due à la technologie des appareils et à la nature de la physique des écoulements s'ajoute la difficulté d'écrire un **logiciel** basé sur une méthode de calcul dont on doit parfaitement maîtriser les hypothèses et les paramètres ; il faut donc pour cela :

- définir un modèle d'écoulement lorsque celui-ci est complexe ;
- prendre les corrélations physiques les mieux adaptées ;
- choisir un algorithme pour le problème que l'on se pose, soit de type dimensionnement, soit de type simulation ;
- prendre une méthode numérique fiable assurant une convergence du calcul thermique pour tous les cas spécifiés.

2. Principe de calcul thermique d'un échangeur

La figure 20 illustre, dans son principe, le calcul thermique d'un échangeur en précisant :

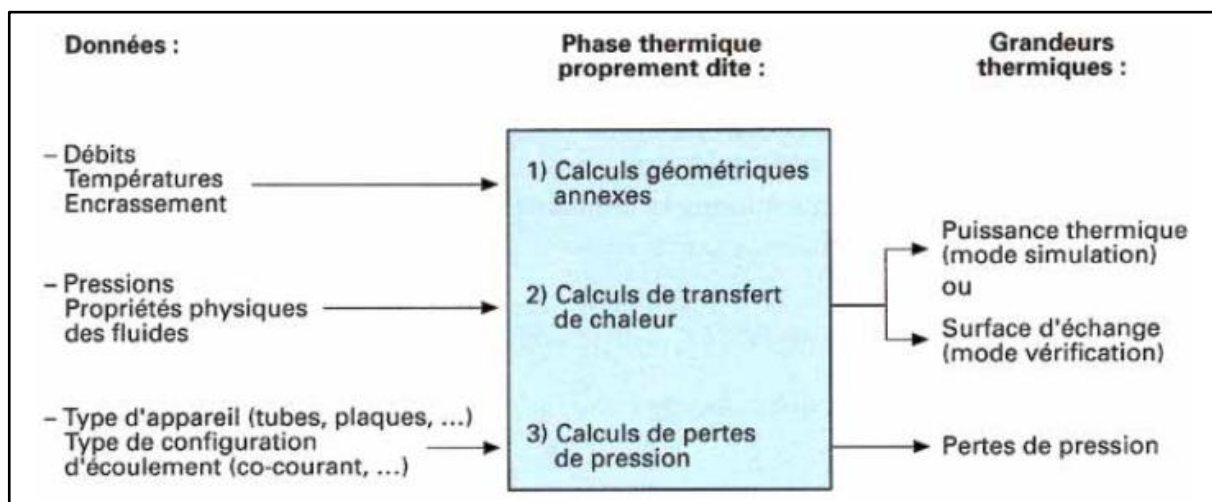


Figure 21: Principe de calcul thermique d'un échangeur

- les **données nécessaires** : données géométriques, de fonctionnement et propriétés physiques des fluides ;
- la **phase thermique proprement dite**, comprenant des calculs géométriques (sections de passage des fluides, diamètres hydrauliques, etc.), puis des calculs de transfert de chaleur et de pertes de pression, nécessitant tous les deux l'appel à des corrélations adéquates ;
- les **résultats**, sous forme succincte (puissance thermique échangée et pertes de pression) ou sous forme plus détaillée (valeurs locales des coefficients d'échange, nombres adimensionnels caractéristiques, etc.).

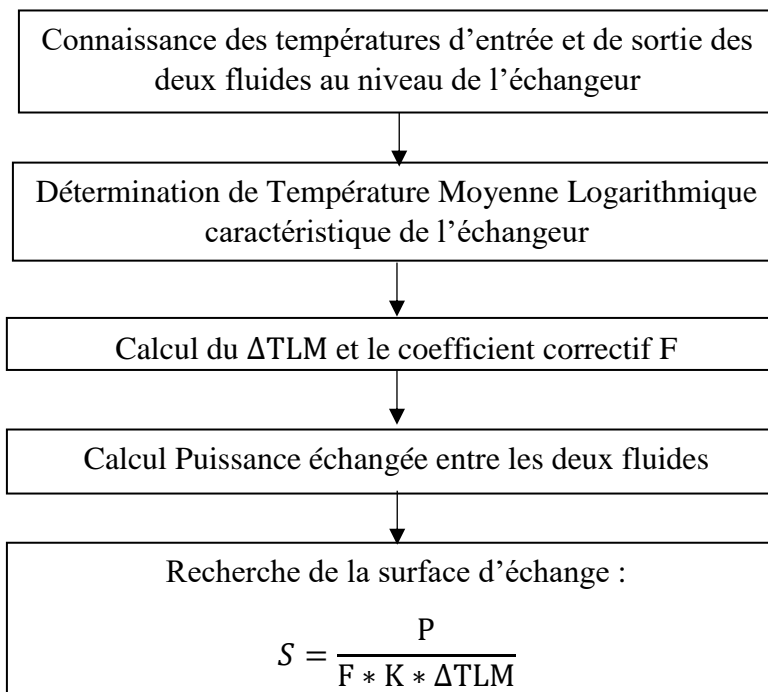
Le calcul thermique d'un échangeur de chaleur peut être abordé de deux façons algorithmiques très différentes :

- par un **mode simulation** : connaissant la géométrie complète de l'appareil, ainsi que les deux fluides et leurs conditions d'entrée, on désire connaître les conditions de sortie des fluides (température, titre de vapeur), d'où *la puissance thermique échangée* ;
- par un **mode vérification** : connaissant les deux fluides et la puissance thermique à transférer entre eux, et ayant par expérience une idée approximative de la géométrie de l'appareil, on cherche à savoir si cet appareil est bien adapté ou non au service demandé. Pour cela, l'algorithme fournit un critère de surdimensionnement (ou de sous-dimensionnement) sous la forme d'un rapport représentant le trop (ou le manque) de *surface d'échange* pour le service demandé.

3. Calcul analytique (Méthode du DTML)

Plusieurs critères sont à considérer pour le dimensionnement d'un échangeur suivant son utilisation. **La puissance thermique** est toujours la principale préoccupation, mais le choix définitif de l'échangeur peut dépendre d'autres paramètres tels que : les pertes de pression, l'encombrement, la masse, l'encrassement, une température de paroi à ne pas dépasser, les matériaux utilisés, etc....

Pour dimensionner un échangeur tubulaire pour notre cas, on a besoin de suivre les étapes suivantes :



- Détermination des températures d'entrée et de sortie des deux fluides.
- Détermination de la surface d'échange S connaissant la puissance échangée et les températures d'entrée et de sortie des deux fluides :

Globalement, la surface d'échange ne peut être calculée qu'en admettant les hypothèses suivantes :

- On définit une température moyenne caractéristique ;
- On suppose constant le coefficient d'échange global K déterminé à la température caractéristique d'échange.

La surface s'obtient par la relation :
$$S = \frac{P}{F \cdot K \cdot \Delta TLM}$$

P : Puissance thermique échangée en KW

F : Facteur correctif

K : Coefficient d'échange global

ΔTLM : Différence moyenne de température entre les deux fluides sur tout l'échangeur.

Dans la pratique, on préfère exprimer cette différence moyenne à partir de la différence moyenne logarithmique d'un échangeur à contre-courant calculée avec les mêmes températures d'entrée et de sortie des fluides, multipliée par un facteur correctif F. Ce facteur correctif F vaut 1 dans le cas d'un échangeur à contre-courant.

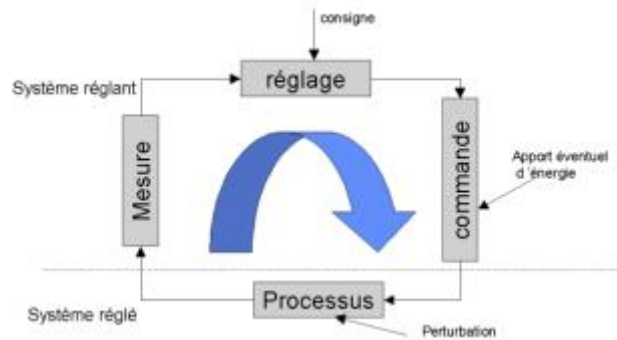
Chapitre IV

Régulation de température

I. Principe de régulation

1. La chaîne de traitement de l'information

Le contrôle de procédé met en œuvre une chaîne d'outils à plusieurs niveaux. Schématiquement, le lien entre le capteur et l'actionneur peut se représenter comme ci-dessus. Le but étant de maîtriser le procédé et, soit de le piloter, soit de l'empêcher d'évoluer en raison de perturbations.



