

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Instrumentation

présenté par

BENTOUATI Ahlem

&

KEBAILI Ahmed

Etude d'un système de régulation des températures au niveau de l'étenderie de l'usine de fabrication de verre plat (MFG)

Proposé par : OUHAB Mohamed & YKHLEF Farid

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant de nous avoir permis de rendre nos parents fiers de nous avoir aidées à réaliser notre travail.

Au terme de ce travail nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance et nos vifs remerciements à notre Encadreur **Mr F.YKHLEF** de nous avoir encadrées durant notre projet de fin d'études et conseillées tout au long de notre travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à **Mr M.OUHAB** le promoteur de notre projet et notre tuteur industriel au sein de la société « MFG»

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à Mme MIRAOUI pour tous ses conseils.

Nos sincères remerciements à toute l'équipe de MFG qui nous a orientées, merci à **Mr B.MOKREFI, Mr H.HAMIDI, Mr Mouloud, Mr Ahmed** et **Mr M.SEMARA**, (Rachid et Boudjmaa).

Enfin, nous remercions aussi tous nos amis et camarades de promotion ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation et à la réalisation de ce travail.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre projet.

Dédicace

Je remercie tout d'abord ALLAH de m'avoir aidée à achever ce modeste travail.

J'ai le grand plaisir de dédier les résultats de mes années d'études aux êtres les plus chers que DIEU me les protège.

A mes chers parents, je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera pour toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'aiment

A María et Israa.

A toutes mes chères amies Wissem, Mouf, Nani, Wardi, Bicho, Nesrine, Amina, Meriem, Imen, Ibtissem ainsi que tous mes amis

Ahlem...

ملخص:

إن تطبيق التحكم وضبط أدوات القياس يتم الرد عليه بشكل كبير في الأنظمة الصناعية و الأوتوماتيكية ، و أحد معايير فعالية هذا التنظيم هو مقاومته للتغيرات. في حالتنا ، فإن النظام المدروس هو حلقة القياس والتحكم في درجة الحرارة على مستوى فرن تبريد الزجاج الخاص بشركة MFG ، التي تهدف إلى الحد من التجاوز وزمن الاستجابة من أجل الحصول على استجابة كافية للتصنيع وللتنظيم. الهدف هو تحقيق نظام دقيق وسريع ومستقر وقوي.

كلمات المفاتيح: فرن تبريد, ادوات, تحكم, درجة حرارة, تنظيم.

Résumé :

l'application de contrôle et de la régulation des instruments de mesure est très réponde dans les systèmes industriels et automatiques, l'un des critères d'efficacité d'une telle régulation est sa résistance face aux changements. Dans notre cas le système étudié est l'instrumentation et la boucle de régulation des températures au niveau de l'ETENDERIE au sein de la société MFG, dont le but est diminuer le dépassement, et le temps de réponse afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. L'objectif est d'obtenir un système précis, rapide, stable et solide.

Mots clés : Etenderie ; Instrumentation ; contrôle ; Température ; Régulation.

Abstract :

The application of control and regulation of measuring instruments is answered in the industrial and automated systems; one of the criteria of effectiveness of such a regulation is its resistance to changes. In our case, the studied system is the instrumentation and temperature control loop at the level of the ETENDERIE in the company MFG, whose goal is to reduce the overshoot and the response time in order to obtain an adequate response of the process and regulation. The aim is to achieve a stable and robust fast accurate system.

Keywords: annealing; Instrumentation; Temperature; Regulation.

Listes des acronymes et abréviations

API Automate Programmable Industriel

D Dépassement

DCS Distributed Control System

I Intégral

I/P Intensité / Pression

ISO International Organization for Standardization

MFG Mediterranean Float Glass

OHSAS British Standard Occupational Health and Safety Assessment Series

P Proportionnel

PI Proportionnel Intégral

PID Proportionnel, Intégral, Dérivé

QHSE Qualité, hygiène, sécurité, environnement

Tr Temps de réponse

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre 1 Processus de fabrication du verre plat	
1.1 Introduction	3
1.2 Présentation de société	3
1.2.1 Localisation.....	4
1.2.2 Développement.....	4
1.2.3 Les effectifs de MFG.....	5
1.2.4 Distribution	5
1.3 Processus de fabrication du verre plat	5
1.3.1 L’atelier de composition.....	6
1.3.2 Bout-chaud.....	7
a Four de fusion	7
b Bain d’étain	8
c La zone de refroidissement (ETENDERIE).....	9
1.3.3 Bout-Froid	9
a Contrôle.....	10
b Découpe	10
c Système de retour de calcin.....	10
1.3.4 Stockage	10
1.3.5 Livraison du verre.....	11
1.4 Étude de système existant (étenderie).....	11
1.5 Problématique.....	14
1.6 Conclusion.....	14
Chapitre 2 Instrumentation	
2.1 Introduction	15
2.2 Principe de fonctionnement	15
2.2.1 Refroidissement indirecte	17
2.3 Instrumentation de L’étenderie.....	17
2.3.1 Les Capteurs	17

a	Thermocouple	18
a.1	Principe de mesure des thermocouples.....	19
a.2	Effet Seebeck.....	19
(i)	Coefficient du Seebeck.....	20
a.3	Constitution.....	21
a.4	Caractéristique techniques	22
a.5	Mode de fonctionnement.....	22
b	Pyromètre	22
b.1	Le principe de fonctionnement.....	23
2.3.2	Les actionneurs	24
a	Les Positionneurs (SIPART PS2).....	24
a.1	Le SIPART PS2.....	24
a.2	Caractéristiques	25
a.3	Principe du fonctionnement	25
b	Vanne de régulation.....	26
b.1	Vanne pneumatique.....	26
2.3.3	Armoire Electrique	27
a	Automate programmable industriel (API).....	28
b	Disjoncteurs.....	29
2.3.4	La supervision des procédés	29
a	Salle de commande	29
a.1	Le contrôle	30
2.4	Instrumentation proposé.....	31
2.4.1	Actionneur proposé	31
a	Vanne électrique.....	31
2.5	Conclusion.....	32
Chapitre 3 Etude de la boucle de régulation		
3.1	Introduction	33
3.2	Partie Théorique.....	33
3.2.1	Objectif de la régulation automatique.....	33
3.2.2	Principe général de la régulation et la chaine de régulation automatique	33
a	La boucle de régulation.....	34
3.2.3	Les performances d'une régulation	35
3.2.4	Identification du procédé.....	35

3.2.5	Identification en boucle ouverte.....	36
a	Méthodologie.....	36
b	Méthode de Broida	37
c	Calcul de la fonction de transfère du système H(s)	39
3.2.6	Réglage du régulateur	40
a	Méthodes de réglage expérimental.....	40
a.2	Méthode en boucle ouverte de ziegler-nichols	40
(i)	Calcul les paramètres PI :	41
3.2.7	Calcul les équations.....	42
a	Equation Température / Intensité	42
b	Equation Intensité / Débit d'air (API / Positionneur)	43
c	Equation Débit d'air / Position (Positionneur / Vanne)	44
d	Equation Intensité / Position (API / Vanne)	45
3.3	Conclusion.....	46
Chapitre 4 Simulation sous Simulink-MATLAB		
4.1	Introduction sur MATLAB / Simulink.....	47
4.2	Blocs Simulink.....	47
4.3	Réalisation de la Boucle de régulation en Simulink	48
4.3.1	Paramètre existant.....	49
4.3.2	Paramètre calculé	52
4.4	Comparaisons.....	55
4.5	Simulation proposé	58
4.6	Conclusion.....	58
Conclusion générale.....		59

Liste des figures

Figure 1.1. Schéma technologique de l'atelier combiné.....	4
Figure 1.2. Vue par satellite du complexe MFG	4
Figure 1.3. Diagramme du processus de fabrication du verre plat	6
Figure 1.4. L'atelier de composition.....	7
Figure 1.5. four de fusion.....	7
Figure 1.6. Schéma du four de fusion.....	8
Figure 1.7. Bain d'étain.....	9
Figure 1.8. Schéma de l'étenderie	9
Figure 1.9. Contrôle et découpe.....	11
Figure 1.10. Etenderie.....	12
Figure 1.11. Zone (A).....	13
Figure 1.12. Zone (F).....	13
Figure 2.1. Courbe du refroidissement	15
Figure 2.2. Schéma du capteur	18
Figure 2.3. Thermocouple	19
Figure 2.4. Effet Seebeck.....	20
Figure 2.5. Courbe tension en fonction de température.....	20
Figure 2.6. Les éléments du thermocouple.....	21
Figure 2.7 Capteur infrarouge.....	23
Figure 2.8. Capteur optique infrarouge mesure à haut température	23
Figure 2.9. Positionner électropneumatique SIPART PS2	25
Figure 2.10. Principe de régulation de vanne avec positionneur	26
Figure 2.11. Symbole vanne	27
Figure 2.12. Vanne pneumatique	27

Figure 2.13. Vue intérieur de l'armoire électrique.....	28
Figure 2.14. S7-400	27
Figure 2.15. Différents types de disjoncteurs.....	29
Figure 2.16. Contrôle de la zone B2	30
Figure 2.17. Paramètre de VPS24 de la zone B2	30
Figure 2.18. Vanne électrique	31
Figure 3.1. Schéma de principe d'une chaîne de régulation.....	34
Figure 3.2. Schéma simplificatrice du procédé.....	36
Figure 3.3. Signal observé de la grandeur réglée $Y(t)$	37
Figure 3.4. La réponse $Y(t)$ (de modèle de Broïda) suite à un échelon d'entrée $U(t)=\Delta u$	37
Figure 3.5. Boucle de régulation.....	38
Figure 3.6. Boucle ouvert.....	40
Figure 3.7. Réponse en boucle ouverte du procédé à un échelon de commande Δu	40
Figure 3.8. point d'inflexion.....	41
Figure 3.9. Courbe intensité en fonction de la température.....	42
Figure 3.10. Courbe débit d'air en fonction d'intensité.....	43
Figure 3.11. Courbe position en fonction de débit.....	44
Figure 3.12. Courbe position en fonction de l'intensité.....	45
Figure 4.1. Schéma bloc de la boucle de régulation de la vanne VPS24.....	49
Figure 4.2. La réponse en température de la valeur réglant et la consigne.....	50
Figure 4.3. La réponse en position de la vanne.....	51
Figure 4.4. La réponse en température de la valeur réglant et la consigne.....	52
Figure 4.5. La réponse en position de la vanne.....	53
Figure 4.6. Temps de réponse de la boucle des paramètres existant.....	54
Figure 4.7. Temps de réponse de la boucle des paramètres calculé	55

Figure 4.8. Schéma bloc des deux cas de régulation.....	55
Figure 4.9. La réponse de la température des deux cas.....	56
Figure 4.10. Schéma bloc de la simulation finale.....	57
Figure 4.11. La réponse des deux cas à plusieurs valeurs de température mesurés.....	57
Figure 4.12. La réponse de la régulation et de la position pour tous les cas.....	58

Liste des tableaux

Tableau 3.1. Représente la position en fonction du temps	36
Tableau 3.2. Tableau pour calcul des paramètres PID. Réglage Ziegler-Nichols en boucle ouverte.....	41
Tableau 4.1. Blocs Simulink utilisé.....	47

Introduction générale

Le procédé "float" constitue un pas technologique très important dans la fabrication du verre plat. Ce procédé, qui se démarque radicalement de ses prédécesseurs, a été inventé par Alastair Pilkington en 1952. Il s'agit en effet d'un procédé complet qui rassemble les différentes étapes de la production en une seule et même unité de production. Généralisé dans les années soixante, le procédé "float" a été adopté depuis comme méthode standard pour la fabrication du verre plat de haute qualité.

Cette technique consiste à faire flotter le ruban de verre en fusion sur un bain d'étain liquide. Grâce à cette méthode, le verre fabriqué est parfaitement plat. Il n'a plus besoin de polissage ou de doucissage et peut donc être directement découpé.

La fabrication du verre flotté est semblable à la fabrication des produits tels que l'acier ou le plastique. Chacun de ces procédés exige des matières premières devant être pesé, mélangé, et fondu à des températures très élevées, formées en rubans continus, refroidie et découpée en une taille qui correspond à son utilisation.

Dans tout ça nous concluons que la température est un élément important pour réussir la fabrication, et le plus important c'est le contrôle et la régulation de la température, par des instruments et des systèmes automatisés.

Un procédé industriel doit être obligatoirement automatisé. En effet, la compétitivité exige de le maintenir le plus près possible de son optimum de fonctionnement prédéfini par un cahier des charges : conditions ou performances imposées telles que la qualité des produits fabriqués, la flexibilité de la production, la sécurité du personnel et des installations, l'économie de l'énergie et le respect de l'environnement.

La régulation occupe généralement la grande partie de l'automatisation d'un procédé industriel. C'est dans ce cadre que nous avons réalisé notre projet de fin d'étude au sein du groupe CEVITAL **MFG**, qui est parmi les premières entreprises en Algérie qui donne une grande importance à les modes de contrôle et de commande de haute précision afin d'avoir des installations plus récentes et plus fiables.

Notre travail au sein de cette entreprise a consisté à étudier les différentes technologies, constituant les instruments de mesure et du contrôle des températures du verre au niveau de l'étenderie, ainsi que la boucle de régulation de ces températures, dans ce sens, notre travail est réparti en quatre chapitres:

Chapitre I : il donne une vue globale sur l'entreprise MFG du groupe CIVITAL, ainsi que la chaîne de production du verre plat tout en basant sur l'étenderie.

Chapitre II : dans cette partie on a allors aborder les différents dispositifs de contrôle et de mesure (instruments) utilisée au niveau de l'étenderie, ainsi que l'instrumentation proposée pour l'amélioration.

Chapitre III : ce dernier contient l'étude de la boucle de régulation, les mesures et les calculs.

Chapitre IV : celui-là est consacré à la simulation de la boucle et le processus sur Simulink MATLAB.

Chapitre 1 Processus de fabrication du verre plat

1.1 Introduction

Afin de mettre le projet dans son contexte, on commence par un petit aperçu sur l'entreprise et le processus de fabrication du verre flotté au sein de la société MFG, puis établir une description du système existant (Etenderie) en énonçant ses différentes problématiques.

1.2 Présentation de société

Mediterranean Float Glass (MFG) ou Verre flotté méditerranéen est une filiale du groupe CEVITAL. Créée en avril 2007, mais y'est inaugurés le 28 mai 2007, premier groupe industriel privé en Algérie. Elle est la plus grand ligne de production en Afrique et l'unique producteur du verre plat au niveau maghrébin, d'une capacité de 600 tonnes par jour pour la 1^{er} ligne du verre float, et 800 tonnes par jour pour la deuxième. [11]

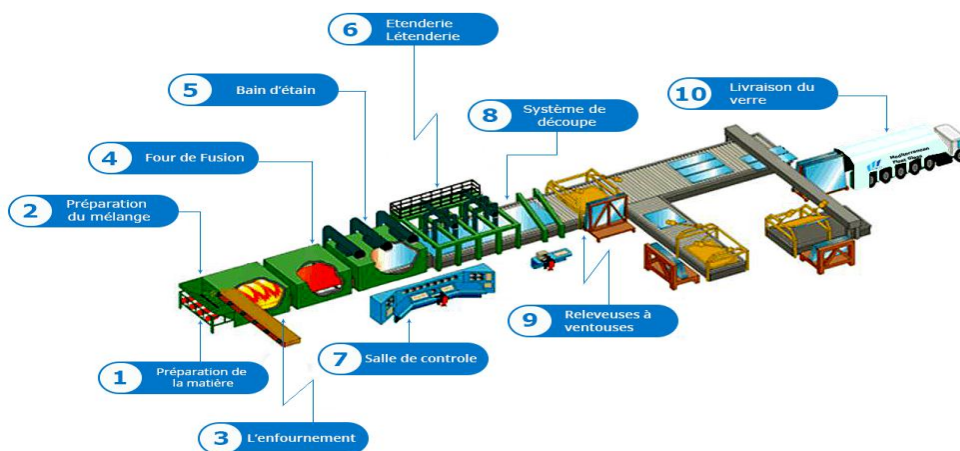


Figure 1.1. Schéma technologique de l'atelier combiné [11]

1.2.1 Localisation

Le complexe est implanté au niveau du site de l'Arabaa dans la wilaya de Blida et a nécessité un investissement de 100 million d'Euros et fait partie d'un grand projet constitué de 2 lignes du verre plat d'une capacité totale de 760000 tonnes par an. MFG profite d'une parfaite localisation, à 30Km d'Alger ce qui représente moins d'une heure de route de l'Aéroport internationale et du Port d'Alger. [11]



Figure 1.2. Vue par satellite du complexe MFG

1.2.2 Développement

MFG a mis en place quatre autres lignes de production de verre :

- En Décembre 2009 : une ligne de verre feuilleté.
- Le mois de Septembre 2011 : une ligne de verre à couches tendres.
- Le début Octobre 2010, MFG a mis en place une unité de transformation des produits verriers pour couvrir le marché algérien, notamment, en double vitrage isolant destiné aux fenêtres et aux façades des bâtiments.
- En novembre 2016 une 2eme ligne de verre plat.

MFG répond aussi aux besoins de plusieurs secteurs économiques tels que le BTP, l'électroménager, l'énergie, les panneaux solaire, le mobilier urbain et domestique. Depuis 2008, MFG a un système de management intégré QHSE qui est certifiée sous quatre référentiels [11] :

- ISO 9001 : pour la qualité en 2008.
- ISO 14001 : pour l'environnement en 2004.
- OHSAS 18001 : pour la santé et la sécurité de ses employés en 2007.
- ISO 9001 : pour le management des projets en 2011.

1.2.3 Les effectifs de MFG

MFG compte actuellement plus de 750 salariés, qui mettent en pratique leurs compétences dans différents métiers afin de fournir un produit de choix et un service de qualité. [11]

1.2.4 Distribution

MFG exporte 70% de sa production essentiellement en Europe occidentale tel que l'Italie (Turin), l'Espagne (Valence), la France, le Portugal, et vers la Tunisie (Tunis), le Maroc (Tanger) et d'autres pays.

