

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجبلاي بونعامة-خميس مليانة

Université djilali bounaama khemis miliana

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER en** Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industriel

Par : Bounoua Abou bakr

Sujet

***COMMANDE DE LA TEMPERATURE D'UN CHAMP SOLAIRE A
CONCENTRATEURS CYLINDRO-PARABOLIQUES***

Encadré par Mr HIMOUR Yassine

Membres de jury : Président du jury Mr Fekir mohamed

Examineur Mr Belaifi Sid Ali

Année universitaire 2018 /2019

Dédicaces

Je commence par remercier Dieu pour la patience et le courage qu'il nous a donné pour élaborer ce travail.

Merci Dieu

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents : je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre amour, à votre patience et vos innombrables sacrifices.

Que ce modeste travail, soit pour vous une petite compensation et reconnaissance envers ce que vous avez fait d'incroyable pour moi. Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longues vies afin que je puisse à mon tour vous combler.

A mes chers frères et chères sœurs :

Aucun dédicace ne serait exprimé assez profondément, ce que je ressente envers vous on vous dirait tout simplement, un grand merci, on vous aime.

A mes très chers amis :

En témoignage de l'amitié sincère qui nous a liés et de bons moments passés ensemble, je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonnes promesses.

A mes collègues

A ma famille à tous ceux que j'aime

Qu'ils trouvent ici, l'expression de mes sincères remerciements

Remerciements

Je remercie toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Nous citons en particulier :

Notre encadreur Mr HIMOUR Yassine, pour ses aides et ses directives durant l'encadrement.

Par la même occasion, j'adresse mes remerciements à tous mes enseignants pour leurs efforts qui ont guidé mes pas et enrichi mes connaissances tout au long de mes études.

Je remercie également les membres de jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Enfin, à tous ceux que je n'ai pas cités, qu'ils sachent que je n'oublie pas leurs aides et leur présence à mon côté.

Résumé

L'énergie renouvelable, dont l'énergie solaire, est l'une des alternatives aux ressources épuisables, tels que le pétrole et le gaz...etc. Dans notre travail, on est menu à modéliser le comportent de la température dans un champ solaire à base de concentrateurs cylindro-paraboliques. Ce modèle doit nous permettre par la suite de concevoir un régulateur pour faire maintenir la température de sortie dans le tube récepteur à une valeur désirée. Le régulateur PID qui a une grande réputation dans le domaine industrie est utilisée dans ce travail. Néanmoins, les résultats donnés ne répondent pas aux performances exigées, cela est dû aux grands effets des perturbations, à savoir, la radiation solaire et la température du fluide caloporteur à l'entrée de la conduite du champ. Pour palier à ce problème, un contrôleur anticipatif est ajouté en série pour anticiper ces effets. Deux tests sont élaborés pour évaluer les performances du schéma globale de la loi de commande conçue, un test de poursuite et un autre de rejet de perturbations. Les résultats sont très acceptables.

الخلاصة

الطاقة المتجددة ، بما في ذلك الطاقة الشمسية ، هي واحد من الموارد البديلة القابلة للاستنفاد ، مثل النفط والغاز ... إلخ. في عملنا هذا ، سوف نقوم بإنشاء نموذج رياضي لتمثيل سلوك درجة الحرارة داخل نظام حراري لاستغلال الطاقة الشمسية ، يعمل هذا النظام بواسطة مرايا اسطوانية لتركيز أشعة الشمس. يجب أن يسمح لنا النموذج الرياضي فيما بعد بتصميم نظام تحكم للحفاظ على درجة حرارة المخرج في أنبوب الاستقبال عند القيمة المطلوبة. في هذه المذكرة نستخدم وحدة تحكم تناسبية-تكاملية-مشتقة التي تتمتع بسمعة كبيرة في المجال الصناعي ، غير أن النتائج المقدمة لا تفي بالأداء المطلوب ، ويرجع ذلك إلى الآثار الكبيرة للاضطرابات المتمثلة أساسا في تغير الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة سائل تجميع الحرارة عند مدخل أنبوب الحقل. للتغلب على هذه المشكلة ، تتم إضافة وحدة تحكم استباقية في السلسلة للتغلب على هذه التأثيرات. تم تطوير اختبارين لتقييم أداء قانون التحكم المصمم وهما : اختبار التتبع واختبار إلغاء فعل الاضطرابات. النتائج العامة مقبولة جدا.

Abstract

Renewable energy, including solar energy, is one of the alternative to exhaustible resources, such as oil and gas ... etc. In our work, we are going to model the behavior of the temperature in a parabolic trough power plant. This model should allow us later to design a regulator in order to maintain the outlet temperature in the receiver tube to a desired value. The PID controller that has a great reputation in the industry field is used in this work. Nevertheless, the results given do not meet the required performances, this is due to two major disturbances effects, namely, the solar radiation and the temperature of the fluid at the entrance of the field pipe. To overcome this problem, a "FeedForward" controller is added in series to anticipate these effects. Two tests are developed to evaluate the performances of the global scheme of the designed control law, a tracking test and a disturbance rejection test. The results are very acceptable.

Liste des figures

Figure 1 : spectre d'irradiance solaire	10
Figure 2 : L'énergie éolienne	10
Figure 3 : L'énergie hydraulique	11
Figure 4 : L'énergie biomasse	12
Figure 5 : Carte du monde de l'ensoleillement	13
Figure 6 : position solaire	13
Figure 7 : gisement solaire Algérien	14
Figure 8 : Capteur cylindro-parabolique	17
Figure 9 : Centrale Fresnel	18
Figure 10 : Centrale à tour.....	20
Figure 11 : Capteur parabolique.....	21
Figure 12 : capteur cylindro-parabolique	23
Figure 13 : l'évolution de la température l'intérieur du tube-récepteur	25
Figure 14 : modèle Accurex simple	30
Figure 15 : Block Simulink d'un segment Δl du tube récepteur	31
Figure 16 : les différent segment de notre système	32
Figure 17 : les paramètres de système.....	32
Figure 18 : Subsysteme accurex simple modele	33
Figure 19 : Caractérisation de réponse système de premier ordre	34
Figure 20 : irradiance solaire directe.....	35
Figure 21 : la sortie de système (température)	35
Figure 22 : subsysteme accurex simple modele avec PID et constant débit	36
Figure 23 : suivi de référence indicielle	37
Figure 24 : la sortie de système avec régulateur PID	38
Figure 25 : subsysteme accurex simple modele avec PID avec commande de poursuite.....	39
Figure 26 : la sortie de système avec régulateur pid	41
Figure 27 : Variables qui affectent la température de l'huile de sortie [44]	42
Figure 28 : contrôleur feedforward	43
Figure 29 : diagramme bloc PID contrôleur avec feedforward Rejet de perturbation	43
Figure 30 : la sortie de system (température)	44
Figure 31 : diagramme bloc PID contrôler avec Feedforward Commande de poursuite.....	44
Figure 32 : la sortie de system (température)	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Open loop Ziegler–Nichols heuristic rules.....	34
Tableau 2 : option de réglage	37
Tableau 3 : Paramters séquence répétée.....	39
Tableau 4 : ZN réglage option.....	40