2. Boucle de régulation

- *Étapes nécessaires*

Pour réaliser une *boucle*, ou une chaîne, de régulation, *trois étapes* sont nécessaires :

- l'*observation* de la grandeur à maîtriser, faite par le capteur-transmetteur.
- la *réflexion* sur l'action à entreprendre, qui est fonction de l'écart en rapport avec l'objectif fixé, effectuée par le régulateur.
- l'*action* sur une grandeur incidente, à l'aide d'un actionneur, vanne ou moteur.

- *Régulation en chaîne ouverte*

L'observation n'est pas celle de la grandeur à maîtriser mais celle d'une grandeur incidente (fig. 19.1). La réflexion est l'étape où la commande prend en compte une relation préétablie entre la grandeur observée et la grandeur réglante. L'action modifie alors la grandeur à maîtriser. Cette régulation forme une chaîne ouverte car l'action ne modifie pas la grandeur mesurée.

- *Régulation en boucle fermée*

L'observation se porte sur la grandeur à maîtriser. L'étape de réflexion détermine l'écart entre la consigne et la grandeur à maîtriser. En fonction de cet écart et des règles d'évolution fixées, on en déduit l'action à entreprendre. L'action modifie la grandeur réglante et finalement la grandeur à maîtriser.

Cette régulation forme une *boucle fermée* car l'action modifie la grandeur mesurée. Elle comporte une *contre-réaction* ou *retour* d'information.

3. Régulation et asservissement

- *Régulation de maintien, ou « régulation »*

La mesure doit être *maintenue* à une valeur constante égale à la consigne quelles que soient les perturbations subies par le procédé. La vitesse de rejet de l'effet perturbateur pour une tolérance donnée évalue sa performance.

- *Régulation de poursuite, ou « asservissement »*

La mesure doit *suivre* toute évolution de la consigne. La rapidité d'obtention de la consigne et la valeur du dépassement de celle-ci qualifient sa performance.

En pratique, un asservissement peut subir quelques perturbations et une régulation (de maintien) peut devoir répondre à quelques changements de consigne.

4. Types de régulateurs

- *Régulateurs purement analogiques*

Ce sont les régulateurs mécaniques, pneumatiques, électroniques à base d'amplis opérationnels. Ces techniques, encore très répandues dans l'industrie, tendent à disparaître au profit des techniques numériques.

- *Régulateurs numériques de type analogique*

Ce sont la plupart des régulateurs de tableau. Ils fonctionnent à fréquence d'échantillonnage élevée (période de 100 à 200 ms) quel que soit le processus. Les algorithmes sont simples (essentiellement des PID) et n'utilisent pas les potentialités des algorithmes avancés de l'automatique. Leur comportement est calqué sur celui des régulateurs analogiques. Cependant, grâce aux microprocesseurs, des fonctions additionnelles (autoréglage, auto adaptatif, auto calibration, autotest, etc.) ont pu être rajoutées par rapport aux régulateurs analogiques.

- *Régulateurs purement numériques*

Ces régulateurs sont en général mis en œuvre sur calculateur industriel, automate ou régulateur de tableau haut de gamme. La fréquence d'échantillonnage est choisie en fonction de la bande passante du procédé continu. La capacité de calcul permet d'implémenter des algorithmes plus complexes qu'un PID. Le régulateur est évolutif. Changer de stratégie ou le traitement des mesures, revient à modifier le programme contenu en mémoire sans changer le matériel.

II. Régulateur PID

1. Rôle du régulateur

Le régulateur doit maintenir une mesure égale à une consigne quelles que soient les perturbations subies par le procédé. Le réglage des paramètres de son algorithme dépend des performances attendues en temps de réponse et en précision dynamique lors de ces perturbations, mais aussi des changements de consigne.

2. Action PID

Un régulateur est constitué d'un comparateur pour observer l'écart entre la mesure et la consigne, et d'un correcteur dont l'algorithme permet d'obtenir une loi d'évolution de la mesure du procédé conforme au cahier des charges. Le correcteur a une action PID (Proportionnelle, Intégrale et Dérivée) et, associé à un comparateur, forme un régulateur PID.

- *Action proportionnelle*

Bande proportionnelle L'action proportionnelle est réglée, au choix du fabricant, soit par :

- le coefficient d'amplification, noté A , aussi appelé « gain » et noté K_r ou G_r .
- la bande proportionnelle (BP ou XP) exprimé en pourcentage : $BP(\%) = 100/A$.

- *Action intégrale*

Coefficient d'action intégrale L'action intégrale est réglée, au choix du fabricant, soit par :

- la constante de temps d'action intégrale, notée T_i , exprimée très souvent en minute ;
- le coefficient ou taux d'action intégrale K_i , exprimé en min^{-1} : $K_i = 1 / T_i$.

- *Action dérivée*

Coefficient d'action dérivée L'action dérivée est réglée par la constante de temps d'action dérivée, notée T_d , exprimée en seconde.

3. Effet des actions PID

<i>Action</i> <i>Étendue de réglage</i>	<i>Effets de chaque action</i>
<p>P G ou A : de 0,1 à 1 000 ou BP : de 1 000 % à 0,1 %</p>	Permet de réduire l'écart statique Plus l'action est grande (G_r grand ou BP petite) plus l'écart est réduit. Plus l'action est forte, plus les oscillations sont importantes durant les phases transitoires. Un excès d'action conduit à l'instabilité de la boucle.
<p>I T_i : de 0,02 à 200 min ou K_i : de 100 à 0,005 min^{-1}</p>	Permet de supprimer l'écart statique. Plus la constante T_i est petite plus l'action intégrale est forte. Une action excessive (T_i trop petit ou K_i trop grand) conduit à une instabilité de la boucle (augmentation du déphasage).
<p>D T_d : de 0 à 2000 s</p>	Plus la constante T_d est grande plus l'action dérivée est forte. L'action dérivée, bien dosée, permet de : <ul style="list-style-type: none"> – réduire le dépassement ou les oscillations obtenus en action proportionnelle seule, d'accélérer la réponse de la mesure, – d'améliorer la stabilité de la boucle (apport d'avance de phase).

III. Régulation de température

1. Définition du processus et des entrées/sorties

Schéma de principe de régulation de température dans une zone de l'extrudeuse :