Depuis 2007, MFG a fait passer l'Algérie du pays quasi importateur à celui d'exportateur en matière de verre. Les 30% restant, suffisent largement à combler les besoins du marché national. [11]

1.3 Processus de fabrication du verre plat

Comme indiqué sur le diagramme de la (Figure 1.3) la fabrication du verre plat flotté passe par trois secteurs essentiels qui sont :

- ✓ Atelier de composition
- ✓ Le bout-chaud
- ✓ Le bout-froid

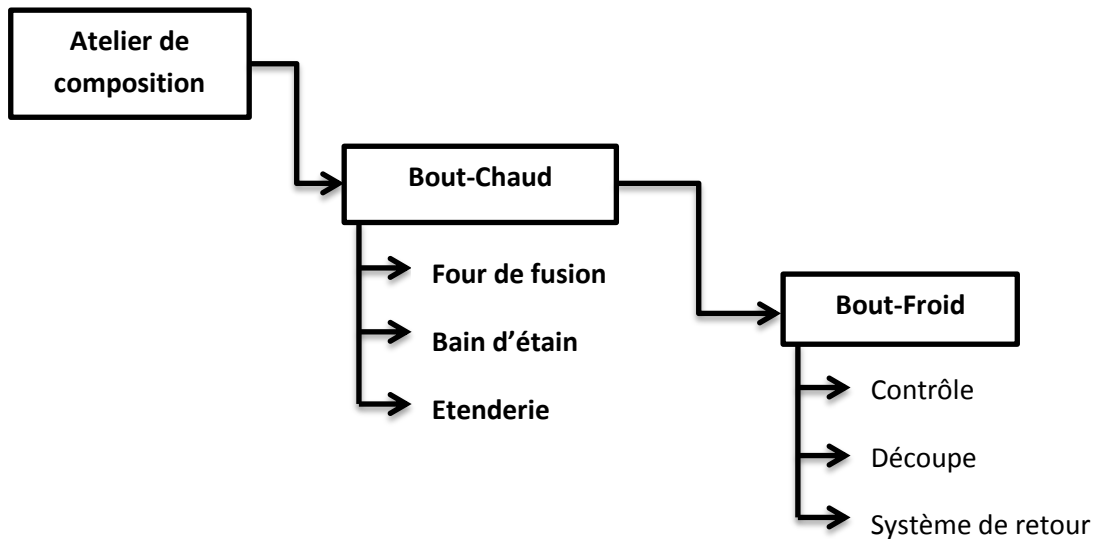


Figure 1.3. Diagramme du processus de fabrication du verre plat

1.3.1 L'atelier de composition

Le verre flotté est fabriqué à partir d'une combinaison de plusieurs matières premières telles que le sable qui compose 70%, le carbonate de soude, la dolomie, et le calcaire, ces matières premières sont stockées dans des silos, contrôlées, pesées électroniquement, et mélangées avant d'être conduite vers le four (Figure 1.4)

A ce mélange, sont ajoutés du calcin, verre cassé recyclé qui permet d'abaisser le point de fusion de mélange et réduite les émissions de CO₂. Le nouveau mélange est ensuite délivré au four par convoyeur à bande. [1]

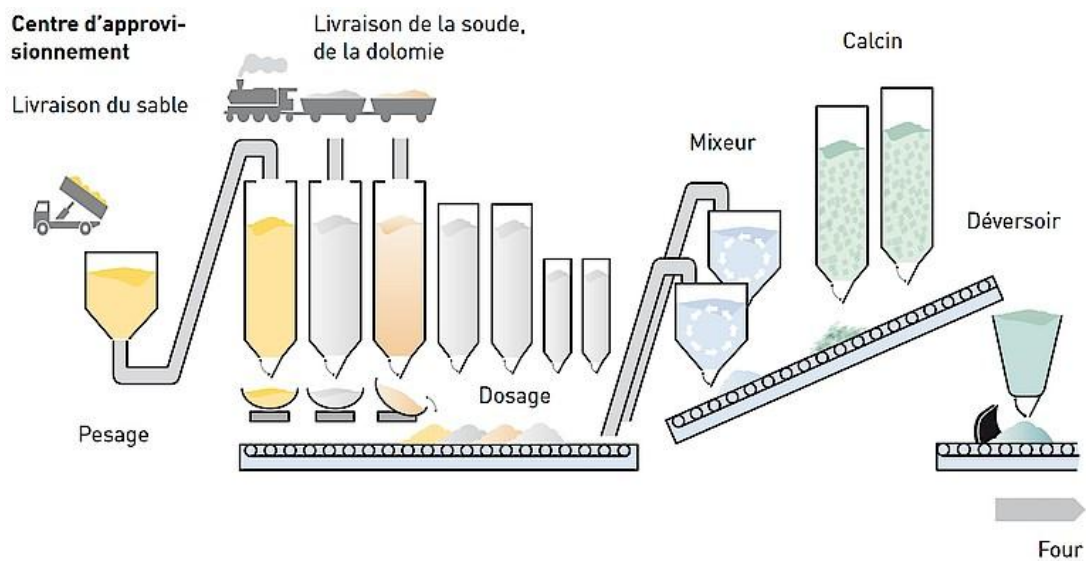


Figure 1.4. L'atelier de composition [18]

1.3.2 Bout-chaud

Ce secteur contient trois parties essentielles qui sont :

a Four de fusion

Le mélange vitrifiable et le calcin sont délivrés dans les bacs de stockage du four, par un système de convoyeur à bande, où ils sont stockés, puis poussés de façon continue dans le four à une vitesse contrôlée par les enfourneuses.

Le four utilisé par MFG est un four régénératif à flamme transversale d'une longueur de 63m et de largeur de 30m, de chaque côté du four on trouve 6 brûleurs qui travaillent en alternance. Construit en briques réfractaires et ayant une durée de vie de 10 à 20 ans. [1]



Figure 1.5. Four de fusion

Le nouveau mélange passe dans la zone du four de fusion, où il est chauffé par des brûleurs à gaz naturel à environ 1550°C (Figure 1.6).

Ensuite, le verre fondu passe à travers le raffineur puis à travers la zone de taille, où des agitateurs homogénéisent le verre, puis dans la zone de braise où le verre est laissé à refroidir lentement à la température appropriée 1100°C pour la livraison au four du flottage. [1]

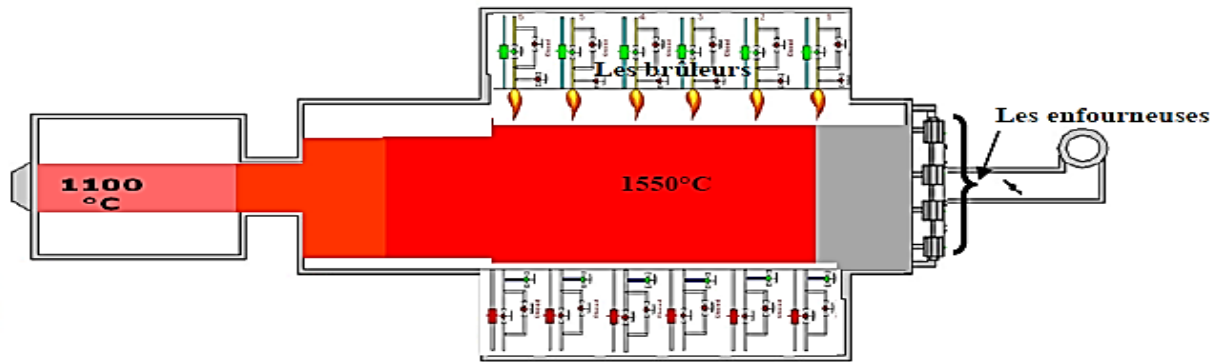


Figure 1.6. Schéma du four de fusion

a Bain d'étain

A la sortie du four, le verre fondu coule sur un bain d'étain en fusion, à une température d'environ 1100°C, et flotte alors sur cette surface plane afin de former le ruban du verre. Le fait de flotter librement sur cette surface permet d'obtenir une feuille du verre aux faces parallèles, similaire à un miroir. [1]

L'atmosphère du bain est commandée par un mélange d'azote et d'hydrogène gazeux pour éviter l'oxydation de l'étain. La largeur et l'épaisseur désirée est obtenue grâce à des machines de moletage qui s'appellent « top rollers », il peut varier de 3 à 12mm, et comme le ruban se déplace en continu à travers le four de flottage. La température du verre est progressivement réduite jusqu'à ce qu'elle atteigne les 600°C (Figure 1.7)

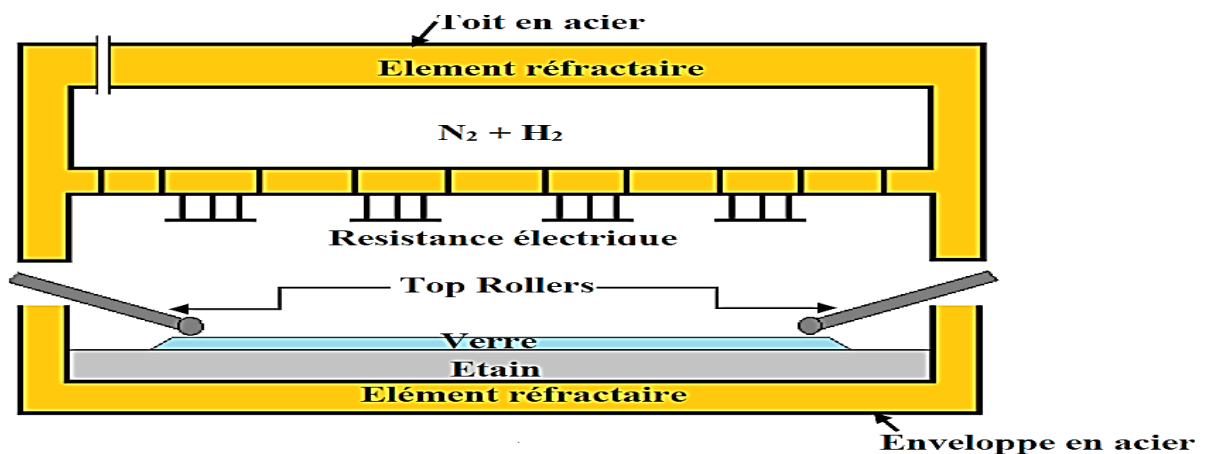


Figure 1.7. Bain d'étain

a La zone de refroidissement (ETENDERIE)

Le verre doit encore être refroidi, mais il est maintenant suffisamment dur pour passer sur les rouleaux d'un tunnel appelé « étenderie », long d'environ 120 mètres. La température du verre s'abaisse régulièrement de 600°C au départ du tunnel, termine son refroidissement lent à une température de 60°C (Figure 1.8).

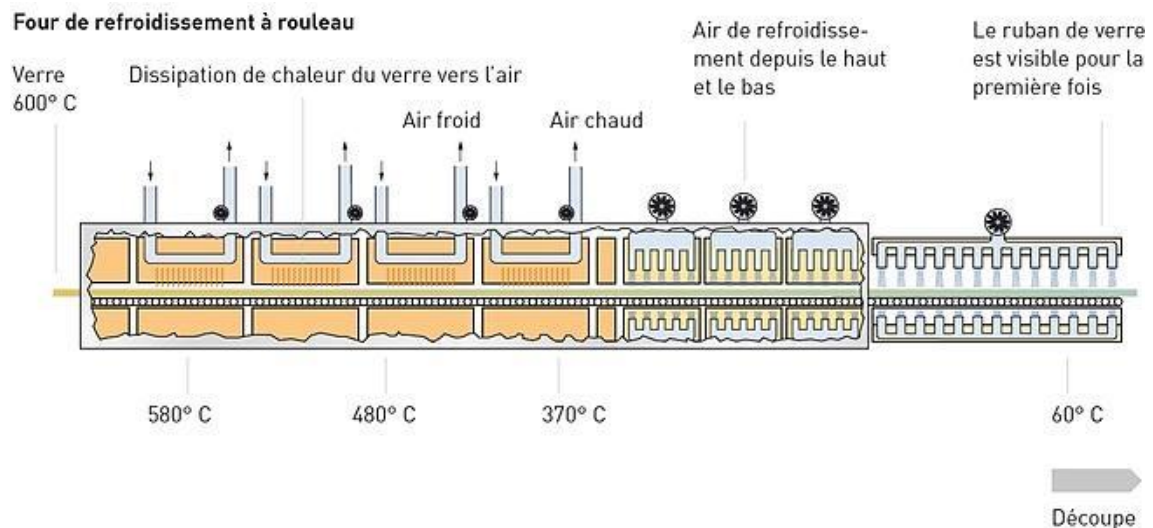


Figure 1.8. Etenderie

Le refroidissement commandé du verre a pour effet de stabiliser les tensions internes, lui permettant d'être découpé sans initier de casse. Les deux faces du verre ayant été polies par l'étain et le feu, il nécessite aucun polissage supplémentaire.

1.3.3 Bout-Froid

Ce secteur est constitué de parties suivantes [1] :

a Contrôle

Le suivi de toute la ligne se fait à ce niveau via la détection des défauts en automatique, le contrôle de l'épaisseur et des contraintes du verre ainsi que l'optimisation des différents formats du verre (Figure 1.9).

***b* Découpe**

Après nettoyage et contrôle qualité, le ruban du verre est découpé en plateaux (6x 3.21m, standard mondial). A l'aide de deux systèmes le 1^{er} est la découpe transversale et la 2^{ème} est la découpe longitudinale. Le verre peut également être directement préparé aux dimensions souhaitées par le client à l'aide d'une ligne de coupe séparée. Les bords (résidu de coupe) sont enlevés automatiquement et sont recyclés comme calcin (Figure 1.9)

***C* Système de retour de calcin**

Le calcin sera récupéré sur la ligne de découpe automatiquement ; broyé et acheminé vers le stockage tampon ou le parc de stockage (Figure 1.9).

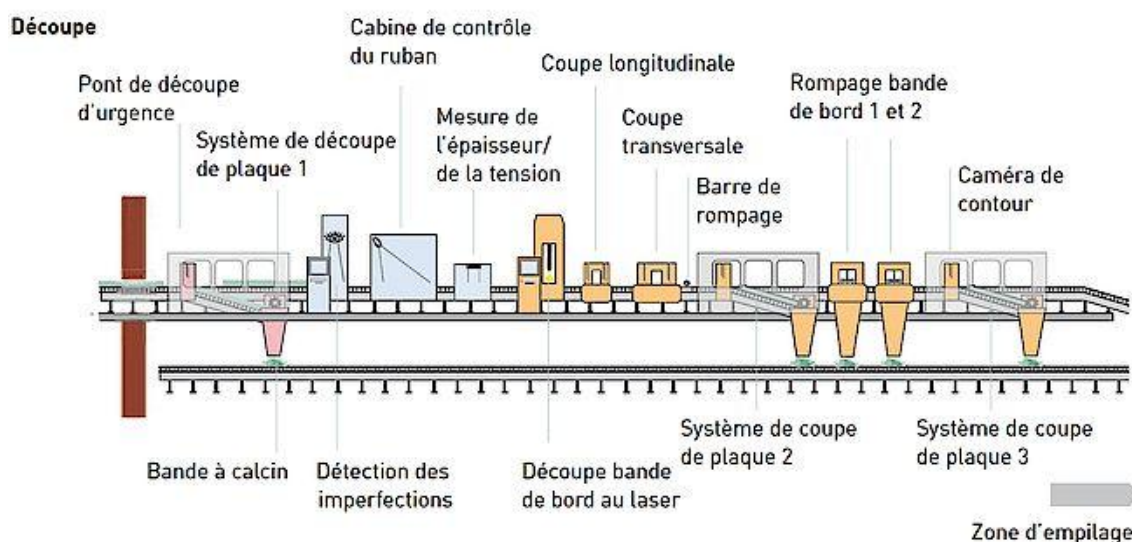


Figure 1.9. Contrôle et découpe [18]

1.3.4 Stockage

Les plateaux de verre sont placés, en piles verticales, sur des chevalets par des releveuses à ventouses. Cette empileuse automatique prélève directement les feuilles de verre à l'extrémité de la chaîne de fabrication. Les chevalets sont ensuite acheminés à l'entrepôt où les piles de verre seront stockées puis expédiées. [1]

1.3.5 Livraison du verre

Une remorque de conception spéciale munie de suspensions adaptées reçoit le chevalet chargé de plaques de verre (20 tonnes). L'ensemble est maintenu en position par des bras articulés ou des coussins d'air.

1.4 Étude de système existant (étenderie)

A la sortie du bain d'étain le ruban de verre est soumis à des contraintes physiques pour les relâcher, et à un traitement thermique dans un long four en forme de tunnel du refroidissement utilisé pour reprendre le verre sortant de l'outil de formage afin de le transporter vers le secteur bout-froid pour le découper.

L'étenderie est la 3^{ème} partie du secteur Bout-Chaud de la 1^{ère} ligne du verre plat de MFG. Elle se divise en plusieurs zones A,B,C,D,E et F munies de moyens de chauffage et de refroidissement contrôlés, permettant de faire suivre au ruban de verre un cycle thermique longitudinal et transversale du ruban, car la température est un élément capitale dans la fabrication et doit donc être contrôlée très soigneusement tout au long du procédé, si elle est trop élevée le verre sera abimé lors de son passage sur les rouleaux, et si le contraire il risque de casser net avant de passer dans l'étenderie.



Figure 1.10. Etenderie

Les températures consignes désirées dans chaque zone ceci ne peut pas s'effectuer avec des instruments du contact, car le moindre contact avec le bain d'étain le contaminerait et provoquerait des trainées et des décolorations sur le verre. Il s'agit donc d'installer des capteurs, des vannes justes au-dessus et dessous de chaque zone ainsi que des ventilateurs. Le réglage se fait par une boucle de régulation au niveau de l'automate programmable industriel API.

Les différentes parties essentielles constituant l'étenderie sont représentées dans les figures suivant (Figure 1.11/1.12) :

Les thermocouples : Sont des capteurs qui mesurer la température du milieu du verre.

Les vannes : Dispositif destiné à contrôler (stopper ou modifier) le débit.

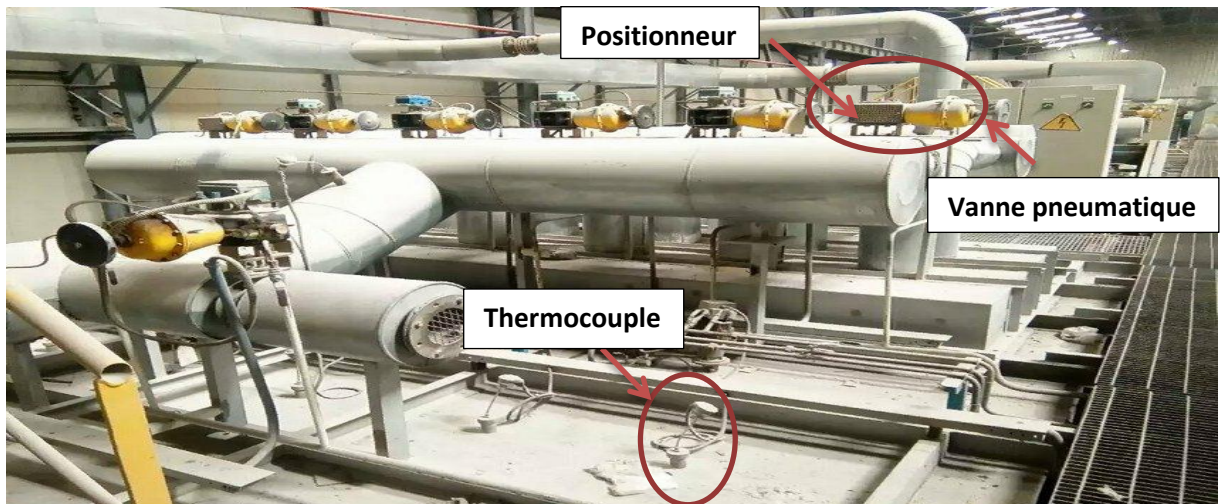


Figure 1.11. Les instruments de la Zone (A)

Les Ventilateurs : Instrument destiné, à créer un vent artificiel, un courant d'air.