Tableau des matières

Dédicaces.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumer.....	iv
Introduction générale.....	6
Chapitre I : énergies renouvelables	8
I 1 Introduction :.....	8
I 2 énergies renouvelables :.....	8
I 2.1 Définition :	8
I 2.2 Types d'énergies renouvelables	9
I 2.2.1 Énergie solaire :	9
I 2.2.2-L'énergie éolienne :.....	10
I 2.2.3 L'énergie hydraulique :.....	11
I 2.2.4 L'énergie biomasse :.....	11
I 3 Gisement solaire :	12
I 3 .1Mouvements de la terre :.....	12
I 3.2 La constant solaire :.....	12
I 3.3 Potentiel solaire :.....	13
I 3.4 La position solaire :.....	13
I 3.5 L'ensoleillement dans le grand Maghreb :	14
I 3.6-L'importance du gisement solaire Algérien :.....	14
I 4-Étymologie et concept générale.....	14
I 4.1- L'exploitation de l'énergie solaire dans les centrales solaires :.....	15
I 4.1.1 Les centrales solaires :	15
I.5 Conclusion	16
Chapitre II : Différents types de capteurs.....	17
II Introduction	17
II 1.1 Concentrateur cylindro-parabolique :	17
II 1.2 Concentrateur Fresnel Linéaires :	18
II 1.3 Centrales à tour :	19
II 1.4 Les centrales à capteurs paraboliques :	20
II 2- Conclusion :.....	22
Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	23
III 1 Introduction :.....	23
III 2 Principe de fonctionnement de notre système :.....	23
III 2.1 Problème de commande	24
III 2.2 Technique classique.....	24

III 2.3 Technique moderne	24
III 3. Modélisation du CSCP :.....	24
5 Conclusion.....	28
Chapitre IV. Commande de la température avec régulateur PID.....	29
IV.2 Le choix du contrôleur PID :.....	29
IV.3 I Modèle du champ Accurex	29
IV.4 La partie de command avec régulateur pid :	33
IV.4.1 Algorithmes de contrôle de base	33
IV.4.2 Méthode Ziegler–Nicols:.....	33
IV.4.3 Commande avec régulateur PID.....	35
IV .4.3.1 Premier test Rejet de perturbation	36
IV.4.3.2 deuxième test Commande de poursuite	38
IV.5 PID contrôleur avec feedforward	41
IV.5.1 Schéma de contrôle de base :	42
IV.5.2 PID contrôleur avec feedforward Rejet de perturbation :	43
IV.5.3 PID contrôleur avec Feedforward Commande de poursuite :	44
III.6Conclusion:.....	46

Liste d'abréviation :

UA : Unité astronomique de longueur

CST: concentrateur solaires thermiques

CCP: concentrateur cylindro-parabolique

CES: central énergie solaire

C : la capacité thermique spécifique du fluide

N_0 :l'efficacité optique collecteur

S : la surface effective

H : le coefficient de perte thermique globale

Introduction générale

De nos jours, les énergies les plus utilisées sont les énergies dites fossiles (charbon, pétrole, gaz) qui sont issues d'un long processus de transformation de la matière organique, parce qu'elles sont faciles à exploiter, et rentables.

Tout d'abord, les réserves d'énergies fossiles commencent à s'amoinrir et la combustion de ces combustibles émet une grande quantité de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone) qui participent fortement au réchauffement climatique, qui devient un grand problème pour la Terre et les êtres vivants.

De nombreuses énergies non polluantes ou renouvelables, dans le monde entier, pourraient encore être utilisées par l'humain. Entre autres, on distingue l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique et l'énergie solaire. Mais l'énergie éolienne est une source d'énergie intermittente, dont les fluctuations sont difficilement prévisibles. L'énergie hydroélectrique a de bonnes performances mais un impact écologique et humain important et n'est pas disponible partout. L'énergie solaire est le plus grand potentiel énergétique, et présente de bonnes performances grâce à la technologie actuelle. Cette énergie peut être transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage. Ces capteurs ne permettent généralement pas de dépasser la température de 100 ° C. Pour travailler à haute température, il est nécessaire d'augmenter le flux optique incident pouvant être atteint par la concentration du rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires (capteur cylindro-parabolique et concentrateurs solaires paraboliques ...). Cette énergie semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.

Ce travail est dédié à la modélisation et la conception d'une loi de commande pour contrôler la température de sortie d'un champ solaire thermique à base de concentrateurs solaires cylindro-paraboliques.

Ce travail comporte quatre chapitres : Le premier chapitre est consacré aux énergies renouvelables en générale et à l'énergie solaire en particulier, Le deuxième chapitre esquisse une présentation des différents types de concentrateurs.

Le troisième chapitre est consacré à la modélisation de la température dans les champs solaire aux concentrateurs cylindro-paraboliques. Dans le dernier chapitre, on utilise le modèle extrait pour implémenter un régulateur PID combiné avec feedforward à assurer

les performances requises pour le bon fonctionnement de la centrale solaire étudiée, à savoir le centre Accurex sise à Almeria en Espagne.

Chapitre I : énergies renouvelables

I 1 Introduction :

On va commencer ce travail avec un aperçu général sur les énergies renouvelables en donnant leurs différents types, pour passer par la suite explorer quelques bases concernant l'énergie solaire et son exploitation.

I 2 énergies renouvelables :

I 2.1 Définition :

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres : le Soleil essentiellement pour la chaleur et la lumière qu'il génère, mais aussi l'attraction de la Lune (marées) et la chaleur générée par la Terre (géothermie). Leur caractère renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se renouvelle.

Il y a quatre familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)

Si on compte toute l'utilisation du bois pour le chauffage et la cuisson, c'est celui-ci, et donc la biomasse, qui est l'énergie renouvelable la plus importante, tandis que pour la production d'électricité, c'est l'énergie hydraulique qui est de loin l'énergie renouvelable la plus utilisée. [1]

Les systèmes d'utilisation d'énergie renouvelable sont très variés, certains sont mis en œuvre par des particuliers et d'autres ne sont possibles ou rentables que dans de grandes installations.

La quantité d'énergie produite par l'ensemble des énergies renouvelables est assez grande, mais par rapport au total de l'énergie consommée (encore beaucoup plus grand), cela reste une part assez faible. Pour que cette part augmente sérieusement, il faudrait non seulement une augmentation de la production d'énergies renouvelables mais il serait nécessaire que l'énergie consommée au total diminue beaucoup [2]

I 2.2 Types d'énergies renouvelables

L'expression « énergie renouvelable » est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique. Énergies renouvelables un ensemble de filières diversifiées dont la mise en œuvre n'entraîne en aucune façon l'extinction de la ressource initiale et est renouvelable à l'échelle humaine. [3]

I 2.2.1 Énergie solaire :

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel se trouvent notamment les gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios en fonction de la fréquence d'émission. Tous ces types de rayonnements électromagnétiques véhiculent de l'énergie. Le niveau d'éclairement énergétique mesuré à la surface de la Terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.[4]

Deux grandes familles d'utilisation de l'énergie solaire à cycle court se distinguent :

- l'énergie solaire thermique, utilisation de la chaleur transmise par rayonnement ;
- l'énergie photovoltaïque, utilisation du rayonnement lui-même pour produire de l'électricité.