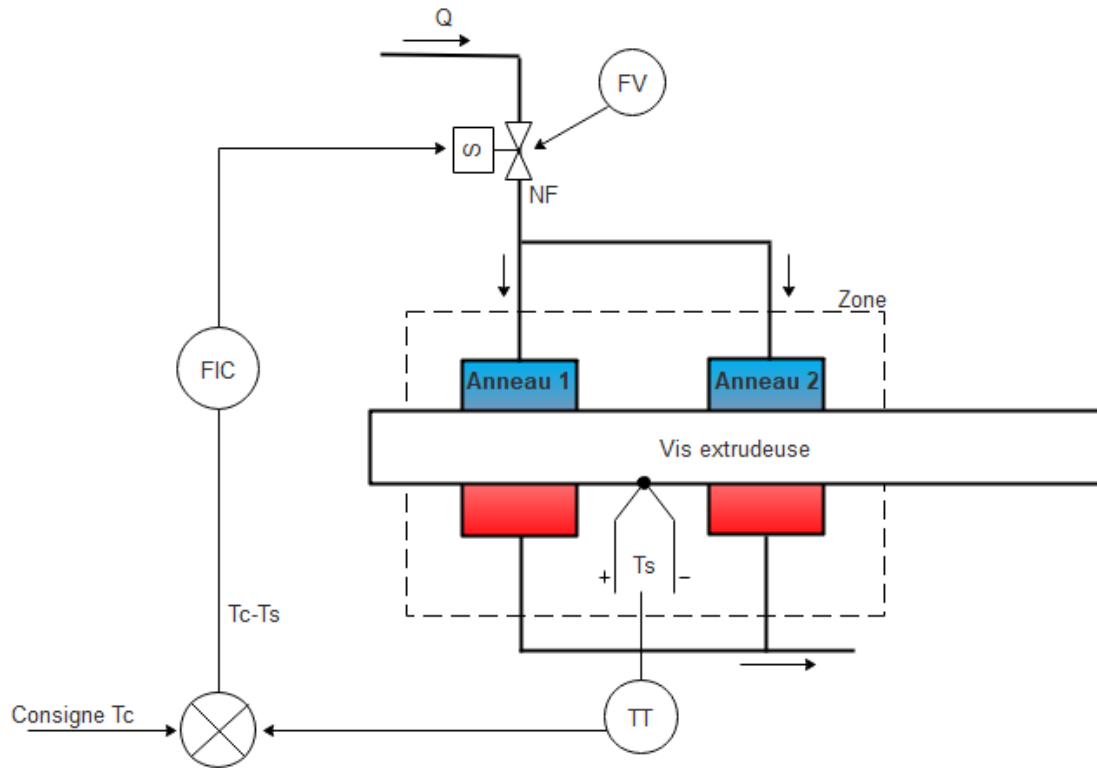


Figure 22: Schéma de principe de régulation

Tc : température de consigne

Ts : température de sortie

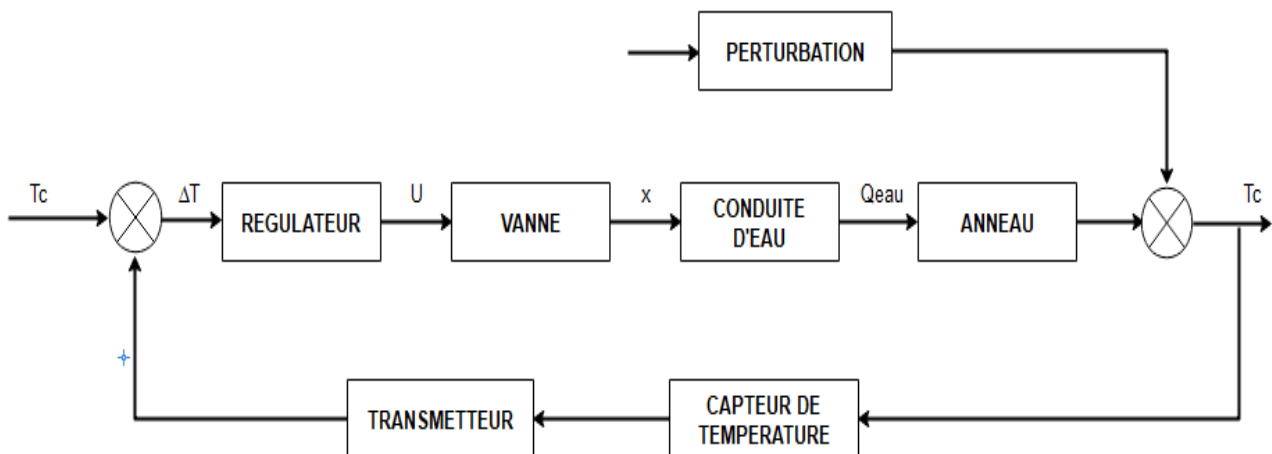
TT : transmetteur de température

FIC : régulateur indicateur de débit

FV : vanne de débit

NF : normalement fermé

- Schéma fonctionnel du système de régulation



- Définition des entrées-sorties (E/S) :

On définit d'abord les entrées-sorties, c'est à dire fixer les variables à régler, réglantes et de perturbations

- $T_s(t)$ - Grandeur de sortie (température à la sortie - c'est la grandeur à régler)
- $Q_{eau}(t)$ - Grandeur d'entrée (Débit d'eau de refroidissement - Grandeur réglante)

Il existe aussi des perturbations (Débit et température de la matière extrudé, température ambiante etc...) que nous considérons comme constantes.

- x : déplacement du clapet de l'électrovanne
- U : sortie du régulateur

Notons toutefois que les critères de performances classiques peuvent se résumer comme suit :

- **Stabilité** : Cette condition est impérative mais avec un certain degré de stabilité (marge de sécurité). En général on impose une marge de gain de 2 à 2.5. L'utilisateur parle en termes de «pompage».
- **Précision** : L'exploitant demande à ce que le système possède une bonne précision en régime permanent d'où une nécessité de mettre un PI régulateur ou d'afficher un gain important dans le cas d'un P régulateur.
- **Rapidité** : On demande en pratique que le système soit capable rapidement de compenser les perturbations et de bien suivre la consigne.
- **Dépassement** : En général on recommande un SRA dont le régime transitoire soit bien amorti et dont le dépassement ne dépasse pas 5 à 10% la valeur nominale.

Dans notre cas, on exige à ce que la température de sortie soit égale à celle de consigne et que les perturbations soient entièrement compensées.

2. Identification du processus

▪ Définition de l'identification

L'identification d'un système c'est la détermination de son modèle mathématique sur la base des observations expérimentales entrées-sorties. Le traitement mathématique des réponses graphiques du système est appelé *IDENTIFICATION*. Le modèle obtenu est dit de conduite ou de représentation.

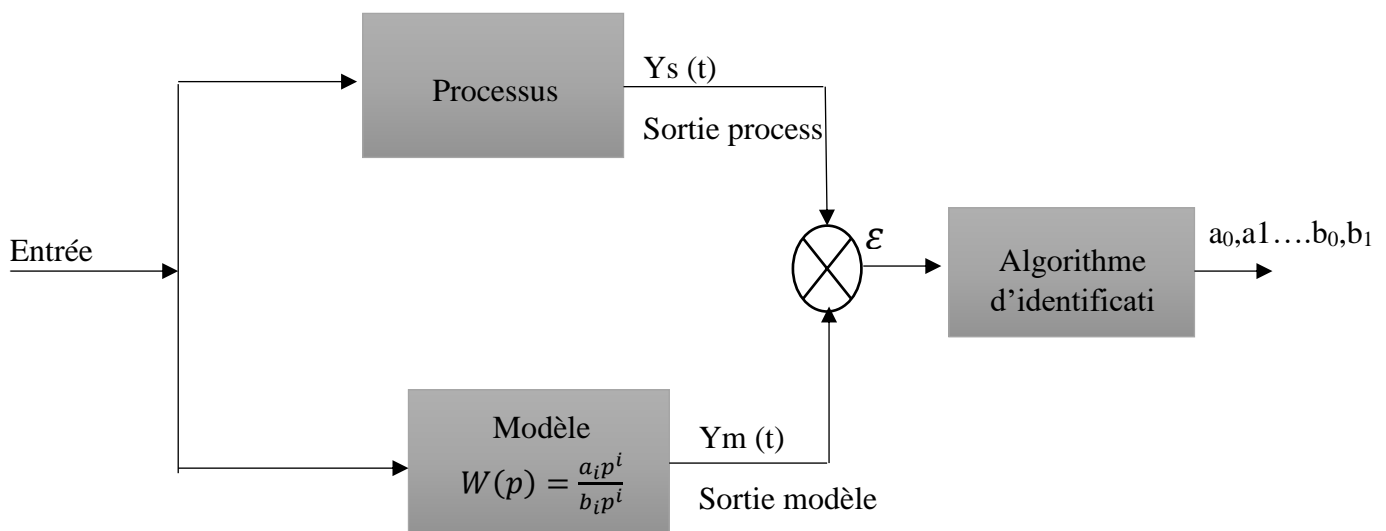
▪ Principe : L'identification du système comporte trois étapes :

Etape qualitative : Sur la base d'une connaissance à priori du système à identifier, on fixe une structure du modèle comportant des coefficients inconnus.

Etape quantitative : Elle consiste à la détermination des coefficients inconnus du modèle de façon que la différence entre les N sorties réelles du système et celles du modèle soit minimale selon un critère donné qu'on résout par un algorithme d'identification.