Figure 1.12. Instrument de la zone (F)

1.5 Problématique

À l'heure actuelle, les principaux problèmes auxquels nous sommes confrontés sont le temps de réponse du système pour réguler la température et son imprécision (Dépassement), ainsi que la panne de certaines vannes. Parce que parfois l'air est chargé avec de l'eau et de la poussière, qui est distribuée dans ces valves provoquant une mauvaise régulation

1.6 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre, nous avons présenté le processus de fabrication du verre plat de la 1^{ère} ligne du MFG, ainsi que le fonctionnement de chacune de ses parties.

Le prochain chapitre va être plus détaillé, avec l'étude technique de l'étenderie et leurs instrumentations.

Chapitre 2 Instrumentation

2.1 Introduction

Ce chapitre va dans un premier temps présenter le principe de fonctionnement de l'Étenderie et surtout le fonctionnement du refroidissement indirect qui nous intéresse le plus dans notre projet. Ainsi que ses différents instruments.

Cela est fait pour bien comprendre et maîtriser le mode de fonctionnement des instruments.

2.2 Principe de fonctionnement

Étenderie est un four conçu pour refroidir un ruban du verre de 600°C à environ 60°C suivant la courbe du refroidissement (Figure 2.1). Sa plasticité est donc encore assez faible, mais suffisante néanmoins pour être soulevée légèrement afin d'être placée sur un convoyeur à rouleaux, Celui-ci va entraîner la plaque du verre (qui est toujours d'un seul tenant) vers l'étenderie. [3]

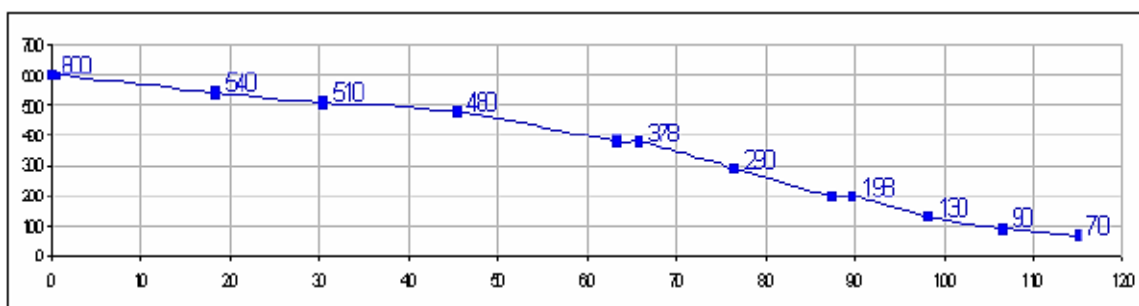


Figure 2.1. Courbe du refroidissement [3]

Pour contrôler le refroidissement suivant la courbe et régler les différentes tensions du ruban du verre, l'étenderie est équipée des différents dispositifs. D'après le plan de disposition générale, l'étenderie peut être divisée en 2 parties :

- Les zones A, B1, B2 et C dans lesquelles le verre est refroidi d'une manière indirecte
- Les zones D, E et F1-F2-F3-F4-F5 dans lesquelles le verre est refroidi d'une manière directe.

On peut les nommer comme suit :

- **Zone(A₀)** : zone d'entrée spéciale pour le traitement particulier
 - **Zone(A)** : zone de pré-recuisions
 - **Zone(B)** : zone de recuisions
 - **Zone(C)** : zone de post recuisions
 - **Zone(D)** : zone de refroidissement direct
 - **Zone(F)** : zone de refroidissement direct final.
- ❖ **Les zones A, B et C** : comportent également six (6) capteurs constituant de thermocouple qui mesurant la température du milieu du verre. Ces capteurs sont connectés à un régulateur de température ayant comme consigne la valeur souhaité qui agissent sur six(6) vanes pneumatique, régulant le débit d'air froid circulant dans chaque groupe d'échangeurs. Leur emplacement physique de la gauche vers la droite, ainsi qu'au-dessus et en dessous du ruban. [3]
- ❖ **La zone D** : le refroidissement est assuré par soufflage d'air chaud directement sur le verre
- ❖ **La zone E** : c'est une zone ouverte qui arrête les courants d'air dus aux surpressions ou dépression de la zone D1. Le ruban est soumis à l'air ambiant ce qui donne un léger refroidissement du fait de la convection naturelle. [3]
- ❖ **La zone F** : le refroidissement est assuré en soufflant de l'air à température ambiante directement sur le verre. Les vanes manuelles et les registres sont réglables à distance à partir du panneau de commandes situé sur le côté de l'étenderie.

2.2.1 Refroidissement indirecte

Le thermocouple mesure la température du milieu qui ne doit pas passer 60°C de plus ou moins, et envoyé l'information à l'API (Automate Programmable industriel), qui va faire la comparaison d'après ses paramètre PID (Régulateur) entre la température mesuré et la consigne, et renvoyé un signal (mA) d'intervalle [4 à 20] mA selon la différence de la température (Température mesuré – température consigne).

Ce signal reçu par le positionneur de la vanne, cette dernière la traduit à un débit d'air d'intervalle [0.4 à 4] bar, qui va assurer l'ouverture ou la fermeture de la vanne pneumatique avec une position précis selon la différence de la température :

- ❖ Si la différence est positive (température mesuré supérieur) → ouverture de la vanne
- ❖ Si la différence est négative (température mesuré inférieur) → fermeture de la vanne
- ❖ Si la différence est 0 (égale) → la vanne reste sur sa position précédente.

2.3 Instrumentation de L'étenderie

On peut la diviser en trois parties :

- Le corps contient les capteurs et les actionneurs.
- L'armoire, où les pré-actionneurs et les cartes électronique, sont posés.
- La supervision des procédés.

2.3.1 Les Capteurs

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. [10]

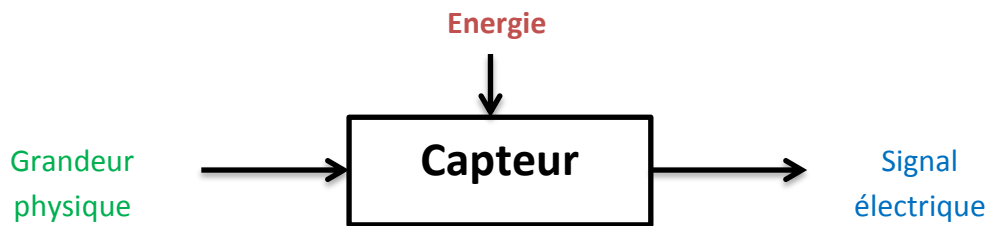


Figure 2.2. Schéma du capteur

On classe les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de la sortie. Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé. [7]

- **Capteurs passifs**

Ce capteur se comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif.

- **Capteurs actifs**

La sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge

- **Caractéristiques du capteur**

- ✓ L'étendue de mesure
- ✓ Rapidité
- ✓ Résolution et la Sensibilité.

L'étenderie dispose deux types de capteurs :

a Thermocouple

Le thermocouple est un capteur de température du type actif, il délivre une tension électrique à chaque valeur de la température.

Il constitué de deux conducteurs A et B (de nature différente) formant entre eux deux jonctions aux températures T1 et T2.



Figure 2.3. Thermocouple

a.1 Principe de mesure des thermocouples

Si le point de mesure est à une autre température que les extrémités libres du thermocouple, une tension est générée à ces extrémités, c'est la tension thermoélectrique (effet Seebeck). La grandeur de cette tension thermoélectrique dépend de la différence de température entre la température du point de mesure et la température aux extrémités libres, ainsi que du type de matériau constitutif du thermocouple. [7]

Comme on mesure toujours une différence de température avec un couple thermoélectrique, il faudra pour déterminer la température du point de mesure, relier les extrémités libres du couple à une soudure froide destinée à garantir ainsi l'obtention d'une température constante et connue.

a.1 Effet Seebeck

L'effet Seebeck c'est la naissance d'une différence de potentiel quand on porte les deux jonctions des deux conducteurs A et B, à des températures différents. [19]

Si on maintient l'une des jonctions (Jonction froide) à une température fixe choisie comme référence (par convention $T_{ref}=0^{\circ}\text{C}$), la tension mesurée ne dépend que de la température de l'autre jonction (Jonction chaude). C'est le principe du thermocouple.

Tous les métaux dissemblables présentent un effet thermoélectrique, cependant des recherches de linéarité, de valeur de tension et de gamme de température ont permis de classer les thermocouples de plusieurs types (Type K, T, J, S et E).

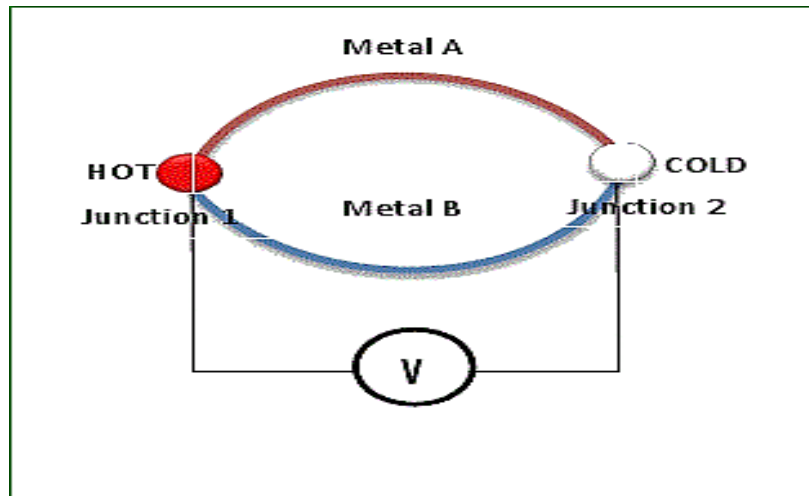


Figure 2.4. Effet Seebeck [19]

(i) Coefficient du Seebeck

Pour déterminer la température en ayant la tension aux bornes du thermocouple. Et à l'aide de la table de référence internationales pour thermocouple de type K, on obtient un coefficient directeur [19].

Ce coefficient directeur est appelé constante de Seebeck, d'après la courbe on déduit que :

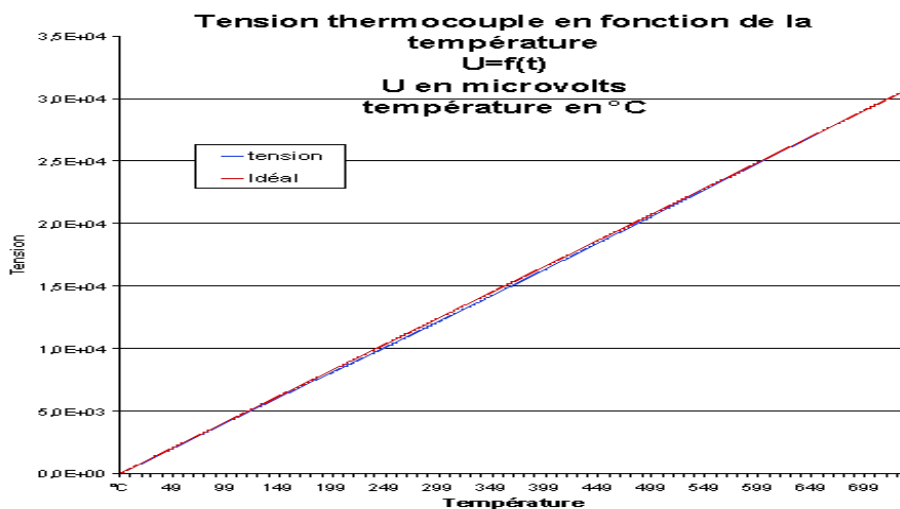


Figure 2.5. Courbe de la tension thermocouple en fonction de la température

$$a = 0.04mV/^{\circ}c$$

(2.1)

a.3 Constitution

Un thermocouple se compose d'un couple thermoélectrique (sonde de mesure), et des éléments nécessaires au montage et au raccordement.

Le couple thermoélectrique se compose de deux fils en métaux ou alliages différents qui sont brasés ou soudés ensemble à l'une des extrémités qui constitue le point de mesure.

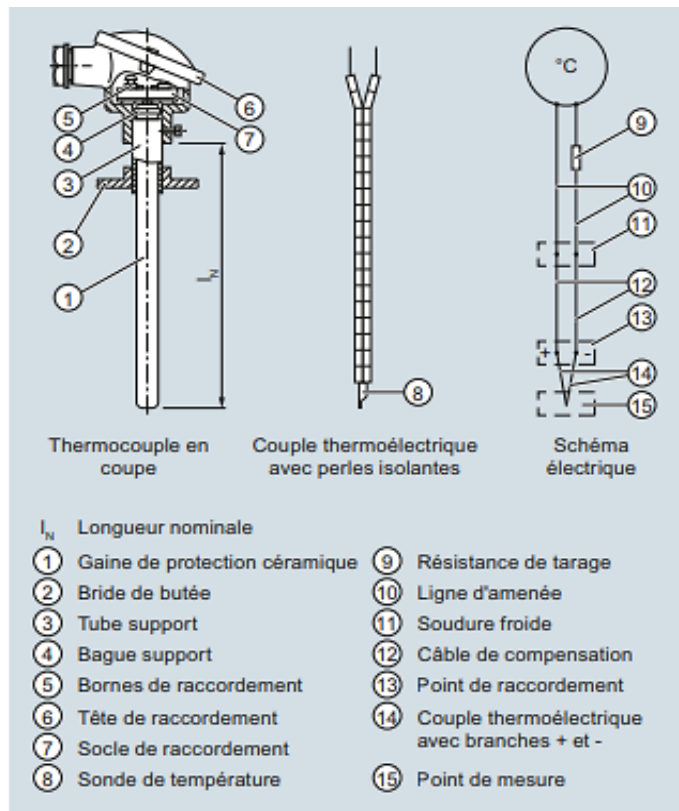


Figure 2.6. Les éléments du thermocouple

a.4 Caractéristique techniques

Couples thermoélectriques Ni Cr/Ni (Type K)

- **Nombre** : 1 ou 2
- **Diamètre de branche** : 2 ... 3 mm
- **Isolation de la branche** : Mini-gaine isolante
- **Gaine de protection** : métallique
- **Tête de raccordement** : Forme A, DIN 43729 ; en alliage léger, avec une entrée de câble

a.5 Mode de fonctionnement

A partir des bornes de la tête du thermocouple, Les thermocouples sont reliés par des fils de compensation jusqu'à une position où la température est maintenue constante (soudure froide). Les lignes de compensation ont les mêmes couleurs de repérage que les éléments correspondants des thermocouples, le pôle positif est rouge.

Il faut respecter la polarité des liaisons, sinon, il faut s'attendre à de grosses erreurs de mesure. Jusqu'à 200°C, les valeurs de base et les tolérances des thermocouples sont également valables pour les lignes de compensation associées.

a Pyromètre

Le pyromètre infrarouge est un système instrumental servant à mesurer la température d'un objet à distance, ils sont surtout indiqués pour les applications nécessitant des capteurs conventionnels. Tel est le cas pour les objets en mouvement ou pour les endroits où une mesure sans contact est requis à cause de possibles pollutions ou d'autres influences négatives. [10]



Figure 2.7. Capteur infrarouge

b.1 Le principe de fonctionnement

Est basé sur la mesure des radiations de l'objet dans le domaine de l'infrarouge d'où le nom de pyromètre infrarouge. Le choix d'un capteur de température doit se faire selon le type d'application, en tenant compte des conditions ambiantes, des plages de température et de la précision de mesure souhaitée.

Pour mesurer des températures supérieures à 200°C (métallurgie, fonderies, verreries...), on utilise des pyromètres optiques ou infrarouges, qui mesurant l'énergie émise dans l'infrarouge



Figure 2.8. Capteur optique infrarouge mesure à haut température

2.3.2 Les actionneurs

Les actionneurs transforment les ordres de la partie commande en action dans la partie opérative. Ces actions peuvent être mécaniques, hydraulique, pneumatique, etc.

L'étenderie contient des actionneurs de types différents. Ils sont comme suit :

a Les Positionneurs (SIPART PS2)

En régulation industrielle, le positionneur est un mécanisme utilisé pour piloter à distance l'ouverture d'une vanne. Il permet de stabiliser le clapet de la vanne dans la position voulue selon la consigne fournie par le régulateur. Ce positionnement est rapide et fidèle, en dépit des perturbations du système. Parmi ses différents types nous intéressons au Positionneur électropneumatique surtout le SIPART PS2 de la marque Siemens.

a.1 Le SIPART PS2

De Siemens est un positionneur électropneumatique, convertisseur I/P (intensité/pression) recevant une commande du régulateur en mA (4-20 mA), et la transforme à un signal pneumatique en bar (0.4-4 bar) vers l'actionneur.

IL assure un fonctionnement sûr et sans problème dans une très large gamme d'industries de processus dans le monde entier depuis 20 ans. Il se distingue particulièrement par sa polyvalence. Disponible en option avec boîtier en Makrolon, en aluminium, en acier inoxydable ou en acier antidéflagrant.

Le positionneur de la vanne contrôle en toute sécurité et de façon fiable la gamme complète de la vanne de régulation. Peut en outre gérer des applications difficiles, et bien équipé pour toutes les conditions ambiantes.



Figure 2.9. Positionner électropneumatique SIPART PS2

a.2 Caractéristiques

- ✚ **Modèle :** SIPART PS2 i/p Positioner
- ✚ **Numéro du type :** 6DR5010-0NG00-0AA0
- ✚ **Energie auxiliaire :**
- ✚ **Pression :** 1.4...7 bar. (Suffisamment supérieure à la pression max de réglage)
- ✚ **Simple effet**
- ✚ **Angle de rotation :** 0 ... 90 °
- ✚ **Température ambiante :** -30 ...+80°C
- ✚ **Enceinte :** Aluminium
- ✚ **Signal de consigne :** 4...20mA

a.3 Principe du fonctionnement

La pression aléatoire de l'air comprimé exerce un effort d'ouverture sur la vanne et déstabilise sa position de consigne, d'où la nécessité de mesurer la position de la tige, valeur réelle, qui est retournée au positionneur

Le positionneur va agir sur la pression de commande, pour l'auto-maintien de la commande. Le système requiert souvent une recopie de position. [10]

- **simple effet**

Dans la technique de positionneur à simple effet, l'unique entrée d'air (située sur l'une des extrémités du cylindre), ne permet la poussée du piston que dans un sens (ouverture ou fermeture). Le mouvement inverse est purement mécanique : un ressort, comprimé pendant la phase motrice, se détend dès que la pression est relâchée.