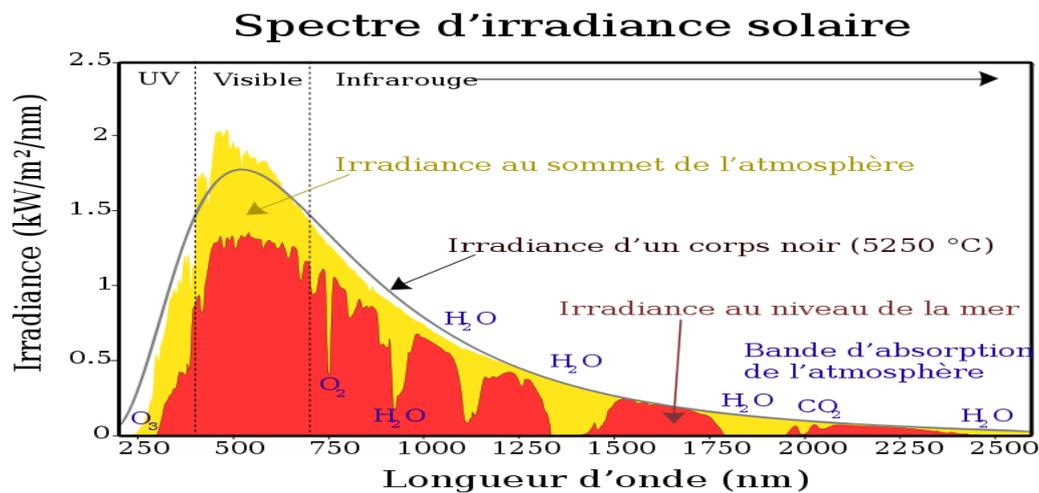


Figure 1 : spectre d'irradiance solaire [5]

I 2.2.2-L'énergie éolienne :

Auparavant, il était question de moulins à vent avec des pales en forme de voile, qui utilisaient l'énergie mécanique pour actionner des équipements tels que des pompes. Aujourd'hui, on ne parle plus de moulins à vent, mais d'éoliennes. Sous la force du vent, elles produisent des forces mécaniques ou électriques qui sont utilisées pour générer de l'électricité qui va être injectée sur l'installation électrique d'une habitation (consommation directe) ou dans un réseau de distribution (consommation indirecte). Étant donné qu'elles prennent trop d'espace, elles sont le plus souvent placées en mer. Mais pour un usage domestique, il en existe des modèles réduits. [6]



Figure 2 :L'énergie éolienne [7]

I 2.2.3 L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages.[8]



Figure 3 : L'énergie hydraulique [9]

I 2.2.4 L'énergie biomasse :

Dans le domaine de l'énergie, la biomasse est la matière organique d'origine végétale (microalgues incluses), animale, bactérienne ou fongique (champignons), utilisable comme source d'énergie. L'énergie peut être extraite par combustion directe (ex : bois énergie), ou par combustion après un processus de transformation de la matière première, par exemple la méthanisation (biogaz, ou sa version épurée le biométhane) ou d'autres transformations chimiques (dont la pyrolyse, la carbonisation hydrothermale et les méthodes de production de biocarburants ou « agrocaburants »). On parle alors de bioénergie.[10]

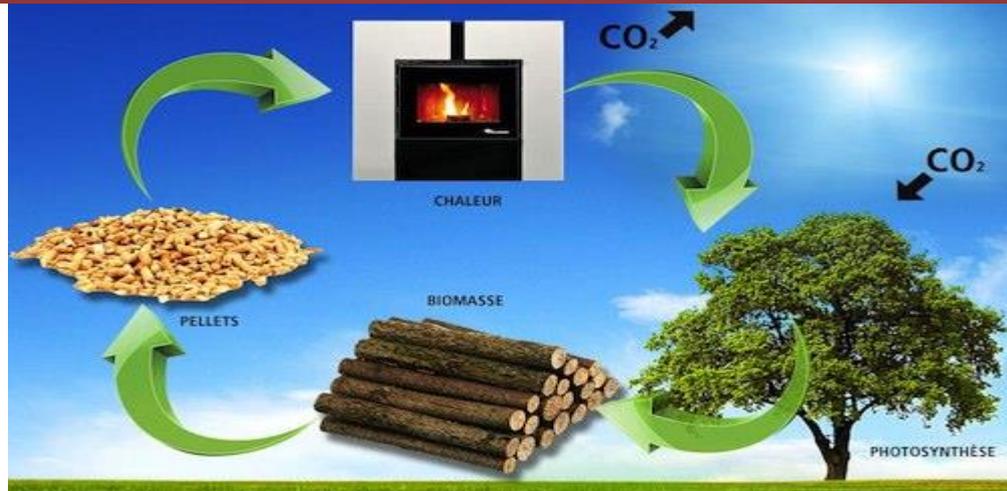


Figure 4 : L'énergie biomasse [11]

I 3 Gisement solaire :

Le champ solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système d'énergie solaire et rendre un dimensionnement aussi précis que possible compte tenu de la demande à satisfaire.[12]

I 3.1Mouvements de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7 \%$ par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 10 6 km.[13]

I 3.2 La constant solaire :

La constante solaire exprime la quantité d'énergie solaire que recevrait une surface de 1 m² située à une distance de 1 UA (distance moyenne Terre-Soleil).

Exposée perpendiculairement aux rayons du Soleil, en l'absence d'atmosphère. Pour la Terre, C'est donc la densité de flux énergétique au sommet de l'atmosphère. Elle s'exprime en watts par mètre carré (W/m² ou W·m⁻²)[14]

I 3.3 Potentiel solaire :

L'intensité du rayonnement à la surface du soleil est d'environ $6,33 \cdot 10^7 \text{ W / m}^2$.

Etant donné que le rayonnement se propage sous forme de distance au carré, il se déplace ensuite vers la Terre ($1496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ ou 1 UA est la distance moyenne Terre-Soleil, J_0), l'énergie radiante tombant sur 1 m^2 de surface est réduite à 1367 W .

L'intensité du rayonnement sortant du soleil est relativement constante. Par conséquent, la l'intensité du rayonnement solaire à une distance de 1 UA est appelée la constante solaire E_c et a une valeur actuellement acceptée de 1367 W / m^2 [15]

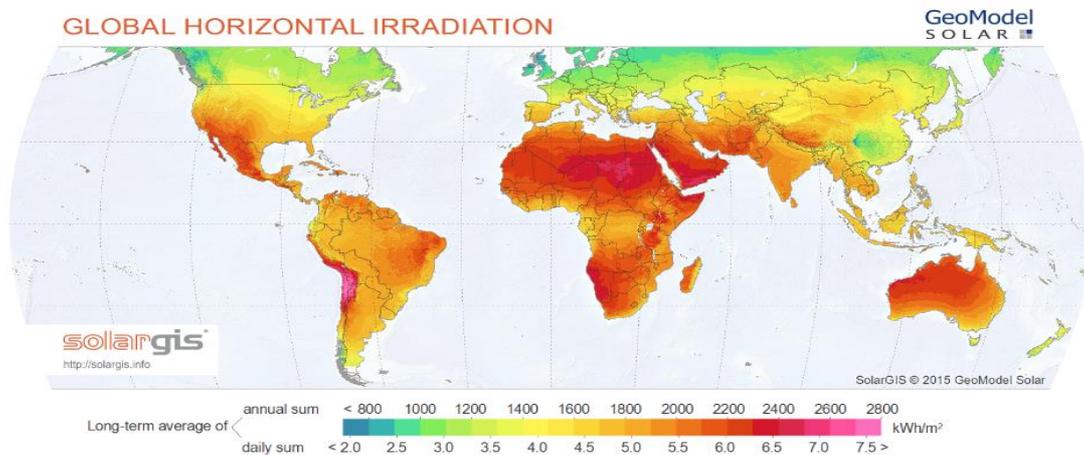


Figure 5 : Carte du monde de l'enseillement [16]