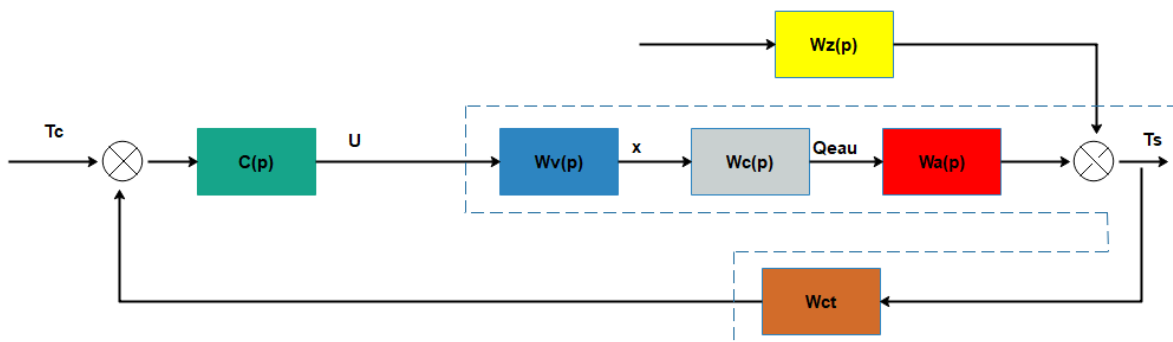
$$\text{Si } W(p) = \frac{a_i p^i}{b_i p^i}, \text{ déterminer } a_i \text{ et } b_i \text{ tel que } \sum Ys(i) - Ym(s) \Rightarrow \text{minimal}$$

Vérification du modèle :



▪ Problématique pour le système étudié

Logistique



Déterminer les fonctions de transfert selon les canaux



▪ *Identification d'un élément de premier ordre*

On utilisera les méthodes de base. les méthodes s'appuyant sur les propriétés graphiques des réponses fondamentales (indicielle harmonique et impulsionnelle). Ces méthodes sont très utilisées par les spécialistes de régulation et des servomécanismes car elles fournissent une précision suffisante et ne nécessitent pas l'utilisation d'un outil mathématique compliqué. On peut traiter aussi bien la réponse indicielle, impulsionnelle qu'harmonique, mais l'un des signaux d'excitation le plus fréquent à mettre en œuvre est l'entrée en échelon. L'amplitude de l'échelon doit être choisie telle que le système ne sorte pas du domaine linéaire d'une part et les observations mesurables d'autre part.

Méthodologie :

- Dans un système de régulation en fonctionnement, le correcteur est d'abord mis en fonctionnement manuel. On attend que le système soit bien stabilisé
- On applique au système un signal en échelon de + ou - 10% de la valeur nominale de fonctionnement (afin de ne pas trop perturber le système) L'échelon d'entrée peut représenter le déplacement du clapet de la vanne. La réponse est enregistrée à la sortie du transmetteur dont la vitesse du déplacement du papier diagramme doit être choisie de façon que la réponse soit exploitable. Le modèle de conduite (ou la fonction de transfert) à déterminer du traitement de la réponse graphique décrit l'ensemble des systèmes (vanne, objet, capteur, transmetteur)

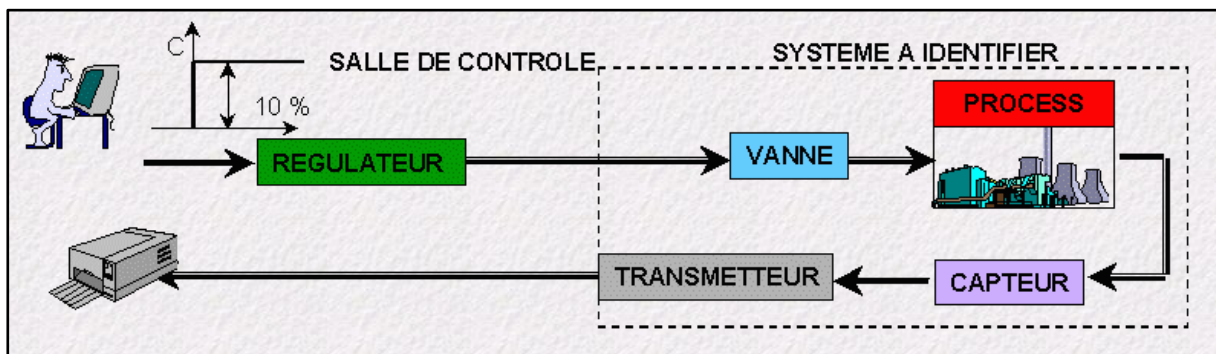


Figure 23: Identification d'un élément de premier ordre

3. Méthode Broïda : identification de la dynamique de la zone

- **Procédure expérimentale**

Prévoir l'enregistrement des signaux de mesure X et de commande Y. Le régulateur étant en mode manuel, agir sur la commande de l'organe réglant pour amener la mesure autour du point de fonctionnement désiré.

Lorsque la mesure est stabilisée, appliquer un échelon de commande ΔY sur l'organe réglant et vérifier que la mesure se stabilise dans la zone proche du point de fonctionnement. La valeur de l'échelon ΔY doit être limitée (environ 2 % ou 5 %) pour que le procédé reste en fonctionnement linéaire, mais suffisant pour que l'enregistrement soit exploitable.

- **Identification de broïda**

- Relevés expérimentaux

Sur la courbe, figure 24 : mesurer X, calculer puis reporter $0,28 \cdot X$ et $0,40 \cdot X$ afin de mesurer t_1 et t_2 .

- Détermination du modèle de Broïda

Le procédé est représenté par le modèle de Broïda :

$$H(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{G * e^{-\tau p}}{Tp + 1}$$

Gain statique : $G_s = X/Y$

Constante de temps : $T = 5,5 \cdot (t_2 - t_1)$

Retard ou Temps mort : $\tau = 2,8 \cdot t_1 - 1,8 \cdot t_2$

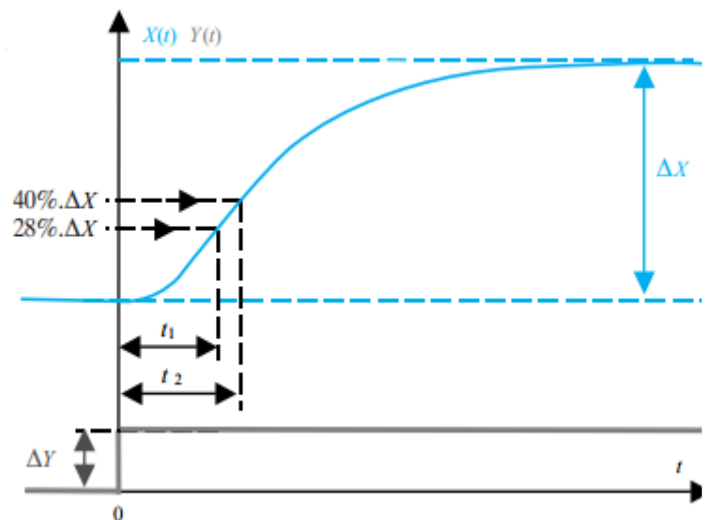


Figure 24: Méthode de broïda

- **Choix de la régulation – indice de réglabilité**

La difficulté de réguler un procédé est d'autant plus grande, pour une constante θ donnée, que le retard τ est grand. Il est donc naturel de mettre en œuvre un régulateur d'autant plus riche en action que le procédé comporte un rapport $\theta \tau$ petit. Que le modèle de Broïda ait été établi par calcul ou par identification expérimentale, le graphe suivant guide sur le **choix de la régulation** en fonction du rapport $\theta \tau$, correspondant à un **indice de réglabilité**.

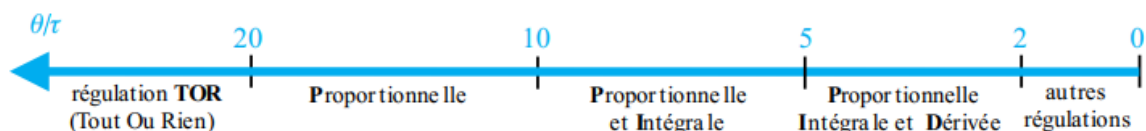


Figure 25: Guide sur la régulation à appliqué

▪ **Expérimentation**

Pour identifier la fonction de transfert du procédé, on règle le régulateur en mode manuel, et on provoque un échelon sur la commande de la vanne. L'enregistrement obtenu est donné figure 26. Où la commande est indiquée en pourcentage.