- 1 : Positionneur électropneumatique
- 2 : Valeur de consigne arrivée de l'API
- 3 : Valeur Réel
- 4 : recopie de position

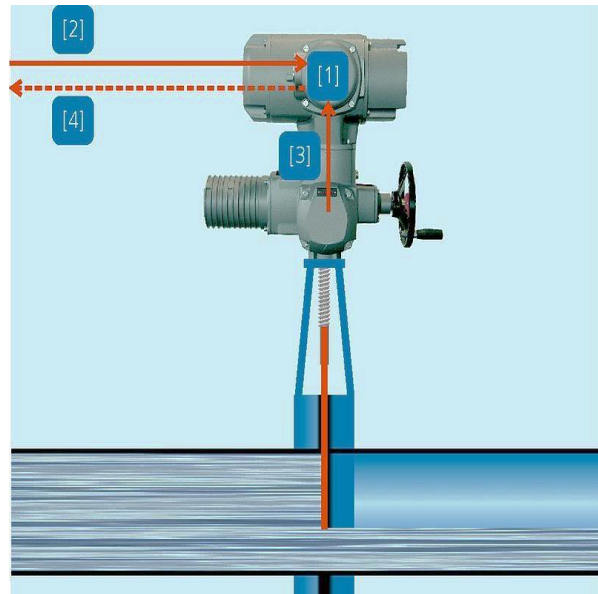


Figure 2.10. Principe de régulation de vanne avec positionneur

a Vanne de régulation

Les vannes de régulation ont pour fonction de réguler une pression, un débit ou une température. Elles sont utilisées dans une boucle de régulation qui prévoit en général un capteur, un régulateur et une vanne de régulation, munie ou non d'un positionneur.



Figure 2.11. Symbole vanne

b.1 Vanne pneumatique

Les vannes pneumatiques font partie d'un ensemble de composants responsables du contrôle de la pression, de la vitesse et de la quantité d'air qui circule dans un système pneumatique. Les systèmes pneumatiques, qui dépendent de la force de l'air comprimé pour transmettre la puissance, peuvent être trouvés dans d'innombrables applications industrielles.

Le grand inconvénient concernant cette vanne c'est que plus tard devienne mal fonctionné à cause de l'air comprimé surtout la période d'hiver. Car l'air sera humide



Figure 2.12. Vanne pneumatique

2.3.3 Armoire Electrique

L'armoire électrique regroupe tous les appareillages électriques pour les circuits de puissance et de commande de l'étenderie.

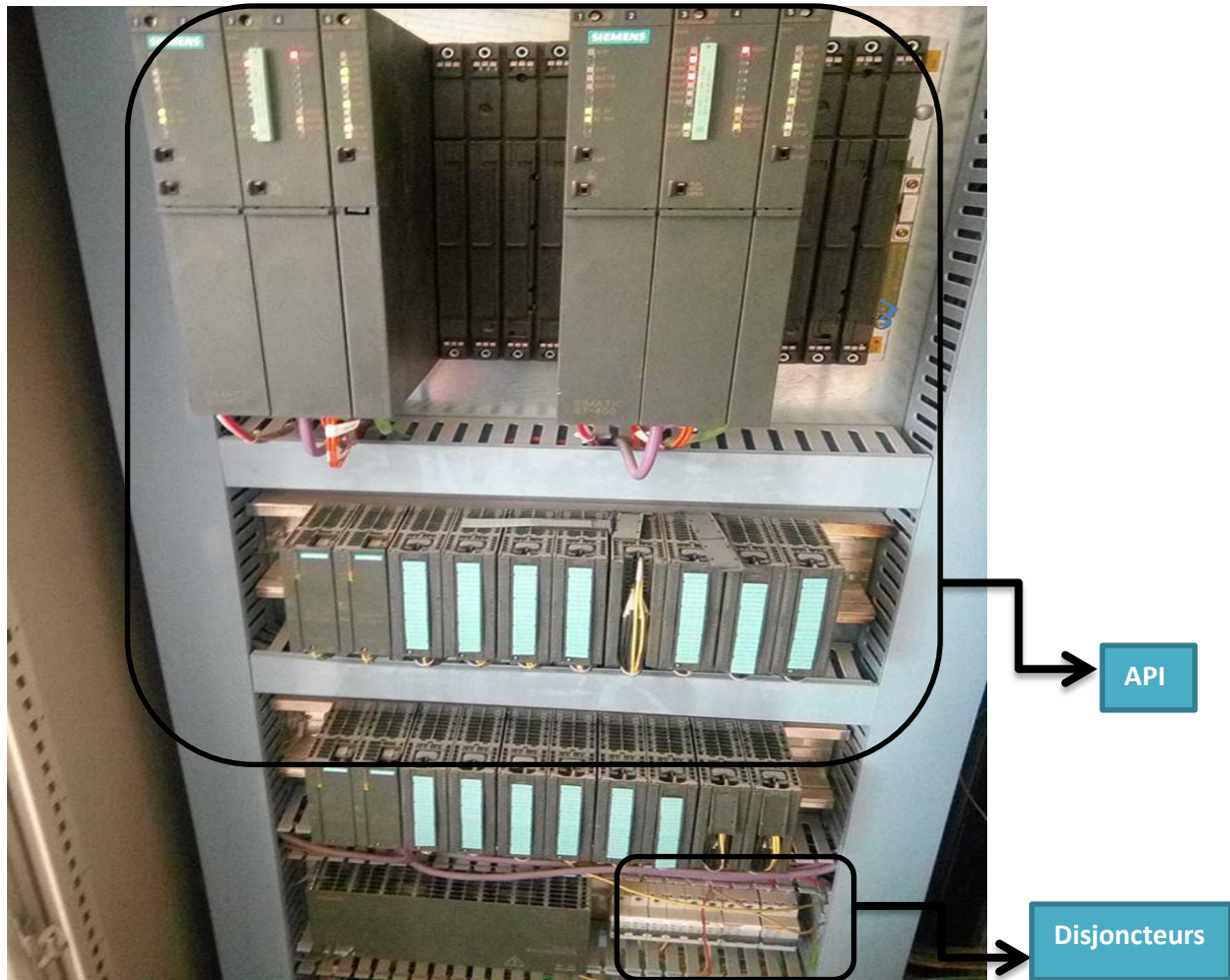


Figure 2.13. Vue intérieur de l'armoire électrique

***a* Automate programmable industriel (API)**

L'API est destinée au contrôle-commande d'une machine ou d'un procédé. Et le contrôle de chaque positionneur était fait grâce à un automate de la série S7-400 qui est une plateforme d'automatisation conçue pour l'industrie manufacturière et le génie des procédés. [13]



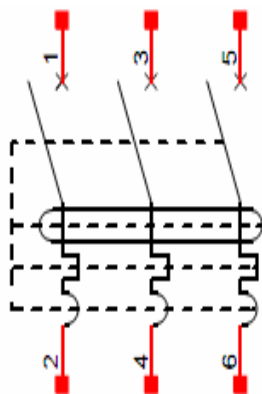
Figure 2.14. S7-400

a Disjoncteurs

Les disjoncteurs sont conçus pour ouvrir et fermer manuellement le circuit d'un moteur et pour ouvrir le circuit automatiquement si le courant dépasse une limite prédéterminée. On peut réenclencher le disjoncteur après une ouverture anormale. Souvent, on utilise le disjoncteur manuel au lieu d'un sectionneur.



**Disjoncteur différentiel
Bipolaire**



Symbole



**Interrupteur tripolaire
De puissance**

Figure 2.15. Différents types de disjoncteurs

2.3.4 La supervision des procédés

a Salle de commande

La salle de commande permet de surveiller et de réguler tous les paramètres de l'étenderie et du verre.

Un système de commande moderne est prévu pour le procédé du verre plat.

Il comprendra des systèmes automatisés et des commandes numériques pour l'atelier de composition, le four de fusion, le bain, l'étenderie et les utilités.

Le fonctionnement de l'installation sera commandé à partir de la salle de commande centrale qui est située à proximité du four, pour le fonctionnement de secours, les essais et l'entretien. Chaque machine sera équipée de ses propres commandes locales.

a.1 Le contrôle

Pour le contrôle du changement des températures et l'ouverture de la vanne dans chaque zone de l'étenderie, on trouve toutes ces informations au niveau du DCS « Distributed Control System » sur un écran relié au système avec la possibilité de modifier les paramètres enregistré sur. [8]

- 1/ température consigne
- 2/ température mesurée °c
- 3/ ouverture de la Vanne %
- 4/ Auto/Manuel



Figure 2.16. Contrôle de la zone B2

5/ Paramètre PID

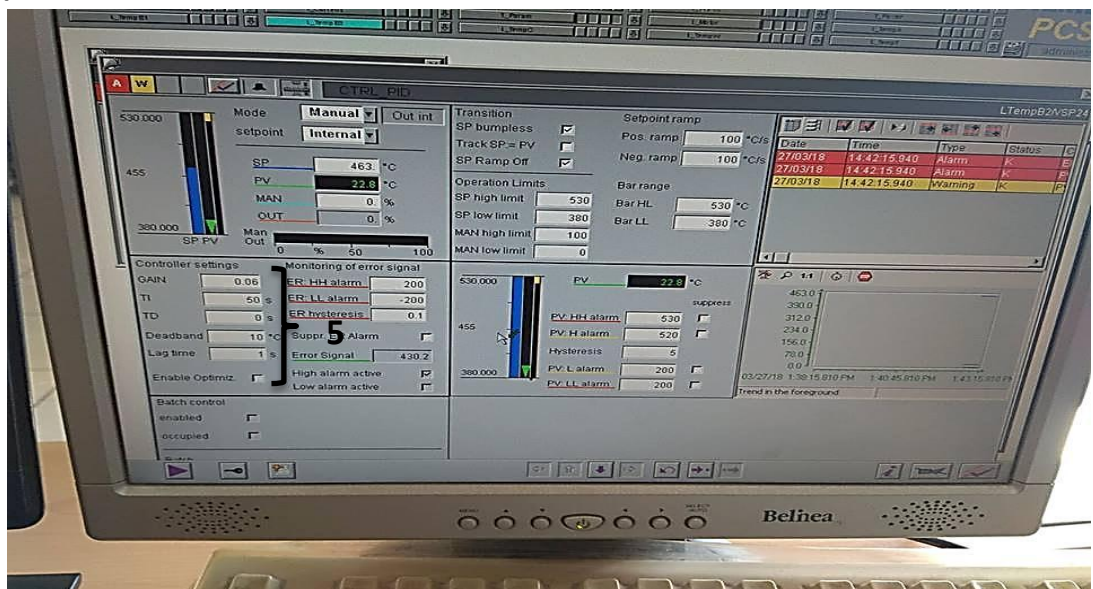


Figure 2.17. Paramètre de VPS24 de la zone B2

2.4 Instrumentation proposé

2.4.1 Actionneur proposé

Nous avons proposé de remplacer la vanne pneumatique avec une vanne électrique. En effet l'ancienneté d'une part, et les inconvénients de la vanne pneumatique d'autre part sont les raison principales de cette amélioration.

a Vanne électrique

La société BERNARD CONTROLS a acquis, au cours des dernières décennies, une excellente réputation sur le marché du servomoteur quart de tour en offrant une large gamme de produits aux caractéristiques suivantes [6] :

- ✓ Capacité et couple de sortie élevé.
- ✓ Mécanique irréversible maintenant la vanne en position lorsque le servomoteur est hors tension.
- ✓ Très bonne résistance aux vibrations
- ✓ Réglages extrêmement simple ne nécessitant aucun outillage spécifique.
- ✓ Commande manuelle de secours et indicateur de position mécanique font partie de l'équipement standard.



Figure 2.18. Vanne électrique

Avec ces servomoteurs de régulation classe III, il est possible d'atteindre des positions intermédiaires, en moyenne 360 fois par jour (jusqu'à 1200 démarrages par heure en pic de fonctionnement), avec une précision meilleure que 2%. [6]

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé une étude et analyse des différentes procédures du fonctionnement des instruments du refroidissement et les différents procédés de commande, contrôle et protections de l'étenderie.

3.1 Introduction

La commande PI ou le régulateur, se compose de deux termes P et I, d'où le 'P' correspond au terme proportionnel et 'I' pour terme intégrale de la commande. Qui est probablement le plus largement utilisé dans le contrôle industriel.

Ce chapitre a pour but, d'améliorer la commande PI pour un objectif est d'annuler l'erreur statique, diminuer le dépassement, diminuer le temps de réponse.

3.2 Partie Théorique

3.2.1 Objectif de la régulation automatique

L'objectif d'une régulation ou d'un asservissement automatique d'un procédé est de le maintenir le plus près possible de son meilleur fonctionnement.

3.2.2 Principe général de la régulation et la chaîne de régulation automatique

La régulation automatique est l'ensemble des techniques qui permettent de contrôler une grandeur physique, sans intervention humaine, pour la maintenir à une valeur donnée, appelée Consigne. Il faut alors comparer, en permanence la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle que l'on souhaite obtenir et agir en conséquence sur la grandeur d'action, dite grandeur réglant. On a dans ce cas, constitué une boucle de régulation. [20]

a La boucle de régulation

Une boucle nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de moyens de mesure, de traitement de signal ou de calcul, d'amplification et de commande d'actionneur, constituant une chaîne d'éléments associés : la chaîne de régulation. [9]

Toute chaîne de régulation comprend trois maillons indispensables : l'organe de mesure, l'organe de régulation et l'organe de contrôle. Il faut donc commencer par mesurer les principales grandeurs servant à contrôler le processus, l'organe de régulation récupère ces mesures et les compare aux valeurs souhaitées, plus communément appelées valeurs de consigne. En cas de non-concordance des valeurs de mesure et des valeurs de consigne, l'organe de régulation envoie un signal de commande à l'organe de contrôle (vanne...), afin que celui-ci agisse sur le processus.

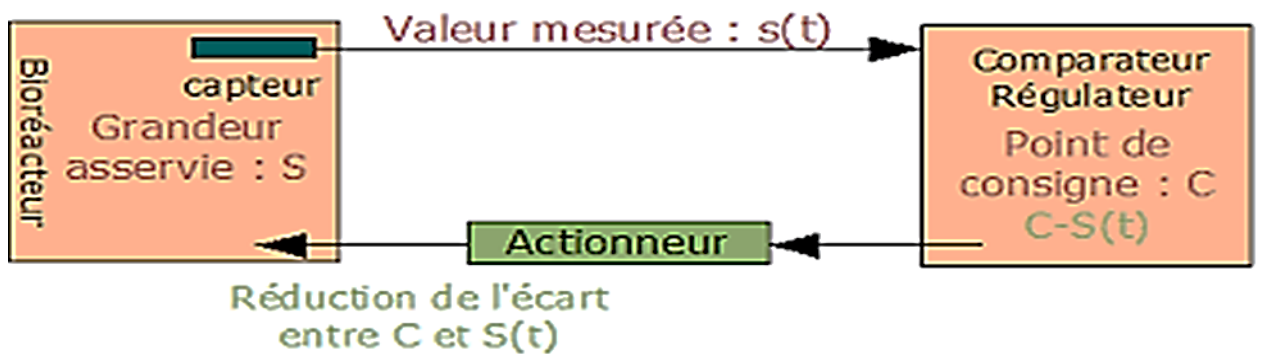


Figure 3.1. . Schéma de principe d'une chaîne de régulation




- **L'organe de mesure** : le capteur qui mesure la température et les envoient au API, dans notre cas c'est le thermocouple.
- **L'organe de régulation** : Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel intégral dérivé), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse, ...) d'un processus
 - **P** l'action proportionnelle.
 - $I = \frac{1}{T_i}$ (min-1 en général) : est l'action intégrale.
 - **D = Td** (s en général) : est l'action dérivée.

- **L'organe de contrôle** : le pré-actionneur et l'actionneur qui agisse sur le processus jusqu'à ce que la mesure atteigne la consigne.

Le choix des éléments de la chaîne de régulation est dicté par les caractéristiques du processus à contrôler, ce qui nécessite de bien connaître le processus en question et son comportement.

3.2.3 Les performances d'une régulation

Peuvent se définir à partir de l'allure du signal de mesure suite à un échelon de consigne. 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.
-  **Précision** : L'exploitant demande à ce que le système possède une bonne précision en régime permanent.
-  **Rapidité** : On demande en pratique que le système soit capable rapidement de compenser les perturbations et de bien suivre la consigne.

3.2.4 Identification du procédé

L'identification a pour objectif de rechercher la fonction de transfert du procédé à réguler, c'est-à-dire un modèle mathématique représentant le plus fidèlement possible le comportement du ce procédé autour de son régime nominale, car la fonction de transfert réelle d'un processus industriel est pratiquement impossible à déterminer, parce-que ils sont en général non linéaires sur toute leur plage de fonctionnement. C'est pourquoi on se limite à de faibles variations autour d'un point de fonctionnement ou régime nominale.

3.2.5 Identification en boucle ouverte

a Méthodologie

Pour la recherche des paramètres de la fonction de transfert, on applique une variation d'entrée U (échelon) et on observe l'évolution de la variation de la mesure $Y(t)$ (la grandeur réglée). (Figure 3.2)

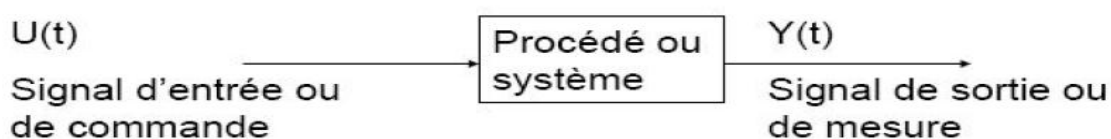


Figure 3.2. Schéma simplifié du procédé.