I 3.4 La position solaire :

Les conditions météorologiques, le mouvement apparent du soleil à travers le capteur est un autre facteur qui détermine la quantité de rayonnement incident sur un capteur solaire. [17]

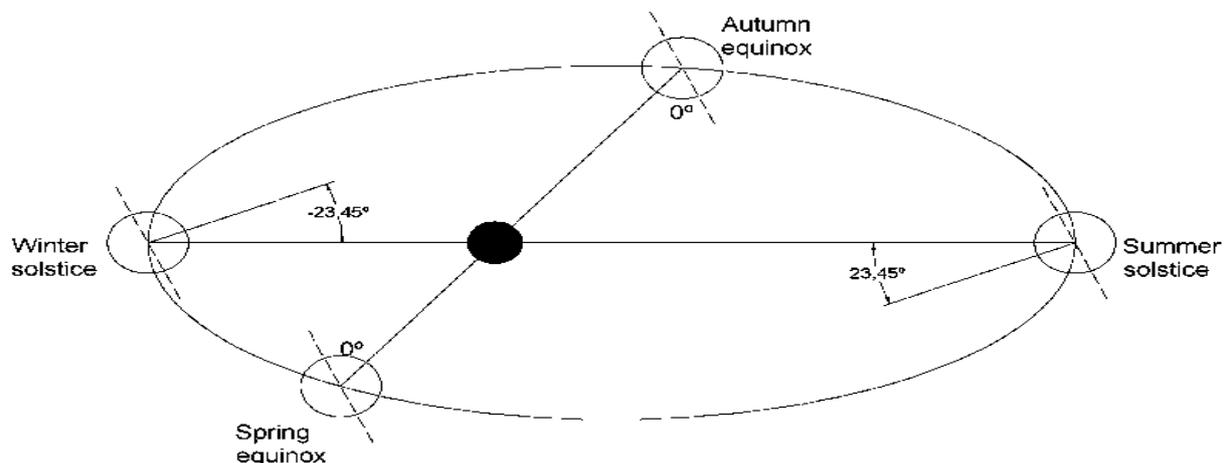


Figure 6 : position solaire [18]

I 3.5 L'enseillement dans le grand Maghreb :

Dans le grand Maghreb en possédant un excellent potentiel solaire, avec les zones les plus favorables dans le sud du Sahara, on a un gisement solaire très important qui prend comme valeur entre 1800 et 2700 KWh/m²/an. En revanche le Maroc à la plus grande centrale thermique du monde NOOR (centrale cylindro-parabolique et centrale a tour) situé à Ouarzazate qui a la capacité de production de puissance égale à 500MW et en Algérie il y a une centrales hybrides solaire-gaz qui peuvent données une puissance de 150 MW dont 30 MW solaires, dans la région saharienne de Hassi R'mel.[19]

I 3.6-L'importance du gisement solaire Algérien :

Une évaluation par satellite, effectuée par l'agence spatiale allemande (ASA), a montré que l'Algérie possède le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen. Il est de 169.440 TW/an pour le solaire thermique et de 13.9 TW/an pour le photovoltaïque La figure 7 montre l'énergie solaire globale journalière incidente sur un plan horizontal au mois de Juillet. [20]

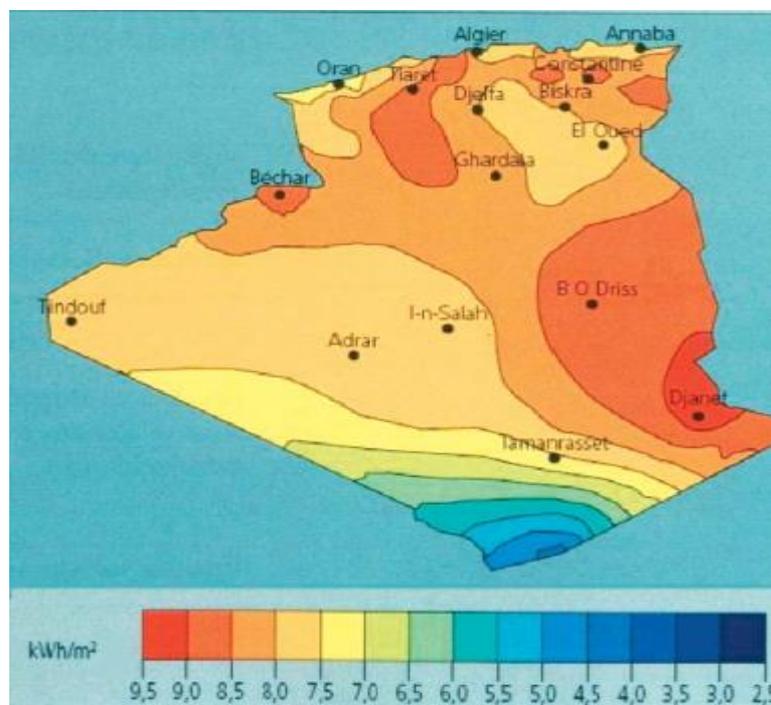


Figure 7 : Gisement solaire Algérien [21]

I 4-Étymologie et concept générale

Le terme "solaire thermique" désigne la conversion d'énergie solaire en énergie thermique. Le concept principal de cette conversion consiste à focaliser les rayons solaires sur

un foyer pour échauffer un fluide dedans. Ensuite, l'énergie thermique portée par ce Concept du Solaire Thermique fluide est utilisée dans diverses applications : chauffage d'eau sanitaire, production de froid (cycle thermique), production de vapeur (afin d'entraîner des alternateurs)... etc. [22] Une centrale solaire thermique est constituée de trois éléments principaux :

- Les champs solaires.
- Le système de transfert de chaleur.
- Le système de génération électrique

I 4.1- L'exploitation de l'énergie solaire dans les centrales solaires :

Quand les températures plus élevées sont exigées, des capteurs solaires à concentration sont utilisés. Ils utilisent l'énergie solaire arrivant sur une grande surface réfléchissante, et réfléchi sur une plus petite surface avant qu'elle ne soit convertie en chaleur qui entraînerait de températures plus élevées. La plupart des collecteurs à concentration peuvent seulement concentrer le rayonnement solaire parallèle venant directement à partir du soleil (rayonnement direct).[23]

I 4.1.1 Les centrales solaires :

Les systèmes thermiques solaires à concentration (CST) utilisent des dispositifs optiques (généralement des miroirs) et des systèmes de suivi du soleil pour concentrer une grande zone de lumière solaire sur une zone de réception plus petite. L'énergie solaire concentrée est ensuite utilisée comme source de chaleur pour une centrale conventionnelle. Une large gamme de technologies de concentration existe [24]. Les principaux concepts de concentration sont:

- (a) miroir cylindro-parabolique,
- (b) Fresnel linéaires
- (c) tour solaire.