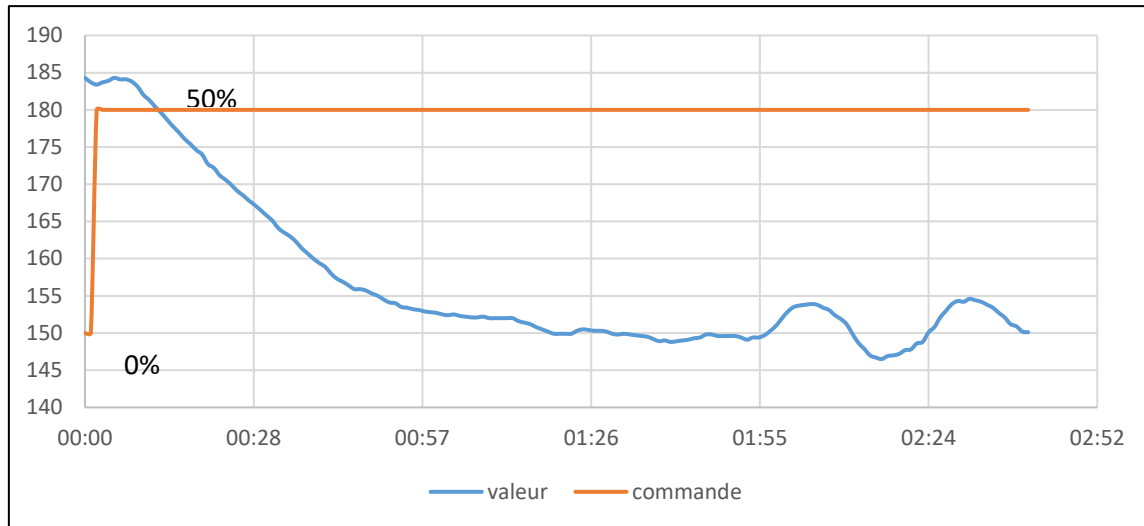


Figure 26: Enregistrement de la réponse du procédé

La méthode de Broïda est une méthode d'identification en boucle ouverte d'une réponse indicielle expérimentale, qui consiste à assimiler la fonction de transfert d'un système d'ordre n à celle du premier ordre affectée d'un retard pur .

$$G(p) = \frac{G}{1 + Tp} * e^{-\tau p}$$

Le problème d'identification consistera donc à déterminer les paramètres suivants **T**, Constante du temps (sec.), Temps de retard pur (sec.).

Afin de déterminer des valeurs de ces paramètres, Broïda fait correspondre la réponse indicielle à identifier et la fonction de transfert du 1er ordre affectée d'un retard en deux points t_1 et t_2 d'ordonnées correspondant à 28% et 40% de la valeur finale de la sortie du système.

Il suit de cette hypothèse, les systèmes d'équation suivants :

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - e^{-\frac{(t_1 - \tau)}{T}} = 0.28 \\ 1 - e^{-\frac{(t_2 - \tau)}{T}} = 0.4 \end{array} \right. \Rightarrow \tau = 2.8 * t_1 - 1.8 * t_2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - e^{-\frac{t_1}{T}} = 0.28 \\ 1 - e^{-\frac{t_2}{T}} = 0.4 \end{array} \right. \Rightarrow T = 5.5 * (t_2 - t_1)$$

A.N :

Avec $t1 = 16 \text{ min}$ et $t2 = 21 \text{ min}$

On trouve :

$$\tau = 2.8 * t1 - 1.8 * t2 = 7 \text{ min}$$

$$T = 5.5 * (t2 - t1) = 27.5 \text{ min}$$

$$G = \frac{\frac{\Delta X}{\Delta X_{max}}}{\frac{\Delta U}{\Delta U_{max}}} = \frac{\frac{35}{185 - 20}}{50\%} = \frac{21\%}{50\%} = 0.42$$

Le model est :

$$G(p) = \frac{0.42}{1 + 27.5p} e^{-7p} = \frac{0.42}{(1 + 27.5p)(1 + 7p)}$$

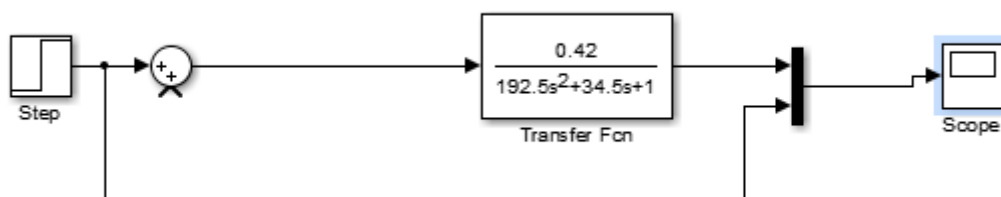
$$G(p) = \frac{0.45}{1 + 34.5p + 192.5p^2}$$

4. Simulation sur Matlab-Simulink

Afin d'analyser aussi l'influence du retard sur les performances du système, on insère sur le schéma de simulation un bloc de retard pur (Transport delay).

Le bloc PID controller MASK Controller est donné sous forme : $P+I/s+Ds$ où P est le gain K_r , I le temps d'intégration T_i et D l'action dérivée T_d alors que s est l'opérateur de Laplace. Si on souhaite afficher les paramètres du régulateur série de fonction de transfert donnée sous la forme $C(p) = K_r[1+1/(T_i.p) + T_d p]$ alors P correspond à K_r , I correspond à K_r/T_i , et D correspond à $K_r * T_d$.

- Schéma fonctionnel du système à réguler en boucle ouverte



- Réponse du système en boucle ouverte

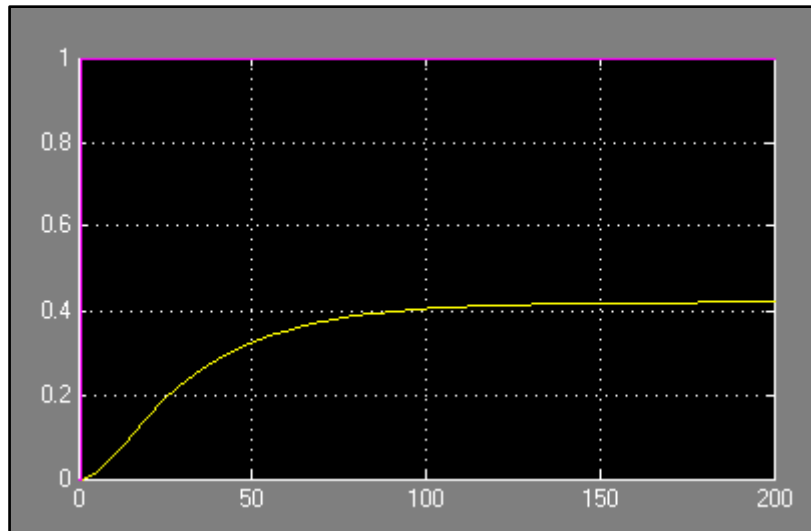
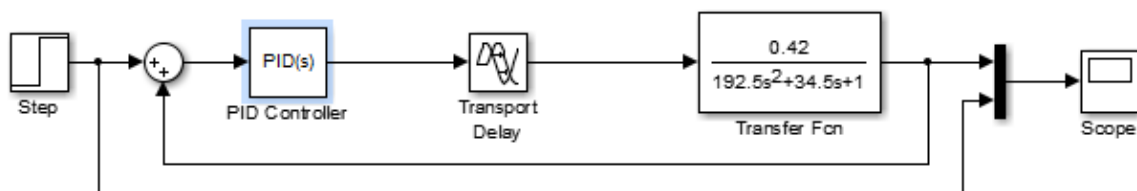