Pour cela nous avons fait une expérience sur l'une des vanne du bord au niveau de la zone B2 de l'étenderie (VSP24), et après avoir fixé la consigne et chauffé le thermocouple, nous avons suivi le signal de sortie celui de l'ouverture de la vanne, Et noté la position de la vanne jusqu'il atteint la consigne. On obtient les valeurs et le signal suivant :

Temps(s)	0	1	4	7	10	12	15	18	21	24	27	29	32	35	38	41	43	46	49	52	55	57	60	63	66	69	71
position%	0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,6	1,3	1,4	1,5	1,5
	74	77	80	83	86	88	91	94	97	99	102	105	108	111	116	119	122	125	128	133	142	147	153	158	167	172	178
	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4
	186	192	201	209	217	226	237	257	267	279	290	307	327	358	389	436	439	441	444								
	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,7								

Tableau 3.1 : représente la position en fonction du temps

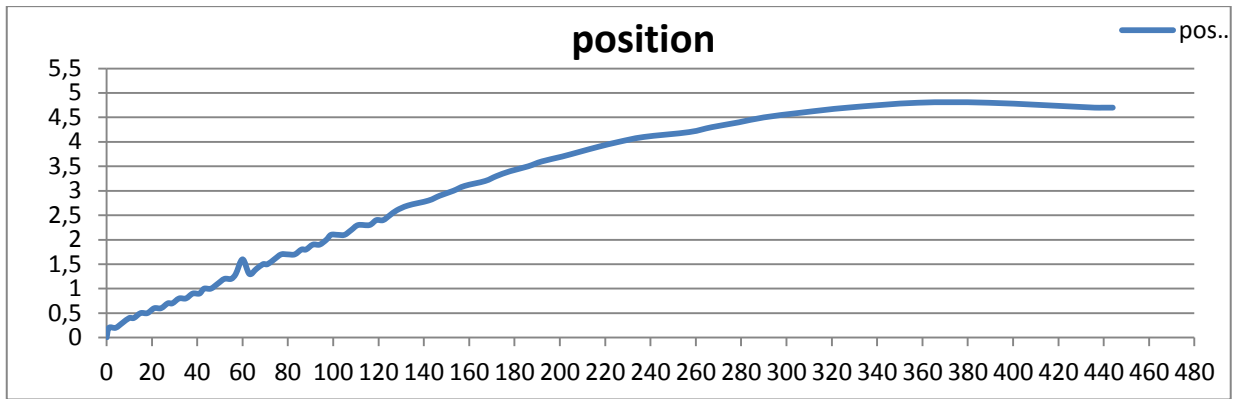


Figure 3.3. Signal observé de la grandeur réglée $Y(t)$

B Méthode de Broïda

Broïda s'intéresse aux processus stables, et procède à une identification en boucle ouverte. Mais il simplifie en considérant que la forme de la réponse peut être assimilée à un retard pur τ (Figure 3.4)

$$Y(s) = K \frac{e^{-\tau s}}{1+Ts} \quad (3.1)$$

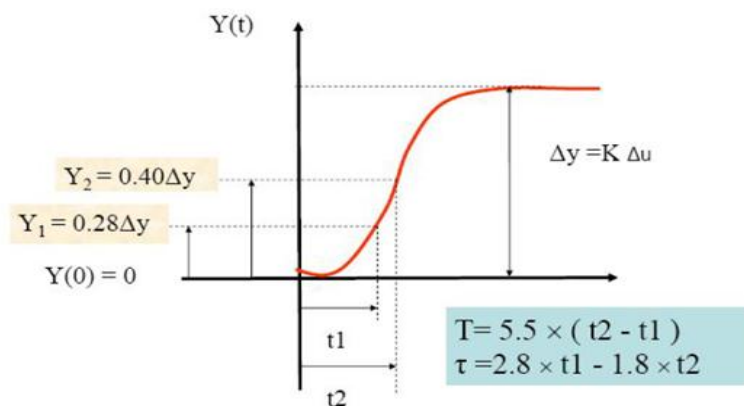


Figure 3.4. La réponse $Y(t)$ (de modèle de Broïda) suite à un échelon d'entrée $U(t)=\Delta u$

D'après notre courbe :

$$U(t) = \Delta u = 50^\circ\text{c} \quad (\text{la consigne})$$

$$\Delta y = 4.7 \% \quad (\text{d'après le tableau})$$

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad (3.2)$$

$$K = 0.094 \text{ \%/}^\circ\text{C}$$

$$Y_1 = 0.28 * \Delta y \quad (3.3)$$

$$Y_1 = 0.28 * 4.7 = 1.3 \rightarrow t_1 = 60 \text{ s (d'après fig3.3 et le tableau)}$$

$$Y_2 = 0.40 * \Delta y \quad (3.4)$$

$$Y_2 = 0.4 * 4.7 = 1.8 \rightarrow t_2 = 91 \text{ s (d'après fig3.3 et le tableau)}$$

$$T = 5.5 * (t_2 - t_1) \quad (3.5)$$

$$T = 5.5 * (91 - 60) = 170.5 \text{ s}$$

$$\tau = 2.8 * t_1 - 1.8 * t_2 \quad (3.6)$$

$$\tau = 2.8 * 60 - 1.8 * 91 = 4.2 \text{ s}$$

Donc d'après (3.1)

$$Y(s) = 0.094 * \frac{e^{-4.2s}}{1 + 170.5s}$$

Le modèle de Broida donne un modèle correct si $T > 4\tau$.

$$T = 4 * \tau = 16.8 < 170.5 = T$$

Après le calcul de la fonction de transfert $Y(s)$, notre boucle de régulation est de la forme suivante: (Figure 3.5)

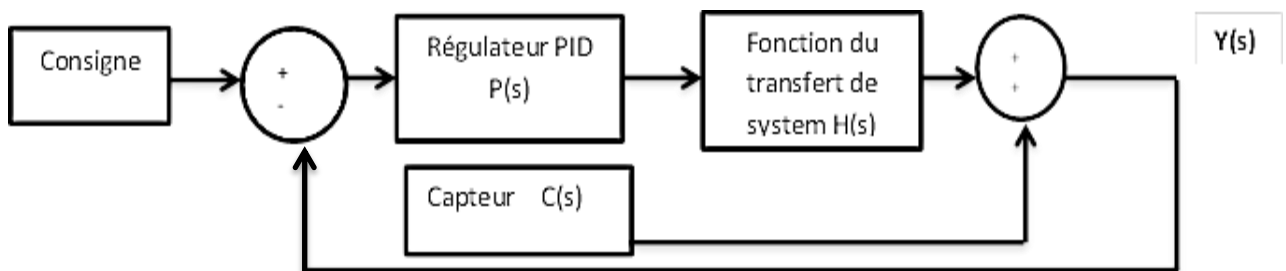


Figure 3.5. Boucle de régulation

Avec :

$P(s)$: la fonction de transfert du régulateur PI

$H(s)$: la fonction de transfert du système

$C(s)$: la fonction de transfert du capteur (thermocouple)

$Y(s)$: la fonction de transfert de la sortie

c Calcul de la fonction de transfert du système $H(s)$

D'après notre boucle :

$$Y(s) = \frac{P(s)*H(s) + C(s)}{1 + P(s)*H(s) + C(s)} \quad (3.7)$$

Et d'après notre expérience et (3.1) :

$$Y(s) = 0.094 * \frac{e^{-4.2s}}{1 + 170.5s} \quad (3.8)$$

Avec :

$$\checkmark P(s) = k * \left(1 + \frac{1}{T_i * s}\right) \quad (3.9)$$

$K_p = 0.06$, $T_i = 50$, (D'après les paramètres de la vanne)

$$P(s) = 0.06 * \left(1 + \frac{1}{50s}\right) \quad (3.10)$$

$$\checkmark C(s) = 0.04 \text{ mV/}^\circ\text{C} \quad (\text{coefficient de Seebeck voir chapitre 02})$$

Et après les calculs on trouve que notre fonction contient $e^{-4.2s}$ sur le numérateur et le dénominateur, donc on utilise le développement limité d'ordre 1 pour faciliter les calculs [1] comme suit :

$$e^x = 1 + x + o(x) \quad (3.11)$$

$$e^{-4.2s} = 1 - 4.2s \quad (3.12)$$

Donc:

$$H(s) = \frac{6.409s+0.05776}{0.2041s^2+10.2549s+0.05436} \quad (3.13)$$

3.2.6 Réglage du régulateur

a Méthodes de réglage expérimental

a.1 Méthode en boucle ouverte de ziegler-nichols

On dispose de la réponse $Y(t)$ (variation de la sortie) suite à un échelon d'entrée $U(t)=\Delta u$. Avec point d'inflexion.

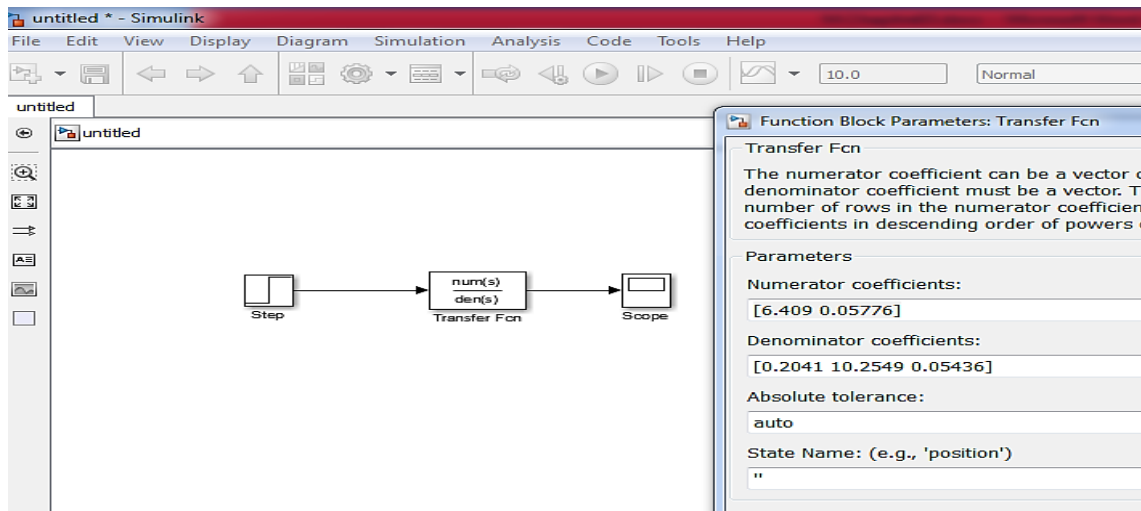


Figure 3.6. Boucle ouvert

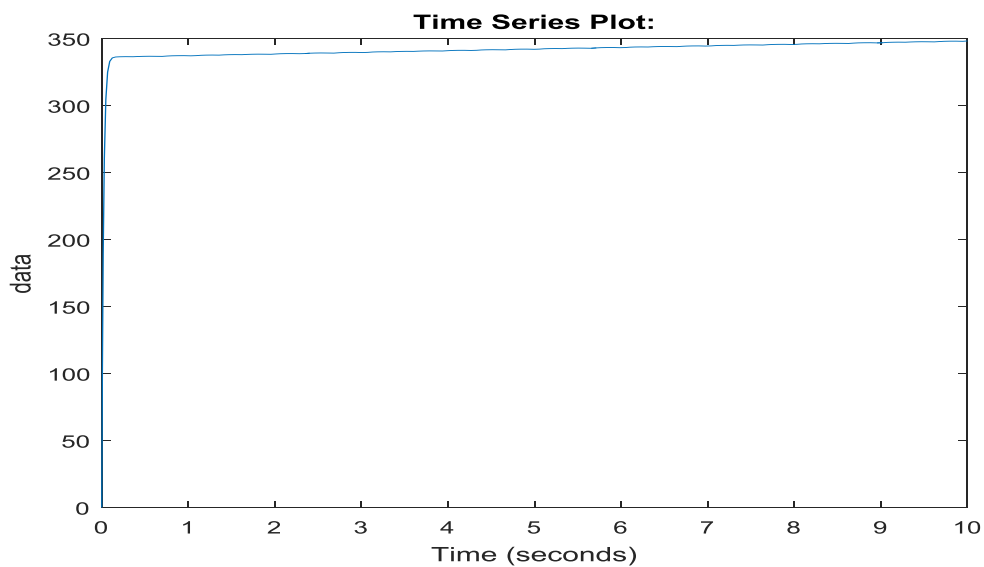


Figure 3.7. Réponse en boucle ouverte du procédé à un échelon de commande Δu

(i) Calcul les paramètres PI :

On dispose de la réponse précédente $Y(t)$ (la sortie) suite à un échelon d'entrée $U(t)=Du$, avec point d'inflexion, on trace la tangente et lire les point d'intersection avec l'échelle du temps et avec le $Y(t)_{\max}$. on obtient :

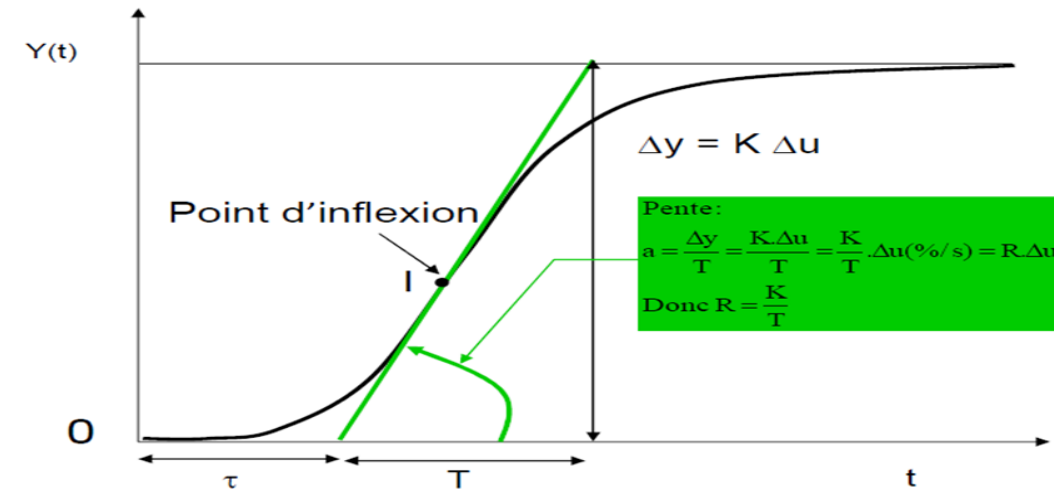


Figure 3.8. Point d'inflexion

D'après notre courbe on trouve :

$\tau = 2.8 \text{ s}$

$T = 4.38 \text{ s}$

Les valeurs des paramètres PID à régler sont données sur le tableau ci-dessous [9] (Tableau 3.2).

Type de régulateur	Gain K_p	T_i	T_d
Proportionnel P	T/τ		
PI	$0.9 \cdot T/\tau$	$3.33 \cdot \tau$	
PID	$1.27 \cdot \frac{T}{\tau}$	$2 \cdot \tau$	$0.5 \cdot \tau$

Tableau 3.2. Tableau pour calcul des paramètres PID Réglage Ziegler-Nichols en boucle ouverte.

Donc :

$$K_p = 1.4$$

$$T_i = 9.32 \text{ (second)}$$

Et d'après la formule (3.8) :

$$P(s) = 1.4 * \left(1 + \frac{1}{9.32s}\right)$$

3.2.7 Calcul les équations

Pour bien simuler le processus on doit remplacer le fonctionnement du positionneur et de la vanne par des équations qui on va les calculer d'après les paramètres et les valeurs spécifique de chaque instrument pour assurer le bon fonctionnement de la régulation. Donc on a trois équations comme suit (tous les fonctions sont linéaire):

a Equation Température / Intensité

Le signal (mA) en fonction de la différence de température (°C)

On a :

Entrée : Différence de température (T) : [0 à 60] °C

Sortie : Signal intensité (I) : [4 à 20] mA

$$Y = a*x + b \quad (3.10)$$

Donc : $I = a*T + b \quad (3.11)$

On dessine la courbe $I = f(T)$ et calcule a et b

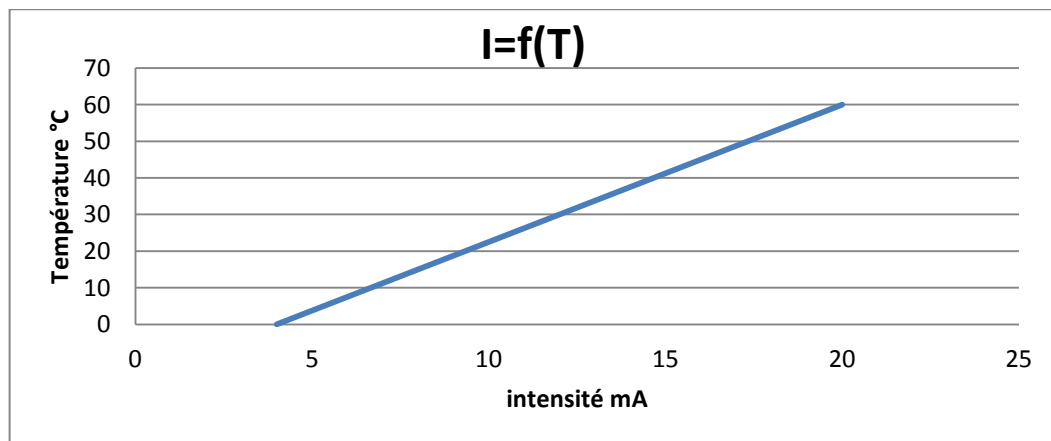


Figure 3.9. Courbe intensité en fonction de la température

$$a = \frac{\Delta I}{\Delta T} \quad (3.12)$$

$$a = \frac{20-4}{60-0} = \mathbf{0.26666 \text{ mA}/^\circ\text{C}}$$

$$b \leftrightarrow 4 = 0.26666 * 0 + b$$

$$\mathbf{b = 4 \text{ mA}}$$

$$I = 0.26666 * T + 4 \quad (3.13)$$

b Equation Intensité / Débit d'air (API / Positionneur)

Le débit d'air (bar) en fonction du signal (mA)

On a :

Entrée : intensité (I) : [4 à 20] mA

Sortie : débit d'air (D) : [0.4 à 4] bar

Donc :
$$D = a' * I + b' \quad (3.14)$$

On dessine la courbe **D=f(I)** et calcule a' et b'

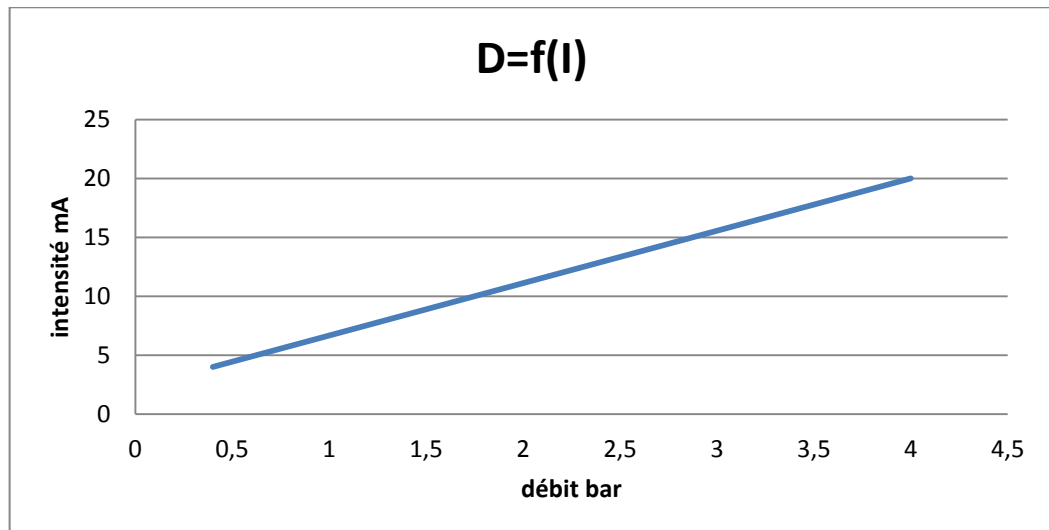


Figure 3.10. Courbe débit d'air en fonction d'intensité

$$a' = \frac{\Delta I}{\Delta D}$$

$$a' = \frac{4-0.4}{20-4} = \mathbf{0.225 \text{ mA}/\text{bar}}$$

$$b' \leftrightarrow 4 = 0.225 * 20 + b'$$

$$b = - 0.5 \text{ bar}$$

$$D = 0.225 * I - 0.5 \tag{3.15}$$

c Equation Débit d'air / Position (Positionneur / Vanne)

La position de la vanne (%) en fonction du débit d'air (bar)

On a :