La concentration de l'énergie solaire a pour objectif principal de produire des températures élevées et, par conséquent, des rendements thermodynamiques élevés..[25]

Les concentrateurs solaires peuvent être répartis selon plusieurs critères, température de fonctionnement (basse, moyenne, élevée), forme de foyer (linéaire, pointeur) ou mode de fonctionnement (concentration centralisée, concentration répartie) . En effet, dans ce qui suit nous allons présenter les concentrateurs les plus adoptés pour une production d'électricité [26]

I.5 Conclusion

Sur les plans économique, écologique et social l'utilisation de l'énergie solaire pour la production de l'électricité au lieu de l'énergie fossile a des implications positives à la protection de l'environnement et permet également la réduction des dépenses de l'énergie fossile.

Chapitre II : Différents types de capteurs

II Introduction

Ça existe une multitude de technologie pour concentrer les rayons du soleil et les convertir en énergie thermique exploitable sous forme de haute température. Dans cette section, on parlera des différents types et technologies de la concentration solaires, leurs avantages et inconvénients.

II 1.1 Concentrateur cylindro-parabolique :

Les systèmes de concentration solaire paraboliques sont des capteurs de forme parabolique en matériaux réfléchissants. Les capteurs réfléchissent le rayonnement solaire incident sur sa ligne focale vers un récepteur qui absorbe l'énergie solaire concentrée pour élever la température du fluide qu'il contient, comme indiqué sur la Fig. 8. En raison de son suivi sur un seul axe, tous les rayonnements solaires tombent parallèlement à son axe. [27]

La puissance maximale de ces centrales peut atteindre des puissances égales à 350 MW (comme les centrales solaires NOOR I et II au Maroc).



Figure 8 : Capteur cylindro-parabolique [28]

+Avantages :

- Disponible industriellement, avec une grosse production de plus de 12 milliards kWh.
- Coût d'exploitation est moins cher par rapport aux autres
- Il a le meilleur facteur d'utilisation des terres de toutes les technologies solaires.
- Il nécessite moins d'équipement.
- Le concept hybride dans le ccp déjà utilisé
- le stockage de CCP est plus grand

- Désavantages :

- - La température maximale des liquides à 400 degrés Celsius et donc la chaleur (huile) est limitée [29]

II 1.2 Concentrateur Fresnel Linéaires :

Les réflecteurs de Fresnel linéaires utilisent diverses bandes de miroir minces pour concentrer la lumière du soleil sur les tubes où circule le fluide . Une concentration plus élevée peut être obtenue et ces miroirs sont moins chers que les miroirs paraboliques, mais un mécanisme de suivi plus complexe est nécessaire. Les absorbeurs sont situés au centre des miroirs et consistent en une cavité d'air inversée avec un couvercle en verre renfermant des tubes isolés. Dans certains cas, il existe plusieurs absorbeurs pour améliorer l'efficacité du système [30]



Figure 9 : Centrale Fresnel [31]

+Avantages :

- Moins de miroirs utilisés.

- Les contraintes mécaniques dues à la poussée du vent sont réduites par la disposition plane des miroirs.
- Réduction du coût de la construction en raison d'un assemblage rapide.
- Faible risque d'entraîner des dommages.
- L'utilisation des terres est plus efficace.

- Désavantages :

- Période d'opération moindre.
- La performance optique est inférieure par rapport au miroir cylindro-parabolique.[32]

II 1.3 Centrales à tour :

Les tours solaires disposent d'un réseau de réflecteurs (héliostats) capables de suivre le mouvement du Soleil avec deux axes et de concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur central au sommet d'une tour. Le fluide de travail dans le récepteur est chauffé puis utilisé pour la production d'énergie. Le développement des tours de puissance est moins avancé que les systèmes en creux, mais ils offrent une efficacité supérieure et une meilleure capacité de stockage d'énergie. Une centrale à énergie solaire (CES) comprend un champ héliostat, une unité de réception, une unité de transfert, d'échange et de stockage de la chaleur, des unités de production de vapeur et d'électricité et un système de contrôle intégré. Habituellement, chacune des unités a son dispositif de contrôle spécifique. Le système de contrôle intégré communique avec les différents sous-systèmes pour coordonner les différentes unités de manière à ce que l'installation fonctionne de manière sûre et efficace. Typiquement, un système de contrôle d'installation comprend un contrôle par héliostat et une optimisation de la répartition sur site par héliostat, un contrôle du niveau d'eau dans les récepteurs, un contrôle de la température de la vapeur principale, la pression d'alimentation en vapeur et la température du système de stockage de chaleur dans des conditions de dégagement de chaleur, ainsi À l'heure actuelle, il n'y a que deux centrales à tour commerciales en exploitation, les centrales de 10 MW (PS10) et de 20 MW (PS20), conçues, construites et exploitées par Abengoa Solar près de Séville, dans le sud de l'Espagne [33]



Figure 10 :Centrale à tour[34]

+Avantages :

- Permet de valoriser des zones désertiques
- Source d'énergie inépuisable et gratuite
- vous pouvez effectuer de l'opération hybride..

- Désavantages :

- Nécessite un fort ensoleillement.
- Surface au sol importante [35]

II 1.4 Les centrales à capteurs paraboliques :

Ce système convertit l'énergie thermique du rayonnement solaire en énergie mécanique, puis en énergie électrique de la même manière que les centrales classiques convertissent l'énergie thermique provenant de la combustion d'un combustible fossile en l'électricité. Il utilise un réseau de miroirs pour réfléchir et concentrer le rayonnement entrant

à un récepteur, afin D'atteindre les températures nécessaires pour convertir efficacement la chaleur à travailler. Cela exige que le miroir suive le soleil dans deux axes. Le rayonnement solaire concentré est absorbé par le récepteur et transféré à un moteur appelé moteur Stirling. La centrale à capteurs paraboliques entraîne un rendement haut de l'énergie solaire à électricité (entre 31% et 32%), sa puissance varie entre 10MW et 100MW.[36]



Figure 11: Capteur parabolique[37]

+Avantages :

- Moteur sont caractérisés par une grande efficacité,
- limite des surfaces réfléchissantes.
- limite des pertes thermiques.
- Pas d'émissions polluantes.
- Bon rendement.

- Désavantages :

- Cette technologie est en train de se développer et il reste encore des défis techniques à relever en ce qui concerne les composants solaires.

- Les pertes optiques peuvent être importantes. Elles sont dues aux phénomènes de réflexion et de réfraction et aux caractéristiques géométriques du système.
- Le rayonnement diffus est très mal utilisé dans les systèmes à forte concentration, seul le rayonnement direct est concentré.[38]

II 2- Conclusion :

La multitude des technologies de concentration des rayons solaires en vue d'une utilisation industrielle donne une possibilité pour optimiser l'exploitation de cette énergie et à s'adapter à chaque type d'application, les centrales à tours par exemple peuvent fournir des températures très hautes, cependant les concentrateurs cylindro-paraboliques ou les collecteurs de Fresnel linéaires donne des températures de moins échelles mais qui assurent de grandes quantités d'énergie.

Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

III 1 Introduction :

Dans ce chapitre, on développe notre tâche qui consiste à modéliser le champ solaire à base des concentrateurs cylindro-paraboliques en vue de contrôler la température à la sortie du canal caloporteur.

On commence dans la première partie de ce chapitre par une définition du principe de fonctionnement du concentrateur cylindro-parabolique, puis on pose le problème de commande. Finalement, nous terminerons par la modélisation de notre système en se basant sur les lois de la thermodynamique.

III 2 Principe de fonctionnement de notre système :

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique est un processus industriel qui sert à convertir l'énergie-solaire en énergie-thermique en se basant sur le principe de réflexion des rayonnements solaire, un aperçu de ce système est illustré dans la figure 12. Les miroirs-réflecteurs sont choisis paraboliquement courbés afin de focaliser les rayons solaires incidents sur la ligne focale de la parabole, de ce fait, un fluide thermique (typiquement huile synthétique, eau ou sel fondu) coulant à l'intérieur de tube-récepteur sera chauffé.

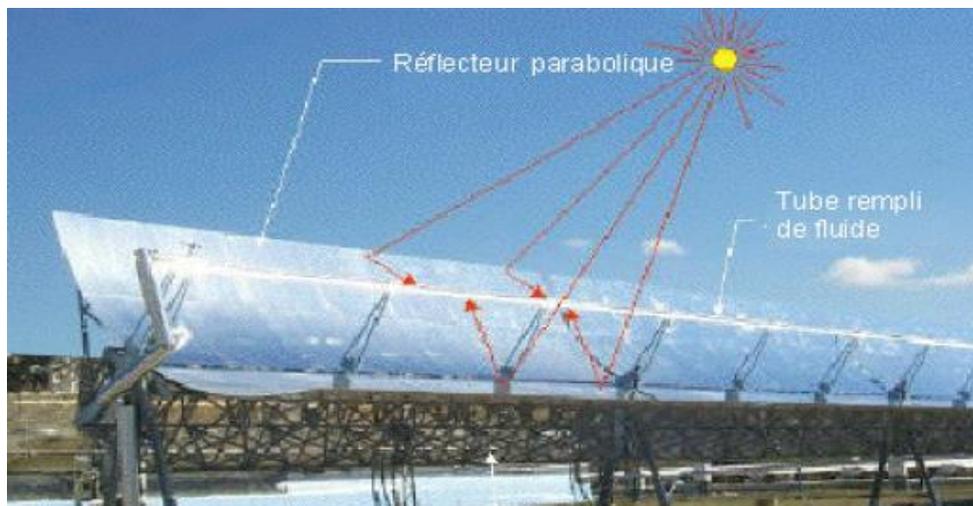


Figure 12 : capteur cylindro-parabolique [39]

Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

Le fluide chauffé est utilisé par la suite dans un échangeur de chaleur pour produire la vapeur d'eau. La vapeur ainsi produite fait tourner des turbines qui entraînent des alternateurs produisant de l'électricité, ou sert comme une source d'énergie qui actionne un cycle thermique conventionnel. [40]

III 2.1 Problème de commande

Pour maximiser l'énergie solaire dans le ccp, ce processus est doté d'un système de poursuite solaire à un degré de liberté, pour suivre la direction de soleil. En conséquence, le rendement sera maximalisé. Cependant, un fonctionnement optimal ne correspond pas toujours à un rendement maximal, mais à un rendement qui peut être contrôlé selon le besoin énergétique. A cet égard, il y a eu de nombreuses études pour contrôler l'énergie thermique produite. Le principal objectif de ces travaux consiste à forcer la température de sortie du tube-récepteur à suivre une référence désirée. Pour remédier à ce problème deux principales techniques ont été proposées : classique et moderne

III 2.2 Technique classique

Elle consiste à contrôler l'orientation du concentrateur vis-à-vis la direction principale du flux de radiation solaire incident, afin d'ajuster l'intensité de radiation concentrée au tube-récepteur de telle sorte qu'on atteigne la température de sortie désirée

III 2.3 Technique moderne

- Le concept principal de cette technique consiste à prendre avantage de la relation qui existe entre la vitesse de fluide à l'intérieur du tube-récepteur et sa température. En effet, il est évident que lorsque la vitesse du fluide est basse sa température sera plus grande que celle obtenue à une vitesse relativement élevée, puisqu'il sera plus exposé à la source de chaleur (rayonnement solaire). [41]

III 3. Modélisation du CSCP :

La figure.13 présente le schéma d'un absorbeur et ses différents constituants. L'énergie solaire réfléctée par le concentrateur est envoyée vers l'absorbeur. La chaleur est récupérée par un fluide caloporteur circulant dans l'absorbeur. Ce dernier est placé dans un tube en verre pour réduire les pertes et retenir les rayons infrarouges. Les hypothèses suivantes sont considérées dans le modèle de calcul

Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

Différents constituants

Pour modéliser l'évolution de la température du fluide à l'intérieur du tube-récepteur, nous considérons un petit élément du tube, souvent appelé le volume de contrôle, compris entre x et $x+\Delta x$ comme illustré dans la figure. L'enthalpie accumulée dans le volume de

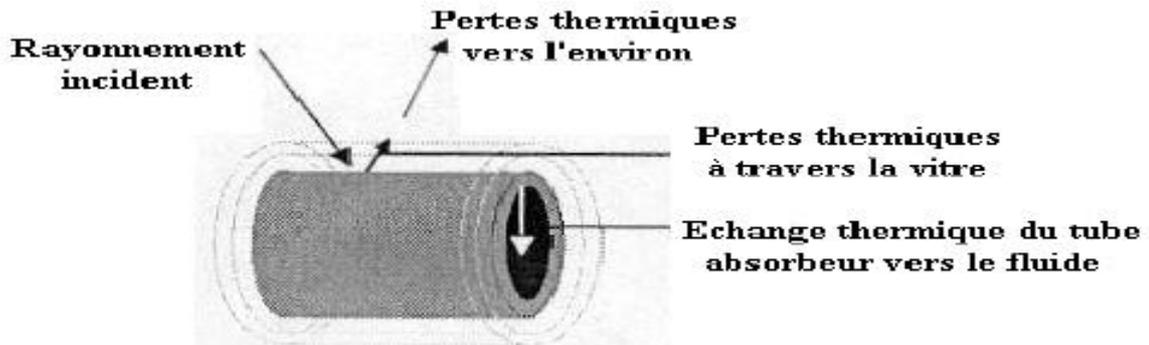


Figure 13 : l'évolution de la température l'intérieur du tube-récepteur [42]

Contrôle considéré entre deux instants successifs t et $t+\Delta t$, est donné par la relation suivante :

$$E = \rho_f c_f s_f \Delta x (T(x, t + \Delta t) - T(x, t)) \quad (3.1)$$

où :

s_f : est la superficie de la section du tube.

ρ_f , c_f : sont la densité et la chaleur spécifique du fluide (respectivement).

$T(x, t)$: est la température de fluide, qui est en fonction du temps et de la position longitudinale x .

D'autre part, le calcul du bilan énergétique permet de calculer l'enthalpie accumulée susmentionné comme suit :

$$E = E_I + E \quad (3.2)$$

Telle que :

- E_I : est la différence entre l'enthalpie à l'entrée du tube et celle de sortie (on considère que le fluide est en écoulement), qui est donnée par :

$$E_I = \rho_f c_f (t) \Delta t (T(x, t) - T(x + \Delta x, t)) \quad (3.3)$$

Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

où :

$q(t)$: est le débit de fluide.