Figure 27: Réponse en boucle ouverte

- Schéma fonctionnel du système à réguler en boucle fermé



- Réponse du système en boucle fermé

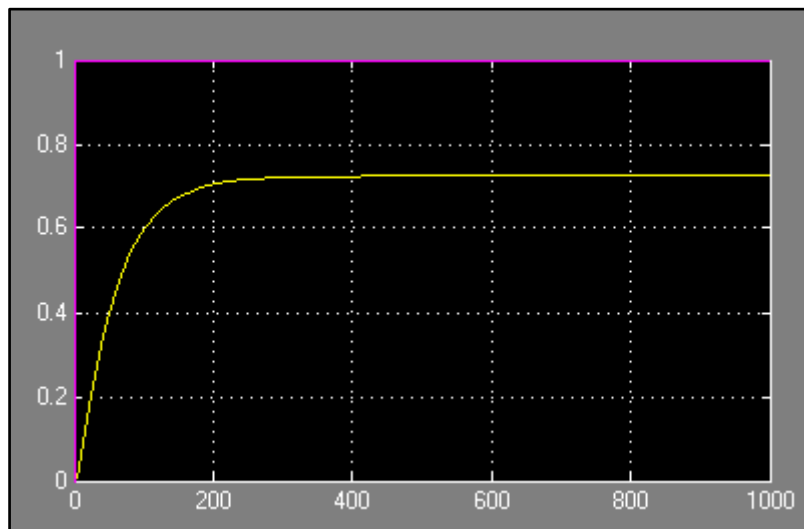


Figure 28: Réponse en boucle fermé avec $P=1$

On constate d'après la figure 28 que l'erreur statique a diminué avec une boucle fermée par rapport à l'erreur statique avec une boucle ouverte. Le système est stable mais reste toujours loin d'être précis, pour cela, on va modifier le paramètre du régulateur pour avoir un système stable et en même temps précis.

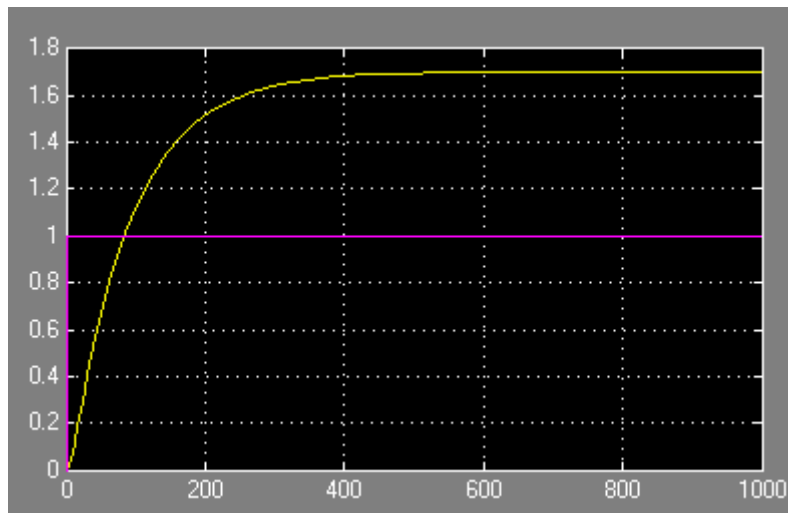


Figure 29: Réponse en boucle fermée avec $P=2$

On augmentant l'action proportionnelle $P=2$, on remarque que la réponse du système à dépasser la consigne voulue

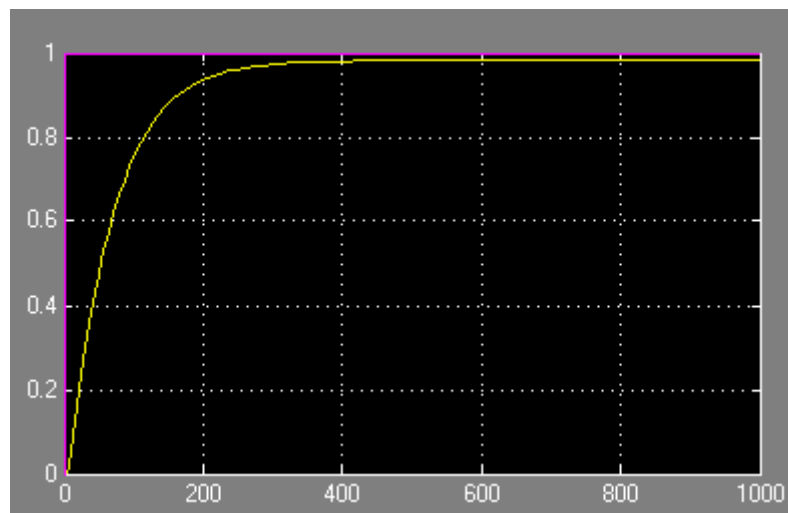


Figure 30: Réponse en boucle fermée avec $P=1.3$

Pour une valeur de $P = 1.3$, on voit que le système c'est stabilisé à la consigne ce qui nous permettra une bonne régulation du système.

Chapitre V

Automatisation et supervision des zones de l'extrudeuse

I. Concept actuel :

La régulation de température s'effectue par une électrovanne tout ou rien en parallèle avec une vanne manuel. L'électrovanne s'ouvre lorsque la température de la zone dépasse la consigne de 3°C, ainsi l'agent doit contrôler la température de la zone, si celle-ci ne baisse pas pour ce stabilisé à la consigne il doit renforcer le refroidissement on ouvrant proportionnellement la vanne manuel selon le besoin de la zone à l'eau, ce qui rend le système manque de précision.



Figure 31: électrovanne de commande

- Amélioration du système

L'amélioration consiste à remplacer la vanne manuelle par une électrovanne proportionnelle commandée par un régulateur PID à l'aide de l'automate programmable industriel.

II. L'automate programmable industriel

1. Objectif de l'automatisation

L'automatisation a pour objectif :

- ✓ La compétitivité de l'entreprise et des produits.

Cette compétitivité passe par la qualité, la maîtrise des coûts et l'innovation. Cela induit une disponibilité à tous les niveaux. On cherche donc à améliorer la productivité. L'amélioration des conditions de travail, et surtout la sécurité, fait partie des objectifs de l'automatisation.

Les buts (ou objectifs) de l'automatisation sont donc :

- Éliminer les tâches répétitives,
- Simplifier le travail de l'humain,
- Augmenter la sécurité (responsabilité),
- Accroître la productivité.

C'est également :

- Économiser les matières premières et l'énergie,
- S'adapter à des contextes particuliers : flexibilité,
- Améliorer la qualité.

Le système automatisé permet d'obtenir de façon reproductible la valeur ajoutée.

2. Critères de choix d'un API

Le choix d'un A.P.I est en fonction de la partie commande à programmer. On doit tenir compte de plusieurs critères :

- Les nombres des entrées sorties
- Le temps de traitement et la capacité de la mémoire
- Les nombres des étapes ou d'instruction
- Les nombres des compteurs et temporisateurs

3. Présentation du CPU 1215 :

Le SIMATIC S7-1200 est un système d'automatisation modulaire compact offrant la gamme de modules suivants :

- Unités centrales (CPU) de capacités différentes, certaines avec d'entrées/sorties intégrées ou avec interface PROFIBUS intégrée
- Modules d'alimentation PS avec 2A, 5A ou 10A
- Modules d'extension IM pour configuration de plusieurs lignes du SIMATIC S7-300
- Modules de signaux SM pour entrées et sorties numériques et analogiques
- Modules de fonction FM pour fonctions spéciales (ex : pilotage d'un moteur pas à pas)
- Processeurs de communication CP pour la connexion au réseau

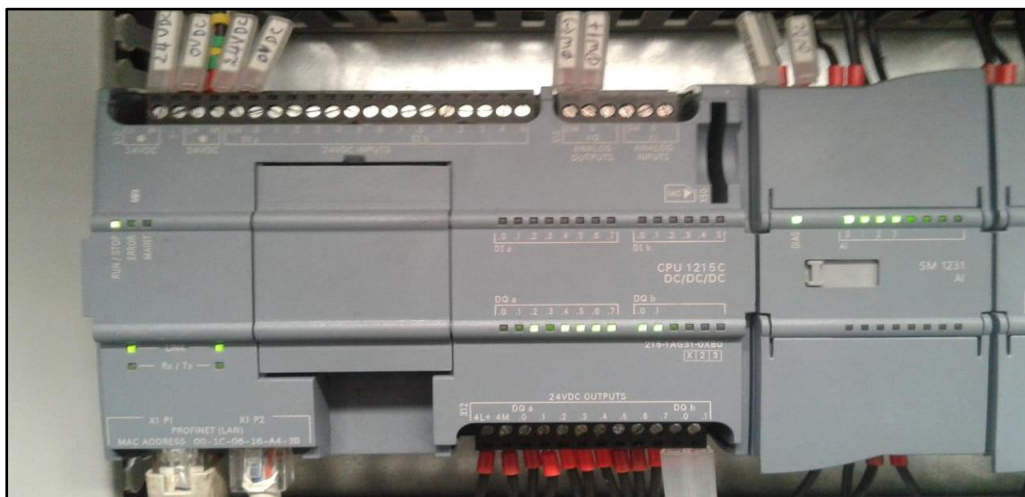


Figure 32: L'automate CPU 1215

III. Programmation et Synchronisation des électrovannes

1. Présentation des régulateurs de logiciel

Pour configurer un régulateur de logiciel, il vous faut une instruction avec l'algorithme de réglage et un objet technologique. L'objet technologique d'un régulateur de logiciel correspond au DB d'instance de l'instruction. La configuration du régulateur est enregistrée dans l'objet technologique. À la différence des DB d'instance d'autres instructions, les objets technologiques ne sont pas classés parmi les ressources du programme, mais sous CPU > Objets technologiques.