Entrée : débit d'air (bar) : [0.4 à 4] bar

Sortie : position (%) : [0 à 90] %

Donc :
$$D = a'' * I + b'' \tag{3.16}$$

On dessine la courbe **D = f(I)** et calcule a'' et b''

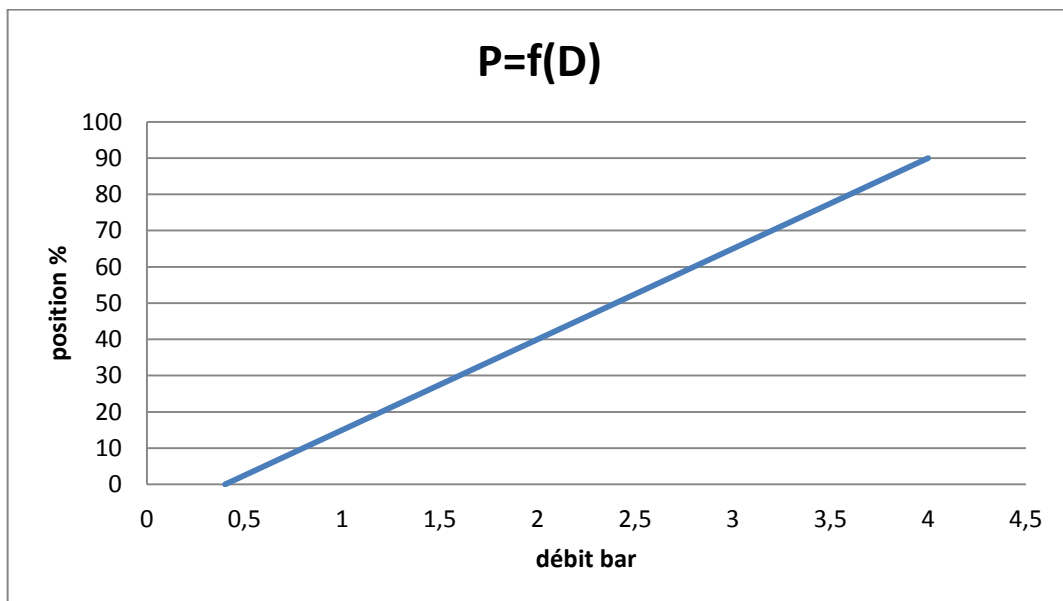


Figure 3.11. Courbe position en fonction de débit

$$a'' = \frac{\Delta P}{\Delta D}$$

$$a'' = \frac{90-0}{4-0.4} = 25 \text{ \% / bar}$$

$$b'' \leftrightarrow 0 = 25 * 0.4 + b''$$

$$b = - 10 \text{ \%}$$

$$P = 25 * D - 10 \quad (3.17)$$

d Equation Intensité / Position (API / Vanne)

La position de la vanne (%) en fonction du signal d'intensité (mA)

On a :

Entrée : intensité (mA) : **[4-20] mA**

Sortie : position (%) : **[0 à 90] %**

Donc :
$$D = m * I + n \quad (3.18)$$

On dessine la courbe **P = f(I)** et calcule m et n

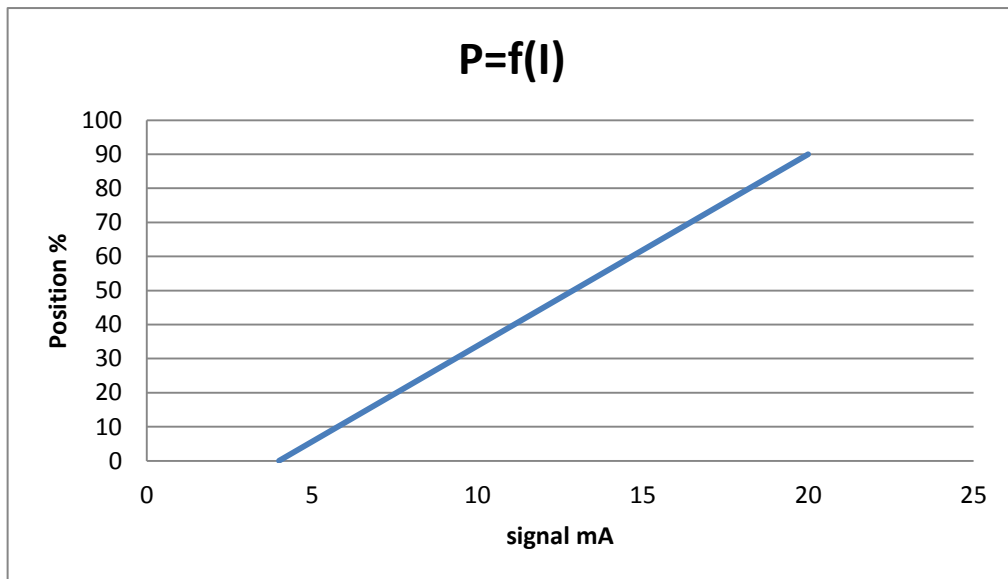


Figure 3.12. Courbe position en fonction de l'intensité

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta D}$$

$$m = \frac{90-0}{20-4} = 5.625 \% / mA$$

$$n = -22.5 \%$$

$$P = 5.625 * I - 22.5 \quad (3.19)$$

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre à l'aide des méthodes et des règles nous avons calculé les fonctions et les équations nécessaire pour simuler notre boucle dès la mesure de température jusqu'au la régulation finale avec MATLAB Simulink sur le chapitre suivant.

Chapitre 4 Simulation sous Simulink-MATLAB


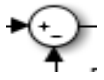

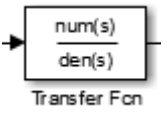
4.1 Introduction sur MATLAB / Simulink

MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple, avec ses fonctions spécialisées. Il peut être aussi considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifique [15]

Simulink est l'extension graphique de MATLAB permettant de travailler avec des diagrammes en blocs.

4.2 Blocs Simulink

On résume les blocs Simulink utilisé, leur symbole, valeur, et fonction dans le tableau suivant (**Tableau 4.1**)

Nom du bloc	Symbole	Sa fonction	Valeur
Step		Signal Échelon	538°C / 510°C (consigne/mesuré)
Sum		Sommer les signaux	
Interpreted Matlab Function		Pass the input values to a MATLAB function for evaluation	$I=f(t)$ $D=f(I)$ $P=f(D)$
Transfert Fcn		Fonction de transfert	$H(s)$




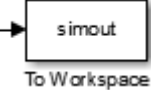
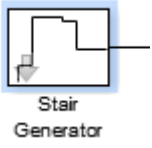
PID Controller		Régulateur PID	P I D
Display		Afficheur des valeurs	
Scope		Afficheur des signaux	
To Workspace			
Stair Generator		Générer un signal changeant à des moments précis.	

Tableau 4.1. Blocs Simulink utilisé

La régulation réelle des températures prend du temps en minutes jusqu'à des heures, mais dans nos propres simulations se fera en quelques secondes. Donc les mesures et les résultats seront de petites valeurs.

4.3 Réalisation de la Boucle de régulation en Simulink

D'après l'étude de processus, la boucle de régulation d'une seule vanne, les blocs précédents, les paramètres PID et les équations calculer. On va simuler pour les paramètres existant après pour les paramètres calculés et faire la comparaison

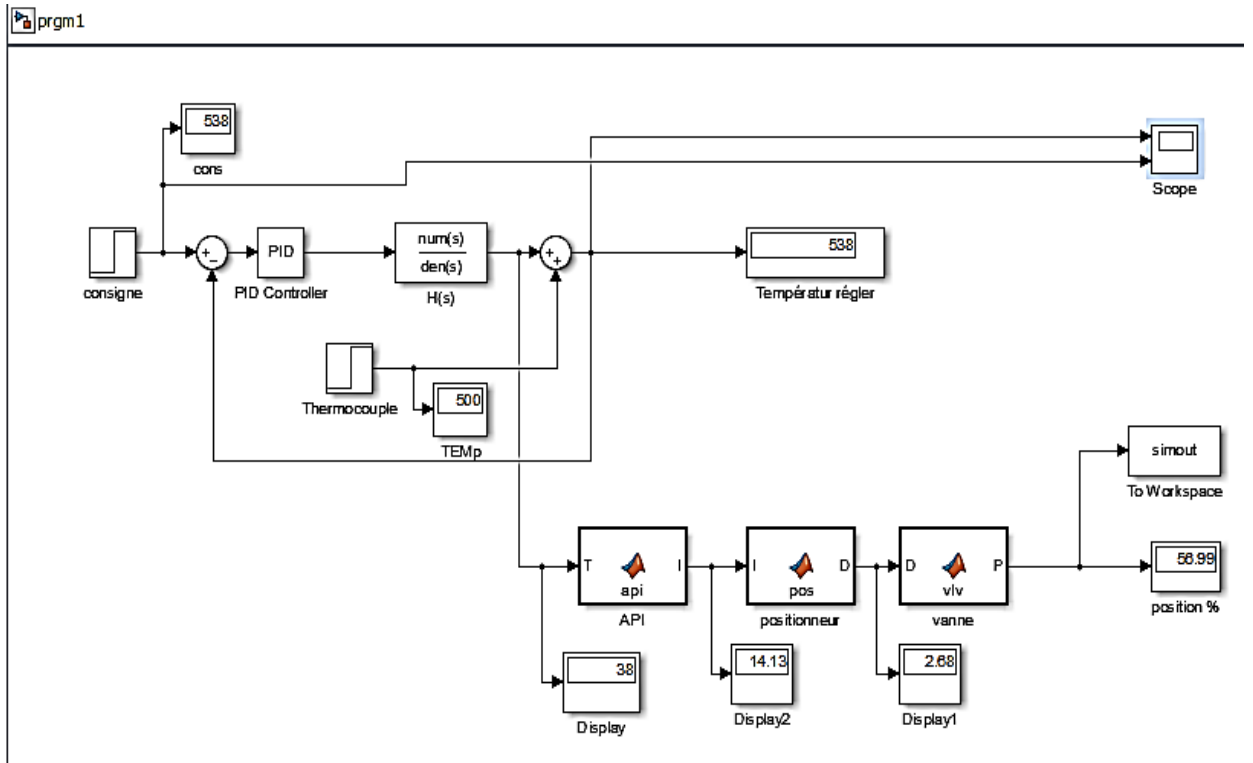


Figure 3.1. Schéma bloc de la boucle de régulation de la vanne VPS24

4.3.1 Paramètre existant

D'après le DCS on a obtenu les valeurs suivantes :

$$T_{\text{consigne}} = 538 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{mesuré}} = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 0.06$$

$$I = 50\text{s}$$

Ce que nous intéresse c'est la réference en température de la valeur et la réference de la vanne, donc on a met deux scope pour les affiché. Une à la sortie de la boucle de régulation et l'autre à la sortie de la vanne.

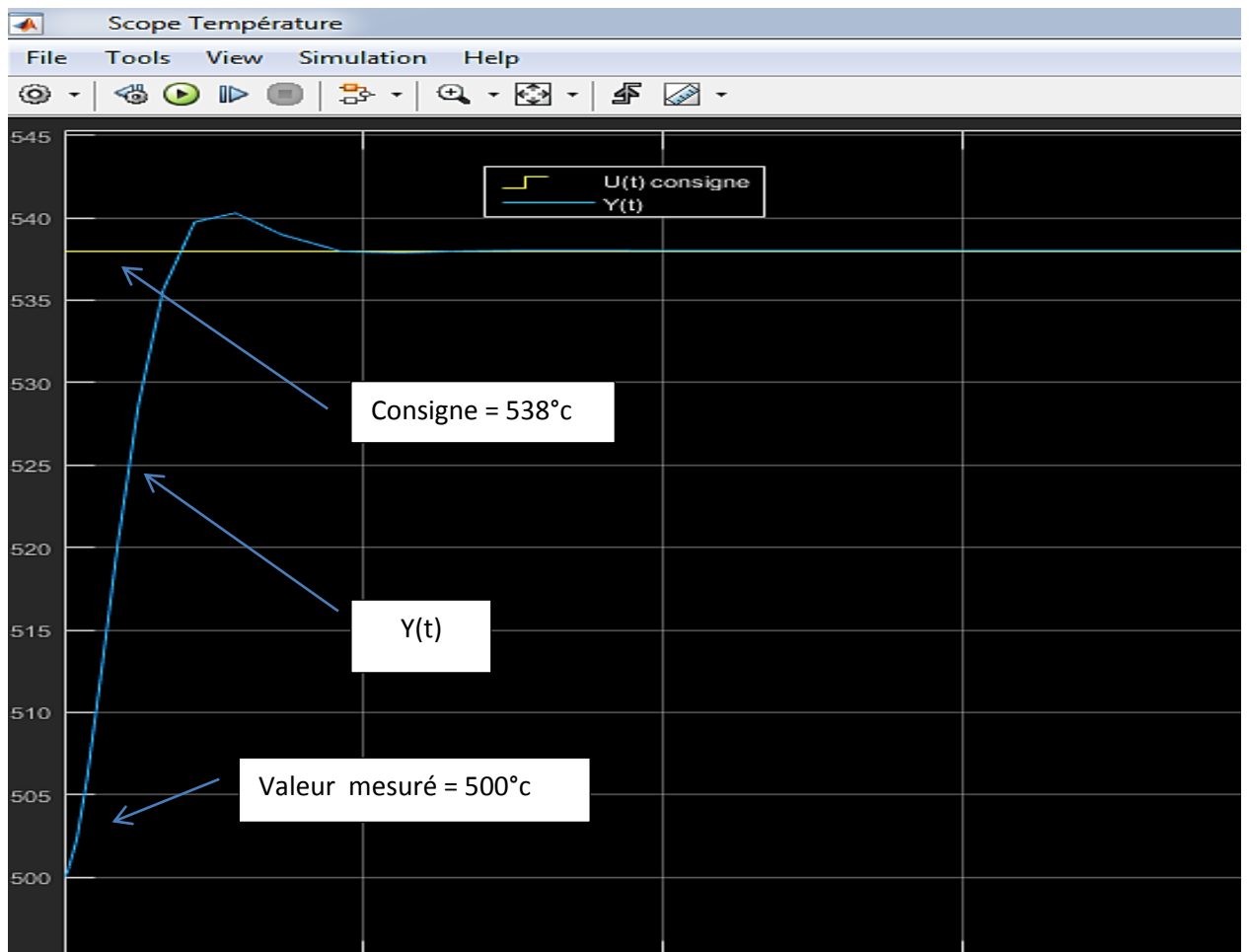


Figure 4.2. La réponse en température de la valeur réglant et la consigne

D'après les valeurs données, il est nécessaire d'ouvrir la vanne de 57.01% pour atteindre la température consigne. (**Figure 4.3**)

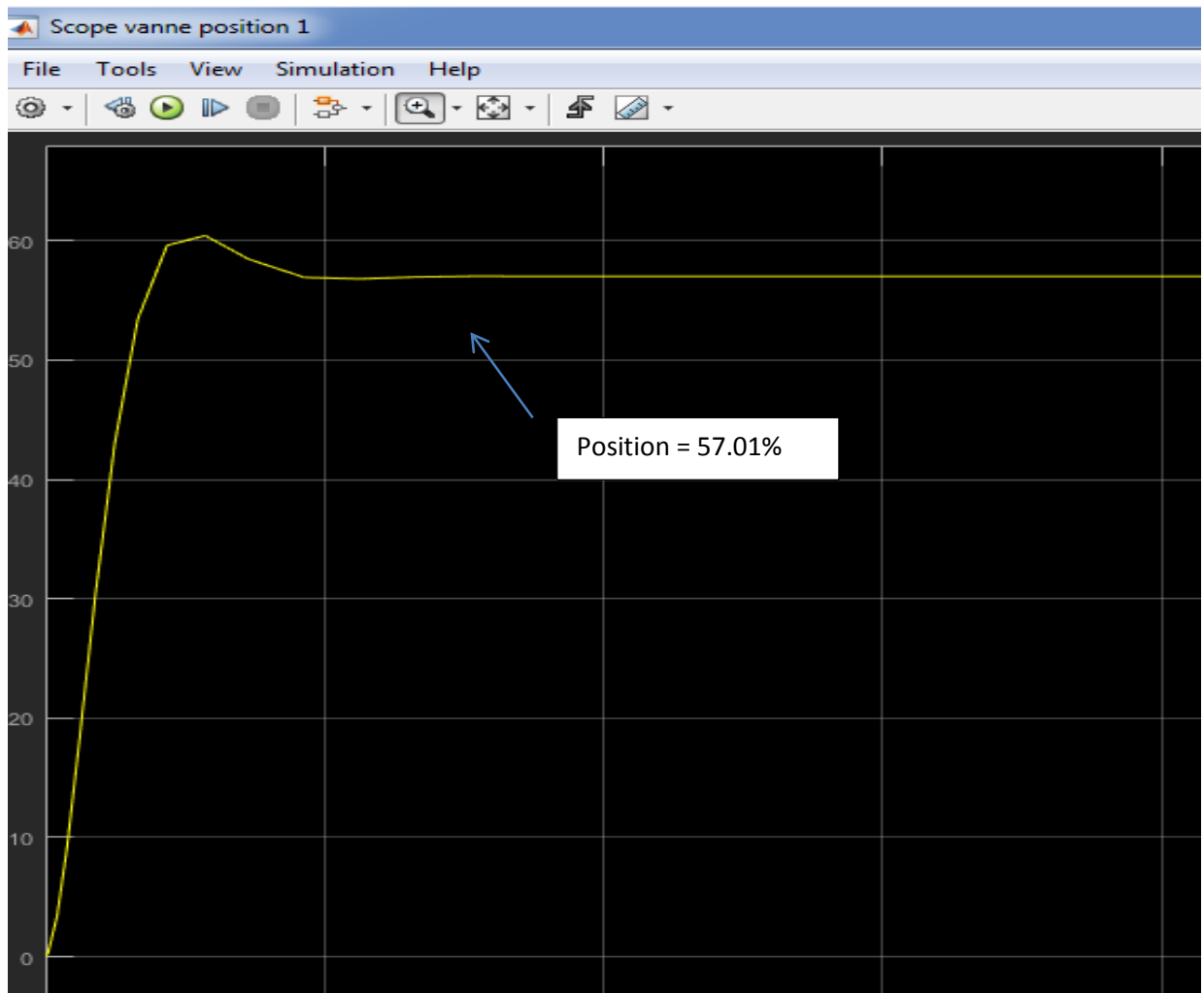


Figure 4.3. La réponse en position de la vanne

On remarque que La température mesuré a atteint la consigne avec un dépassement

✓ **Dépassement (D) :**

$$D = \frac{D-C}{c} * 100 \quad (4.1)$$

C= Consigne

D= valeur dépassé

$$D = \frac{540.43 - 538}{538} * 100$$

$$D = 0.45 \%$$

4.3.2 Paramètre calculé

D'après notre calcul (chapitre02) des paramètres PID. On a :

$$T_{\text{consigne}} = 538 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{mesuré}} = 510 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P = 1.4$$