- E_2 : est l'augmentation d'enthalpie dû à l'énergie solaire à l'intérieur du tube, qui est donnée par :

$$E_2 = \alpha R \Delta x \Delta t \quad (3.4)$$

où :

R: est l'intensité de la radiation solaire.

α : est un paramètre lié à l'efficacité de l'absorption d'énergie par le fluide.

Substitution (3.1), (3.3) et (3.4) a (3.2) :

$$\rho_f c_f s_f \Delta x (T(x, t + \Delta t) - T(x, t)) = \rho_f c_f q(t) \Delta t (T(x, t) - T(x + \Delta x, t)) + \alpha R \Delta x \Delta t \quad (3.5)$$

La division (3.5) de par $\Delta t \Delta x$, mène à l'équation suivante :

$$\rho_f c_f s_f \frac{T(x, t + \Delta t) - T(x, t)}{\Delta t} = \rho_f c_f q(t) \frac{T(x, t) - T(x + \Delta x, t)}{\Delta x} + \alpha R$$

Lorsque Δt et Δx tend vers zéro nous obtenons le modèle suivant:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + \frac{q(t)}{s_f} + \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = \frac{\alpha}{\rho_f c_f s_f} R$$

Modèle décrit l'évolution de la température à l'intérieur du tube-récepteur le long de la dimension spatiale (le long du tube). En outre, il exprime la relation entre la température du fluide et sa vitesse, donnée par le rapport entre le débit et la superficie de la section du

tube , i.e.

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + \frac{q(t)}{s_f} + \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = \frac{\alpha}{\rho_f c_f s_f} R$$

Chapitre III: modélisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

Le terme cadré décrit l'apport de la source de chaleur (le soleil) sur l'évolution de la température, il est souvent appelé "**le terme source**".

Finalement, il reste à définir les conditions aux limites relatives à l'équation. Pour cela nous considérons le domaine spatial borné $x \in [0, l]$ à cause de la limitation de la longueur du tube-récepteur.

$$C.L. \begin{cases} T(0, t) = T_o(t) \\ T(l, t) = T_{out}(t) \end{cases}$$

Où

$T_o(t)$ est la température du fluide à l'entrée du tube-récepteur.

$T_{out}(t)$ est température du fluide à la sortie du tube-récepteur.

La variation en radiation solaire et en température d'entrée sont considérées comme une

Source de perturbation qui affecte le système.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le problème de commande d'un système de production D'énergies régies par équation aux dérivées partielles. Dans un premier lieu, nous avons Présenté le Principe de fonctionnement de notre système. Par la suite, on a mis en évidence le problème de commande qui fait l'objet de notre travail et les différentes techniques qui ont été proposées pour remédier à ce problème. Finalement, une modélisation mathématique du comportement dynamique de ce système est synthétisée en utilisant les lois de conservation d'énergie. A travers ce chapitre on a pu constater la grande importance du problème traité dans ce mémoire dans le secteur industriel et on s'est familiarisé avec la technologie des concentrateurs solaires. Néanmoins, pour l'utilisation du modèle trouvé il faut faire une discrétisation par rapport à la variable espace. Dans le chapitre suivant, nous concentrons sur la commande de ce système

Chapitre IV. Commande de la température avec régulateur PID

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons appliquer le régulateur PID à temps continu pour Contrôler la température de sortie dans le champ solaire de la centrale Accurex sise à Almeria en Espagne. Ce système de commande doit améliorer les performances de régulation. Le régulateur PID est le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

IV.2 Le choix du contrôleur PID :

Le régulateur PID a démontré une grande aptitude à contrôler une large gamme de processus dans l'industrie, simple à implémenter et intuitive, il se compose de trois actions :

- Gain de proportionnalité, qui se compose d'une valeur de consigne et augmente ou réduit l'amplitude de la réponse.
- l'action intégrateur qui intègre l'erreur au fil du temps et prend alors les mesures appropriées.
- L'action dérivée. Ce contrôleur prend les points d'intérêt instantané et calcule leur pente.

IV.3 I Modèle du champ Accurex

La centrale thermique Accurex se trouve à Almeria dans le sud de l'Espagne, c'est un processus qui est devenu un « Benchmark » dans les recherche du domaine de l'énergie solaire thermique, son champs solaire se compose de dix boucles, chacune de ces boucles a d'une longueur de 142 mètre, la commande de la température à la sortie de ce processus revient à contrôler la valeur moyenne des sortie de ces boucles. La configuration du champ est illustrée dans la figure suivante :

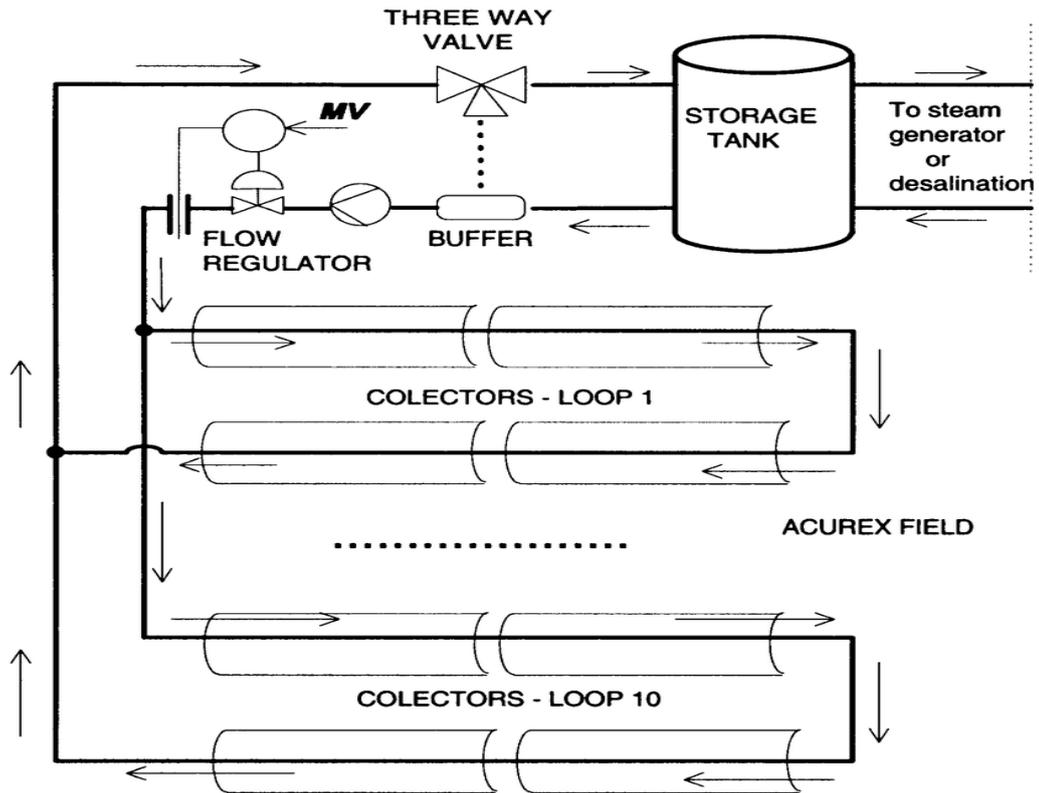


Figure 14 : modèle Accurex simple [43]

Le modèle mathématique utilisé dans ce travail est celui développé dans la section 3 du chapitre précédent, par une discrétisation le long de la variable espace x on aboutit au modèle suivant :

$$\frac{\partial T(l, t)}{\partial t} = -u(t) \frac{T(l, t) - T(l - \Delta l, t)}{\Delta l} + \alpha \eta$$

Avec

$$\alpha \triangleq \frac{R G}{\rho_f c_f A_f}$$

η : ouverture optique de miroir

R : L'intensité des radiation solaire .