2. Objet technologique PID_Compact

L'objet technologique PID_Compact met à disposition un régulateur PID continu avec optimisation intégrée. De manière alternative, vous pouvez configurer un régulateur à impulsion. Les modes de fonctionnement manuel et automatique sont possibles. Dans une boucle de régulation, PID-Compact réalise l'acquisition continue de la mesure et la compare à la consigne souhaitée. A partir du signal d'écart en résultant, l'instruction PID_Compact calcule une valeur de réglage par laquelle la mesure est ajustée à la consigne de la façon la plus rapide et la plus stable possible. Pour le régulateur PID, la valeur de réglage se compose de trois actions :

- Action P :
L'action P de la valeur de réglage augmente proportionnellement au signal d'écart.
- Action I
L'action I de la valeur de réglage augmente jusqu'à ce que le signal d'écart soit compensé.
- Action D
L'action D augmente avec la vitesse de modification du signal d'écart. La mesure est ajustée à la consigne le plus rapidement possible. Quand la vitesse de modification du signal d'écart ralentit, l'action D diminue également.

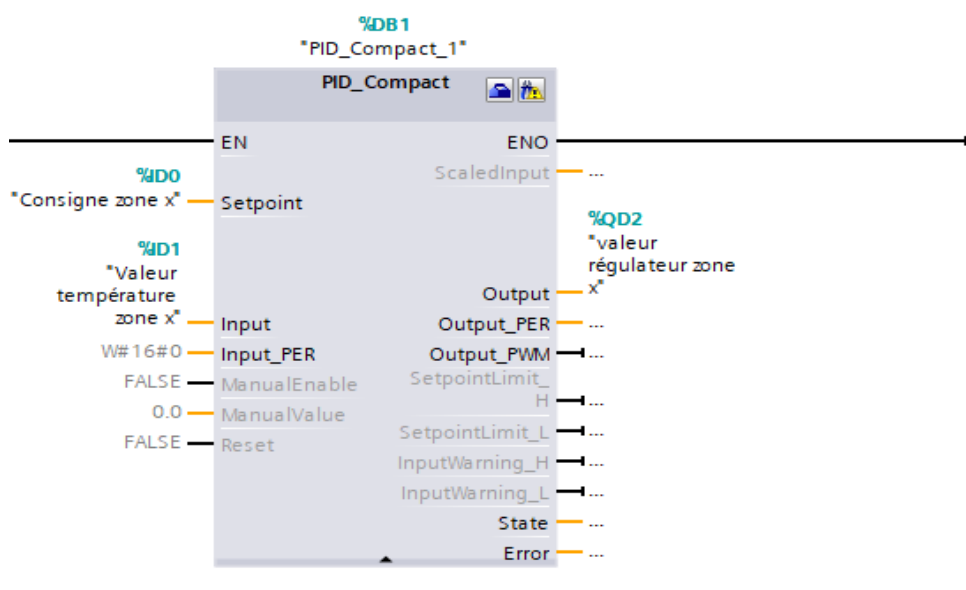


Figure 33: Régulateur PID_Compact

3. Configuration du régulateur

Configurez les propriétés suivantes de l'objet technologique "PID_Compact" dans la fenêtre d'inspection ou dans les "Paramètres de base" de la fenêtre de configuration.

- Grandeur physique
- Sens de régulation
- Comportement au démarrage après un Reset
- Consigne (seulement dans la fenêtre d'inspection)
- Mesure (seulement dans la fenêtre d'inspection)
- Valeur de réglage (seulement dans la fenêtre d'inspection)

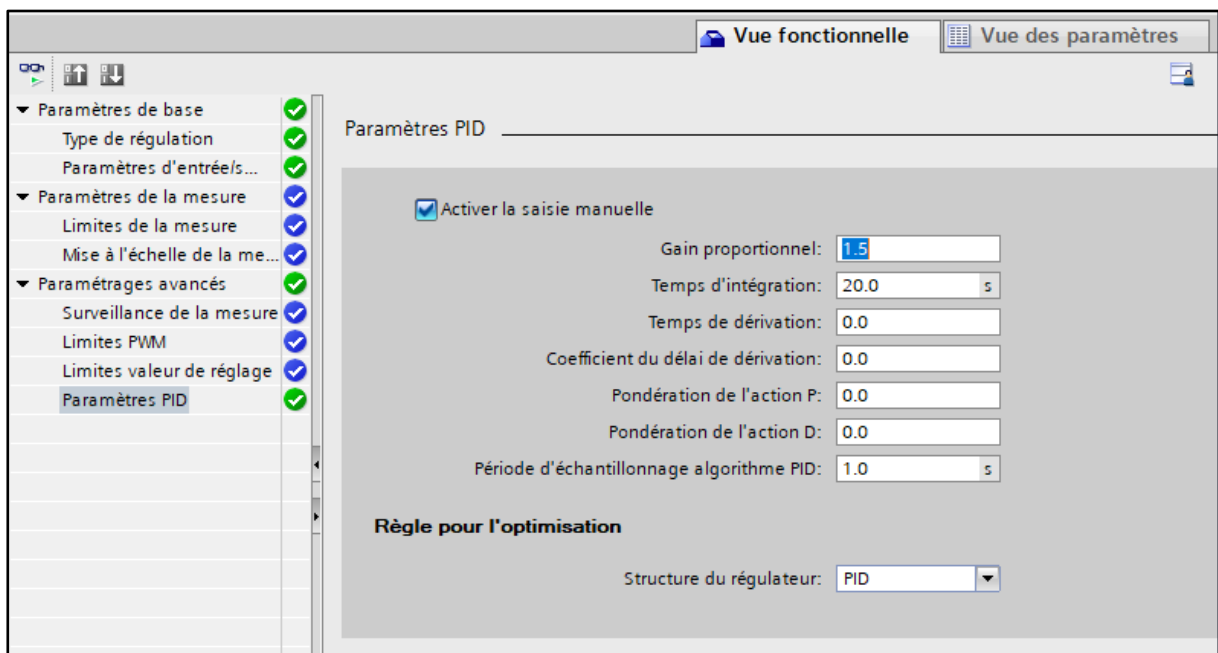
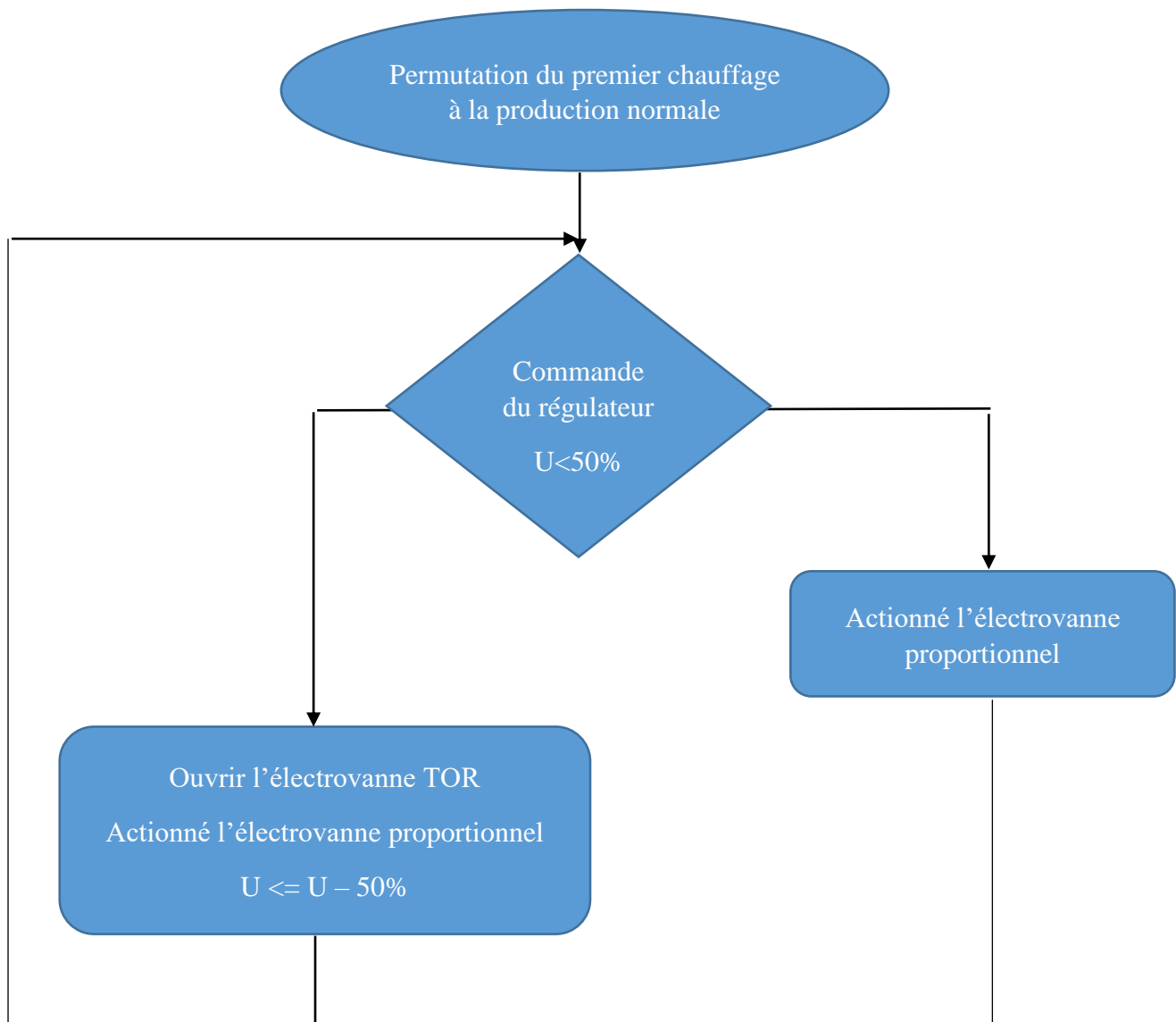