$$I = 9.32\text{s}$$

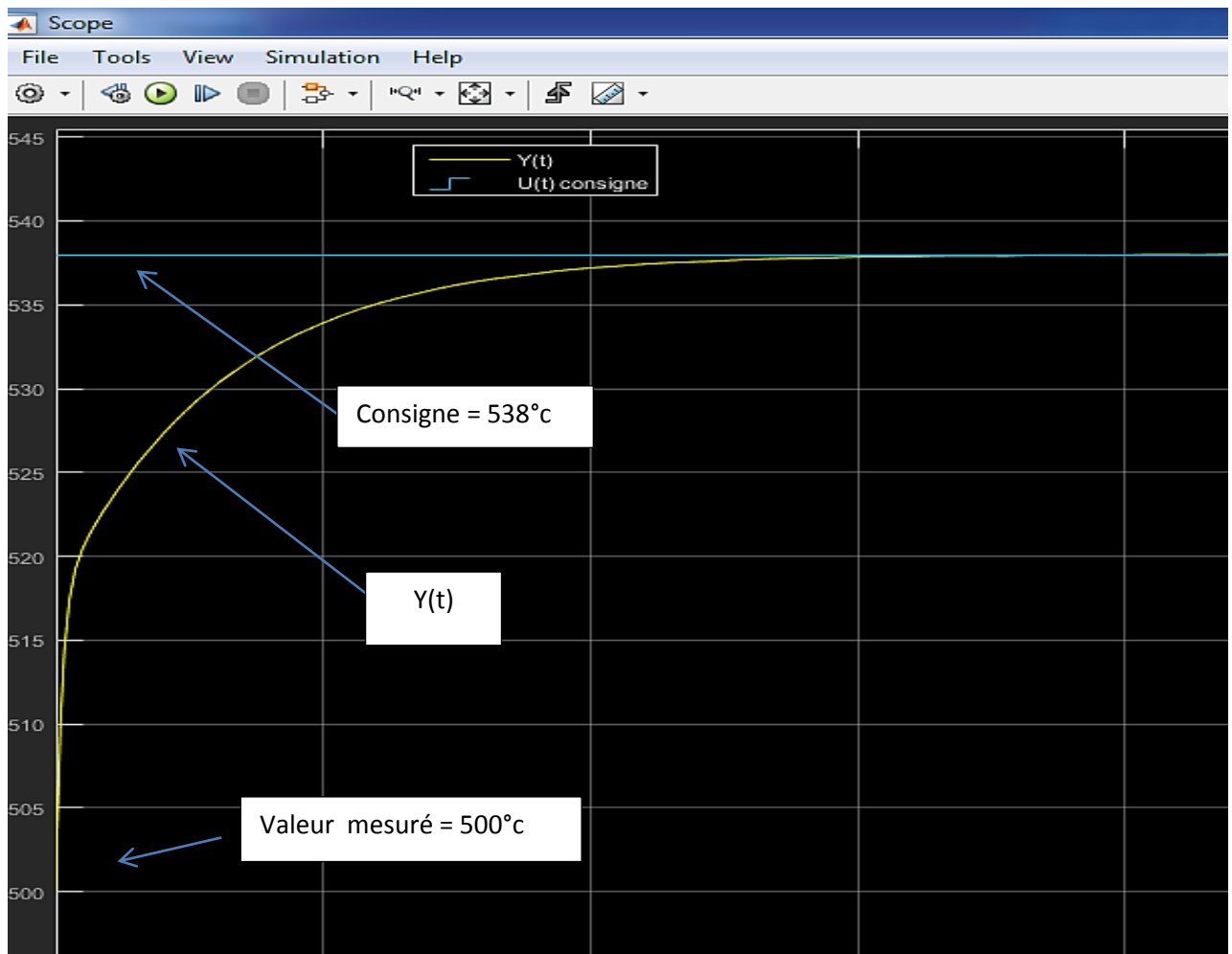


Figure 4.4. La réponse en température de la valeur réglant et la consigne

D'après les valeurs données, il est nécessaire d'ouvrir la vanne de **57.03%** pour atteindre la température consigne.

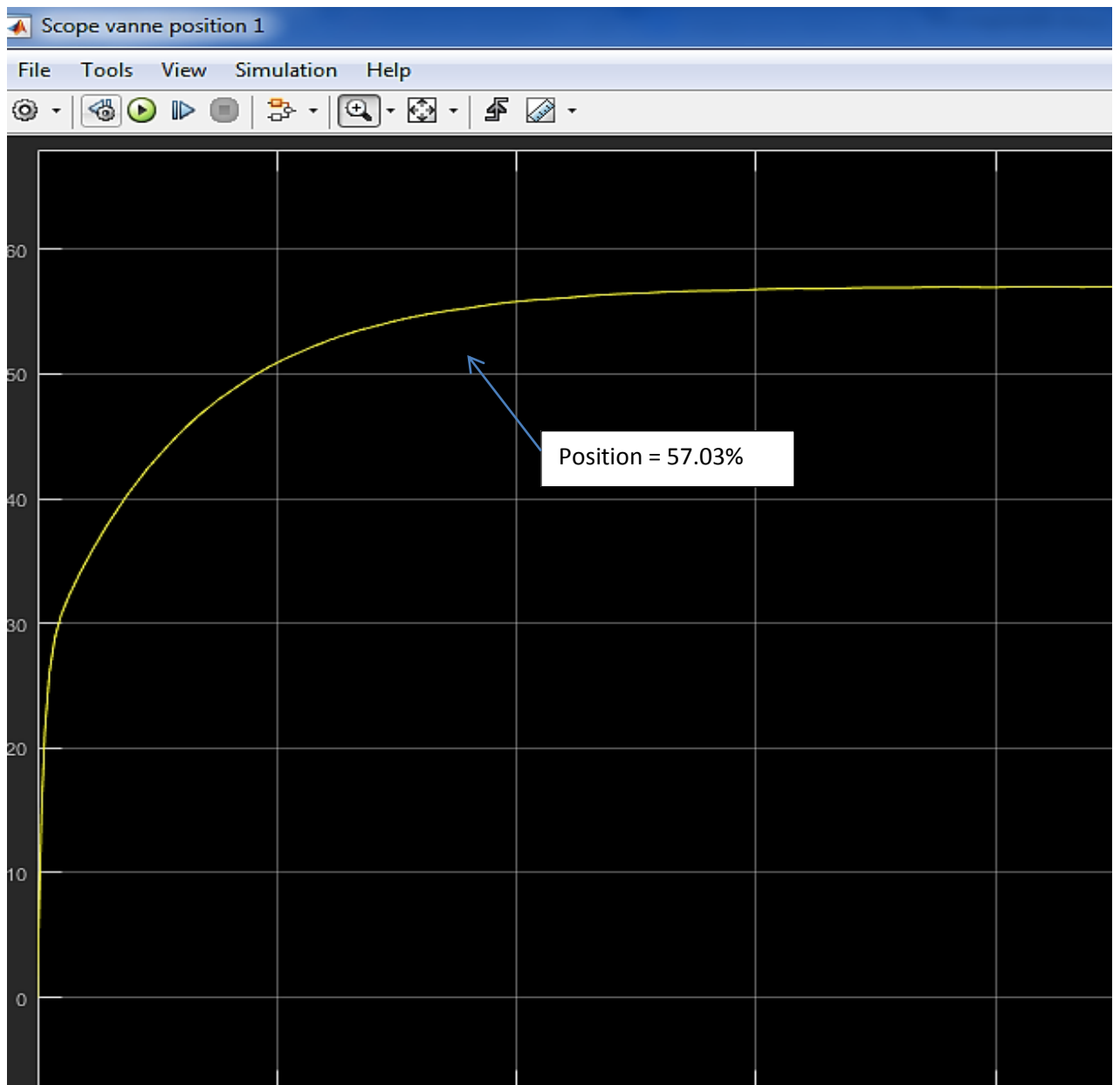


Figure 4.5. La réponse en position de la vanne

La nouvelle réponse de la température régler n'a pas un dépassement, mais un long temps d'établissement du régime stationnaire par rapport la courbe des paramètres existant. Donc on va calculer le temps de réponse pour voir la meilleure courbe.

✓ **Temps de réponse (Tr) :**

Courbe 1:

$$Tr \rightarrow \frac{95 * C}{100} \quad (4.2)$$

C= consigne

$$Tr \rightarrow \frac{95 \cdot 538}{100} = 511.1^\circ\text{C} \text{ et d'après la figure (4.6)}$$

$$Tr = 10 \text{ s}$$

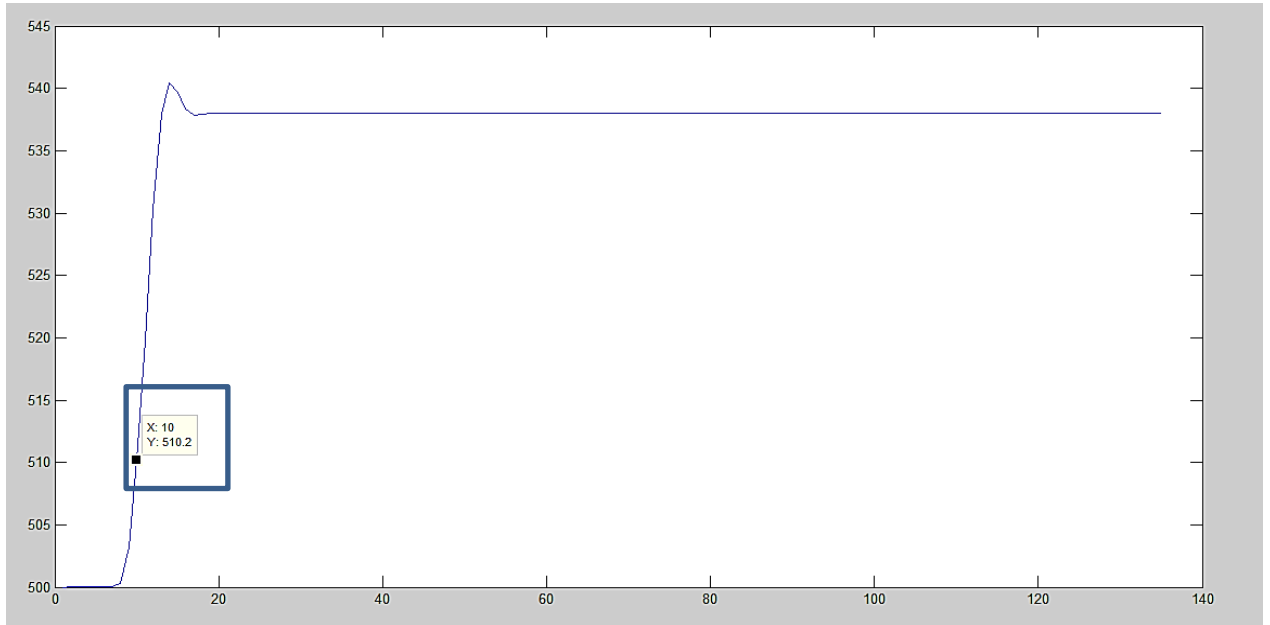


Figure 4.6. Temps de réponse de la boucle des paramètres existant

Courbe2 :

D'après la formule III.2 et la figure

$$Tr = 8\text{s}$$

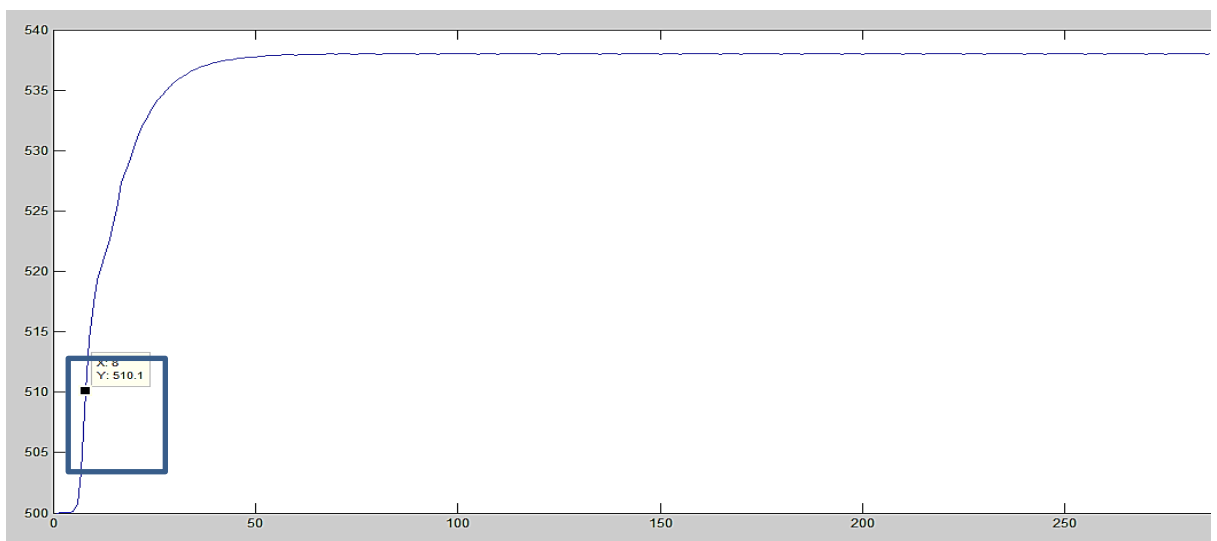


Figure 4.7. Temps de réponse de la boucle des paramètres calculé

4.4 Comparaisons

Pour bien voir la différence entre les deux cas des paramètres PID existant et calculé, on simule les deux boucle en même temps en un seule scope

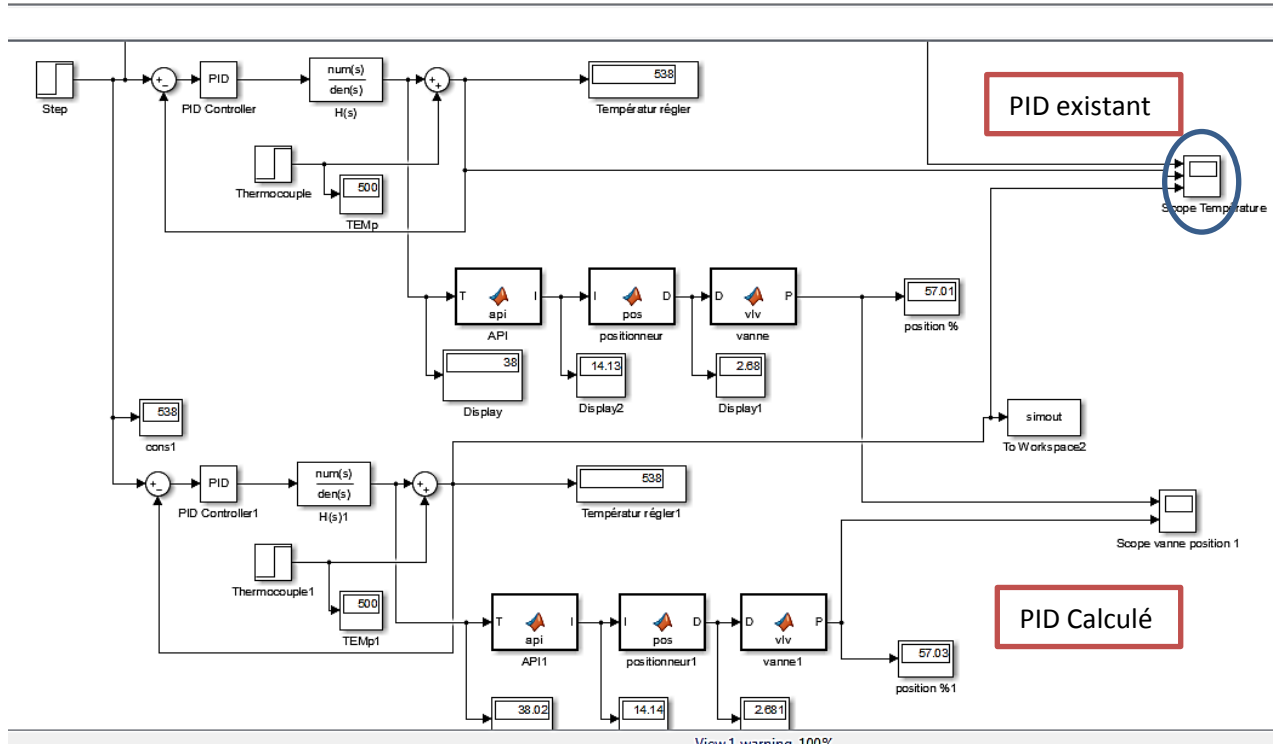


Figure 4.8. Schéma bloc des deux cas de régulation

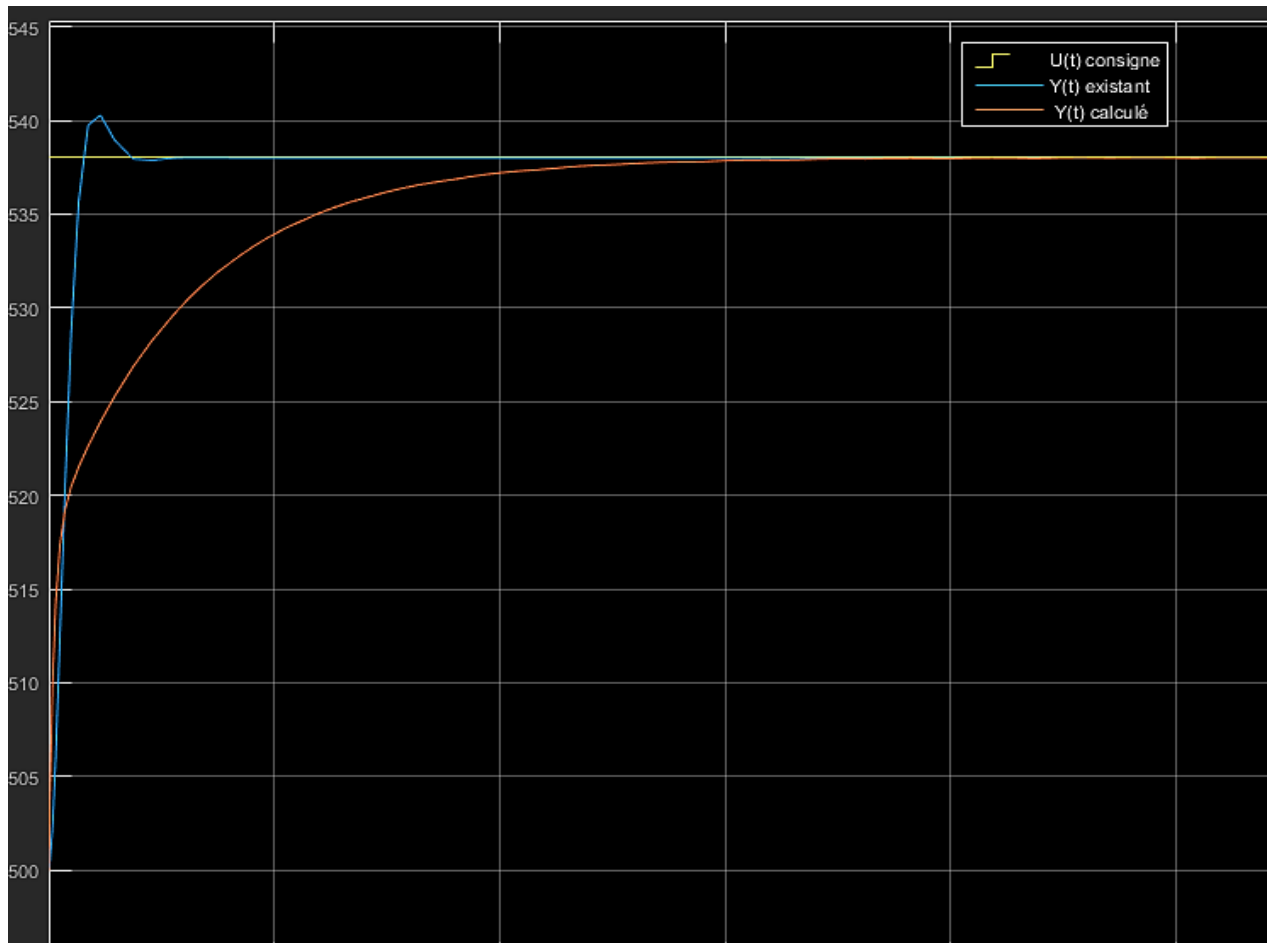


Figure 4.9. La réponse de la température des deux cas

On remarque bien que la 1er réponse celle de la régulation existant a atteint la consigne plus rapidement que la 2eme réponse, mais pour le temps de réponse, la 2eme réponse celle de la régulation calculé est réagie plus rapide que l'autre. Et ça été déjà calculé et prouvé.