Figure 34: Configuration du PID

Le régulateur PID à comme sortie un signal U en pourcentage pour commander les électrovannes.

4. Organigramme de synchronisation

L'organigramme suivant explique le comportement des électrovannes selon la commande du régulateur :



5. Programmation de la synchronisation

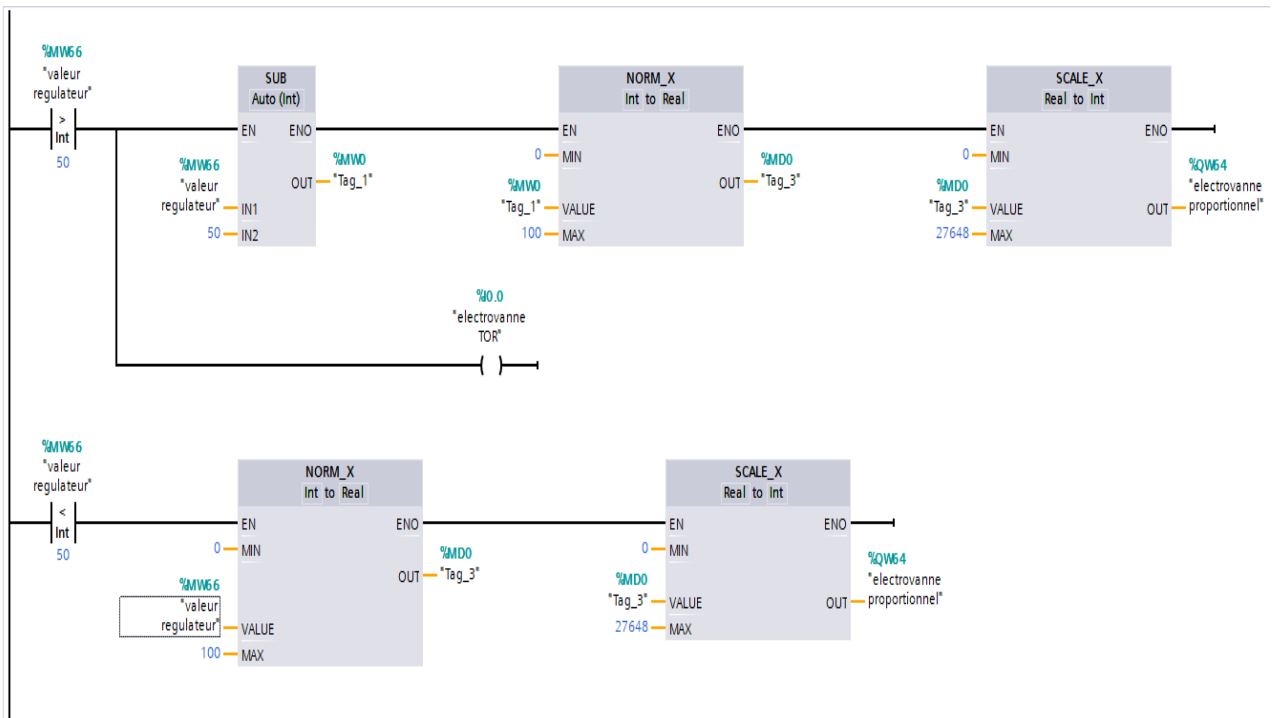


Figure 35: Programme de régulation

Conclusion

Ce projet de fin d'études à l'entreprise RICHBOND, nous a permis de mettre en application nos connaissances scientifiques ainsi que techniques dans un projet industriel. Il nous a permis de travailler sur un problème réel, souvent, rencontré en industrie. A travers lequel, nous avons pu développer l'esprit d'analyse et développer notre capacité de prise de décision.

Durant les quatre mois de stage la société m'a confié des tâches à faire dans le cadre de mon projet de fin d'étude. Notamment j'ai commencé par me familiariser avec ce que c'est un une extrudeuse. Comprendre et gérer ses phases de démarrage, définir les éléments nécessaires pour assurer une régulation de température efficace. Ainsi que j'ai proposé une solution de régulation automatique des zones de l'extrudeuse en installant une électrovanne TOR en parallèle avec une autre proportionnel en aval de chaque zone pour bien manipulé le débit d'eau de refroidissement afin d'avoir une régulation de température précise.

Après avoir atteint les objectifs du projet, il reste cependant, la réalisation sur terrain pour s'assurer de l'efficacité de nos actions. Nous avons déjà commencé par installer deux électrovanne tout ou rien en parallèle, une qui permettra d'avoir un petit débit, et avec l'excitation des deux électrovannes un grand débit, notamment les résultats de la régulation se sont améliorés mais elle manque toujours de précision.

Le stage m'a été d'une grande importance, aussi bien au niveau des connaissances techniques qu'au niveau des relations professionnelles, il m'a offert l'occasion d'apprendre à me servir des connaissances déjà acquises durant nos études, d'apprécier le travail en équipe et finalement de chercher l'information là où elle se trouve.

Bibliographie

- Manuel extrudeuse
- « Cours de thermique L3 SPI 2017 »
- « [français]_Techniques de l'ingénieur --- Automatisme Et Régulation Des Équipements Thermiques »
- « s71500_pid_control_function_manual_frFR_fr-FR »
- « Aide-memoire-Transformation-des-matieres-plastiques »
- « Instrumentaton et regulation »
- www.polytech-lille.fr/cours-regulation-automatique