Pour mieux voir la régulation des températures, tant que notre processus travail régulièrement et sans arrêt. On va simuler avec plusieurs valeurs de température mesuré par le thermocouple pour qu'on puisse voir la réponse de la régulation, et de la vanne qui est toujours réagie par rapport à sa position précédente par l'ouverture ou la fermeture

On a choisi les valeurs aléatoires pour qu'on puisse voir les trois cas. La valeur mesuré est supérieure ou inférieur ou égale la consigne

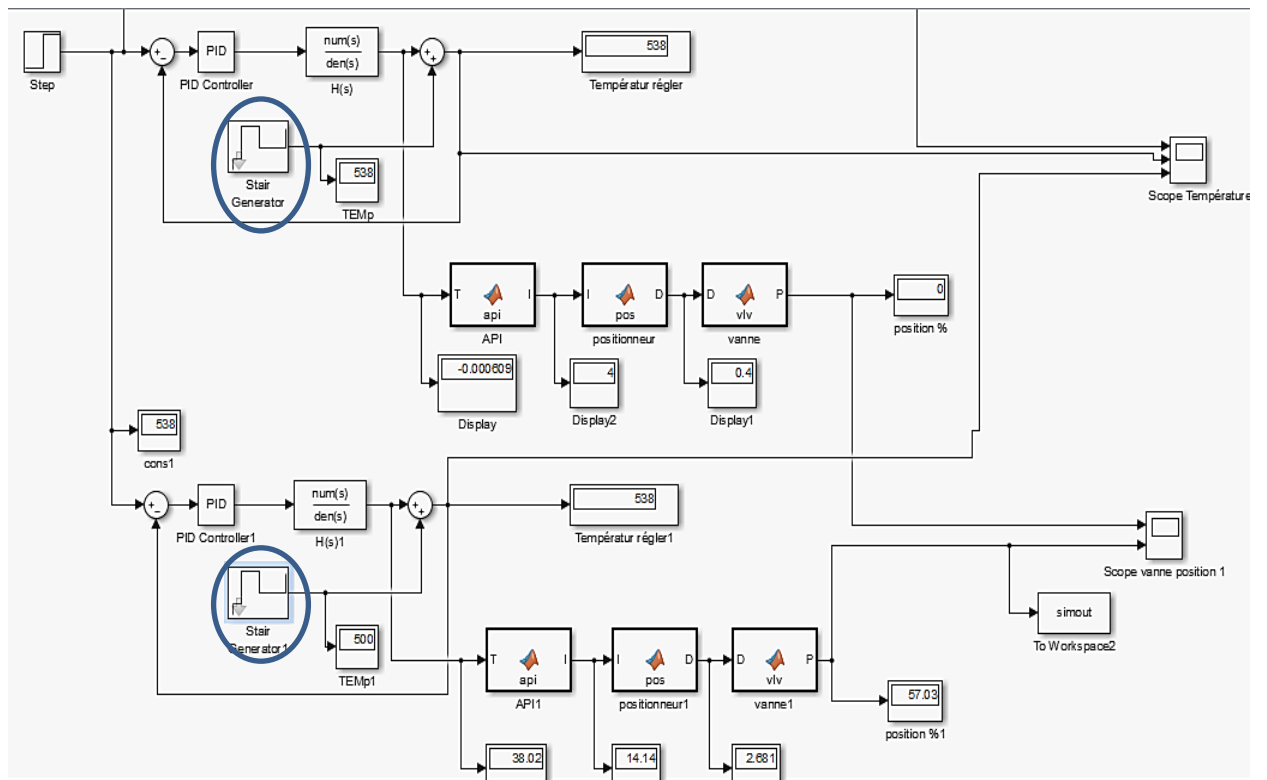


Figure 4.10. Schéma bloc de la simulation finale

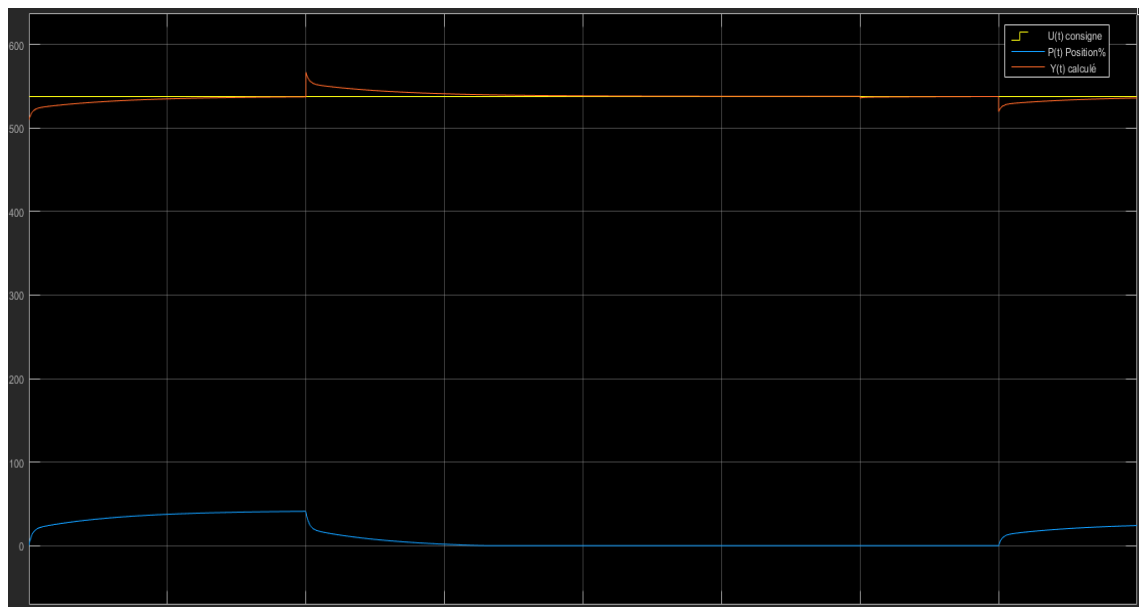


Figure 4.11. La réponse de la régulation et de la position pour tous les cas

On remarque que si la valeur mesuré est supérieure que la consigne la vanne sera ouvre, et si le contraire la vanne sera ferme. Et si elle est égale, la vanne reste à sa position jusqu'à prochaine changement de température.

4.5 Simulation proposé

D'après le chapitre 02 on a proposé de remplacer la vanne pneumatique par une vanne électrique avec un positionneur intégré. Pour cela la simulation sera faite par une seule équation relie directement le signal d'intensité (mA) venu de l'API avec la position de la vanne. Et on obtient les mêmes figures que la vanne pneumatique comme suit :

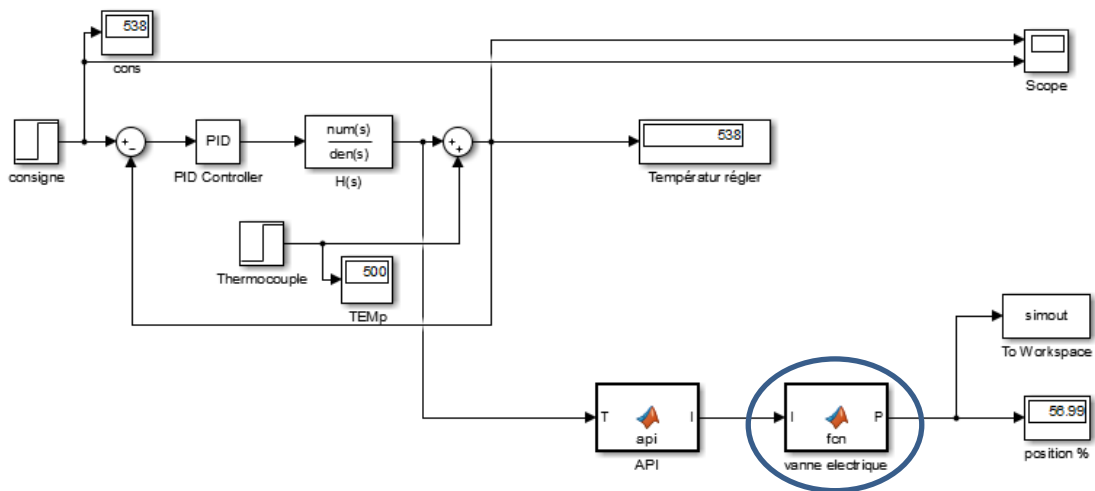


Figure 4.13. Schéma bloc de la boucle de régulation avec l'équation de vanne électrique

4.6 Conclusion

Enfin et d'après le processus et vu que la température ne doit pas changer d'état, augmente ou diminuer rapidement pour que ne provoque pas des casses ou des défauts sur le verre, au cours du refroidissement du verre au niveau de l'étenderie. Et que sa valeur doit être bien calculé et bien régulé par-rapport la consigne, nous pouvons dire que les calculs et les résultats obtenue (dépassement – temps de réponse) sont logique et avantageux.

Conclusion générale

Ce travail au cours de notre stage de fin d'études au sein de Mediterranean Float Glass (MFG), nous a permis d'améliorer l'ensemble des connaissances que nous avons acquises dans le domaine de l'industrie tout au long de notre cursus.

L'objectif de ce travail est de faire une étude sur le système de contrôle et de régulation des températures au niveau de l'étenderie de la première ligne de fabrication du verre plat. Et de proposer une solution instrumentale et d'automatisation afin d'améliorer le fonctionnement de l'étenderie.

Nous avons commencé notre travail avec des généralités sur l'entreprise, ensuite par une étude fonctionnelle du procédé général de fabrication du verre plat. Nous avons ensuite fait une description sur les instruments responsable de contrôle et du refroidissement à l'étenderie, afin de mieux comprendre le processus dans un premier temps, et de déterminer les paramètres et les mesures nécessaire pour faciliter les calculs.

Nous avons proposé une nouvelle solution concernant l'instrumentation de l'étenderie. Cette solution est basée autour d'une vanne électrique de BERNARD CONTROLS. Le choix été effectué selon les avantages de cette vanne et les besoins de l'étenderie.

Ainsi une amélioration concernant les paramètres PI de la boucle de régulation, que nous avons les calculés avec des méthodes mathématique.

Par ailleurs, notre travail s'est terminé par une description de la chaîne de régulation des températures avec Simulink-MATLAB.

Annexes

Procédé air froid (sup. & inf.)

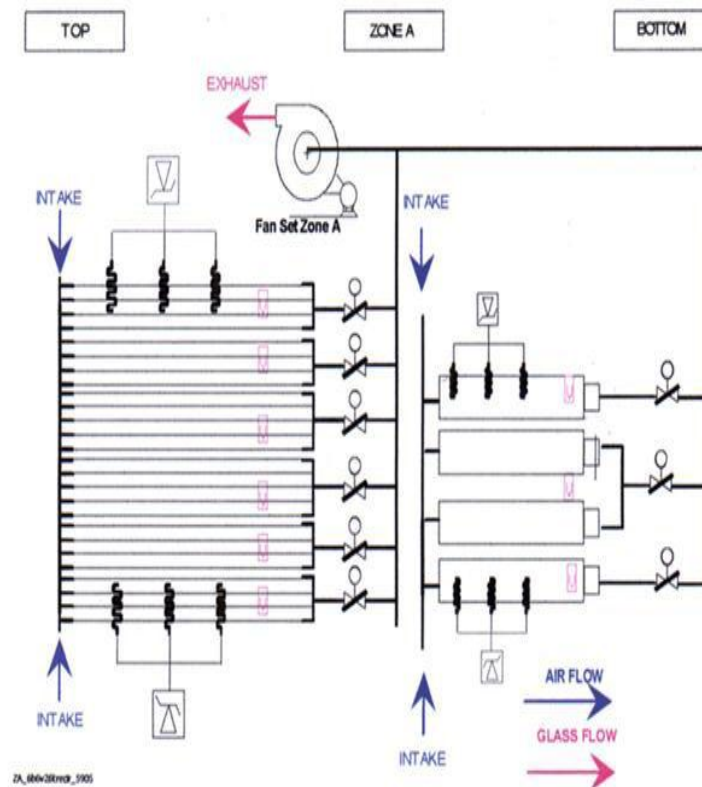
6 rangées de tubes en sup. / 4 rangées en inf.

Air piloté auto par 6 vannes réglées en sup. / 6 thermocouples ambiances

Et par 4 vannes en inf. / 3 thermocouples ambiances

2X ventilo de 6000Nm³/h

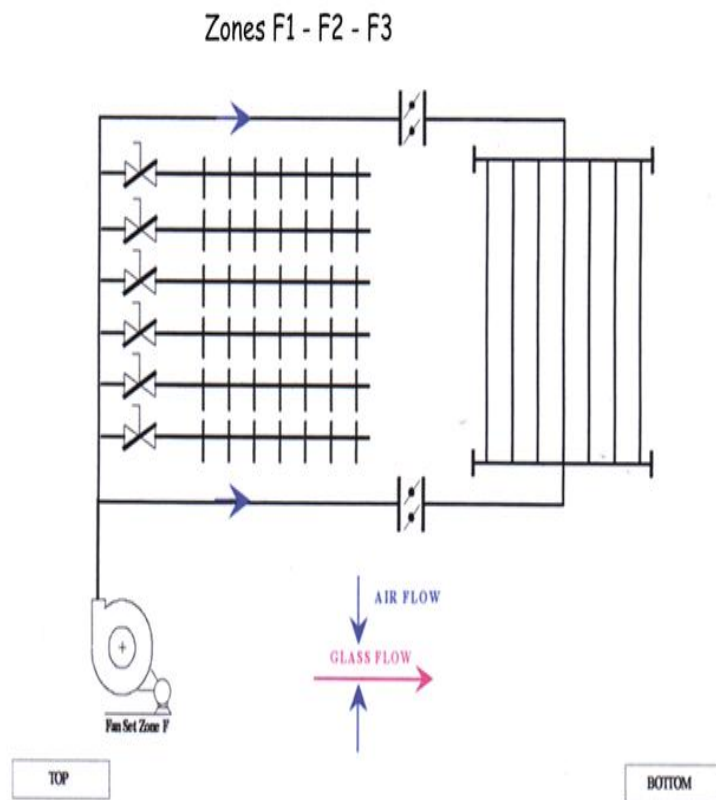
3 résistances chauffantes /chaque coté 80 / 120 cm



3 zones F équipées de i ventilateur chacune

Refroidissement par air à température ambiante

6 gaines en sup. (6 registres de réglage) et 2 gaines en inf. (2 registres de réglage)



°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K

K

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819
1370	54.819	54.852	54.886								
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K

```
Editor - C:\Users\Bentouati\Desktop\PFE\Programmes\valve.m
api.m x positioner.m x valve.m x +
1
2 function [ P ] = vlv( D )
3 %SIN1 Summary of this function goes here
4 % Detailed explanation goes here
5
6 P=25*D-10
7 if (D>=4)
8
9         P=90;
10
11 % load train ,
12 % sound(y,1/2*8192)
13 elseif (D <= 0.4)
14
15         P=0;
16 end
17
```

```
Editor - C:\Users\Bentouati\Desktop\PFE\Programmes\positioner.m
api.m x positioner.m x valve.m x +
1 function [ D ] = pos( I )
2 %SIN1 Summary of this function goes here
3 % Detailed explanation goes here
4
5 D= 0.225*I-0.5;
6 %plot(D)
7 end
8
9
```

```
Editor - C:\Users\Bentouati\Desktop\PFE\Programmes\api.m
api.m x positioner.m x valve.m x +
1 function [ I ] = api( T )
2 %SIN Summary of this function goes here
3 % Detailed explanation goes here
4
5 I = 0.26666*T + 4 ;
6 %plot(I)
7 end
```

```
Editor - Block: prgm1/vanne electrique
api.m x positioner.m x valve.m x
1 function P = fcn(I)
2 %#codegen
3
4 P =5.625*I - 22.5;
```

Bibliographie

[1] Glas Trosch AG, Conseil, Butzberg « Le verre, et ses applications », 4eme édition, 04-2013.

[2] James Barton et Claude Guillemet « Le verre science et technologie », 2005, EDP Sciences.

[3] STEIN HEURTEY, CIVITAL Etenderie600T/J, Manuel technique et de maintenance, 2005.

[4] STEIN HEURTEY, CIVITAL Etenderie600T/J, Instruction de fonction en production, 2005.

[5] Le catalogue technique MFG.

[6] BERNARD CONTROLS, Instruction de mise en service stockage et entretien.PDF

[7] NACER Tarek et ALLALI Amine, Informatisation du procédé APCVD, Université Saad Dahleb Blida, 2010

[8] Promoteur et le groupe d'ingénieurs MFG

[9] cours de régulation

Site Internet

[10] www.wikipedia.org

[11] www.mfg.dz

[12] <https://www.linkedin.com/pulse/characteristics-clear-float-glass-hedy-feng>

[13] www.siemens.com

- [14] <http://w3.gel.ulaval.ca/~lehuy/intromatlab/>
- [15] <https://www.riouflatglass.com/procede-float.html>
- [16] <http://www.primeverre.com/tout-sur-le-verre/fabrication/>
- [17] <http://film-protection-solaire-reunion.fr/la-fabrication-du-verre/schema-fabrication-bouteillerie-soufflage-paraison-974-reunion/>
- [18] <https://www.glastroesch.ch/fr/services/glaswissen/production-et-termes-physiques/production-du-verre-flotte.html>
- [19] <https://electricalstudy.sarutech.com/seebeck-effect-and-seebeck-coefficient/index.html>
- [20] <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11247#c4572>