$u(t)$: la vitesse d'écoulement du fluide caloporteur.

Il est à noter que ce modèle concerne une seule partie (élément) Δl du tube récepteur, pour modéliser tout le tube il vient à mettre en série plusieurs éléments Δl tel que la sortie de l'élément actuel est l'entrée de l'élément suivant.

Chapitre IV: commande de la température avec régulateur PID

Dans ce travail nous proposons d'implémenter le modèle global en modélisant un seul élément, avec des entrées et des sorties convenablement choisies pour pouvoir par la suite le relier à l'élément suivant, on peut ainsi ajouter tant d'élément pour arriver à la longueur voulue du tube récepteur.

Le modèle Simulink d'un seul élément est illustré dans la figure suivante :

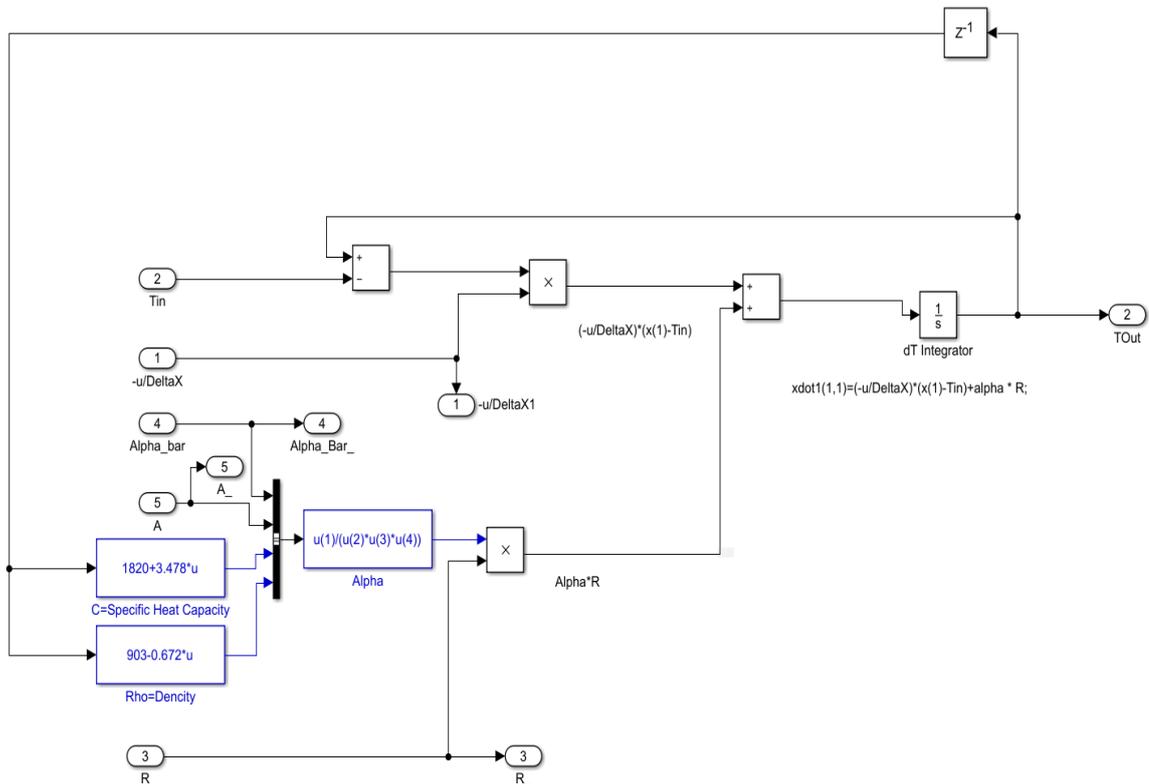


Figure 15 Block Simulink d'un segment Δl du tube récepteur

La mise en série de ces segment donne le modèle global du champ solaire .

Chapitre IV: commande de la température avec régulateur PID

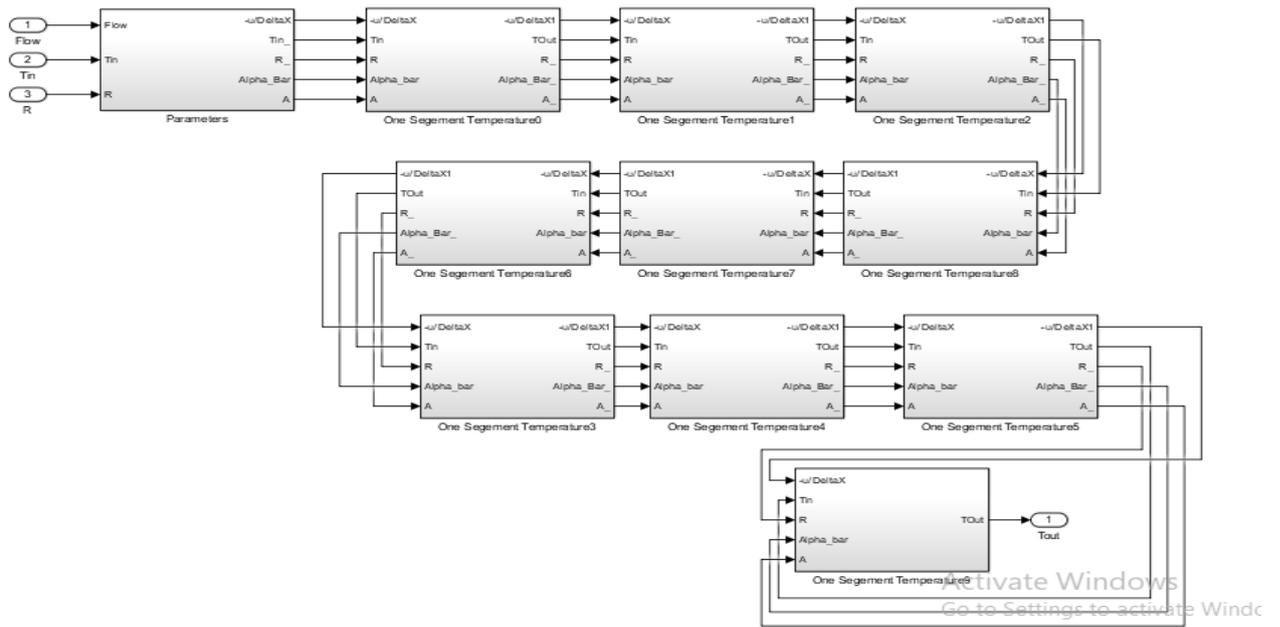


Figure 16 : les défèrent segment de notre système

Le bloc des paramètres est illustré dans la figure 17

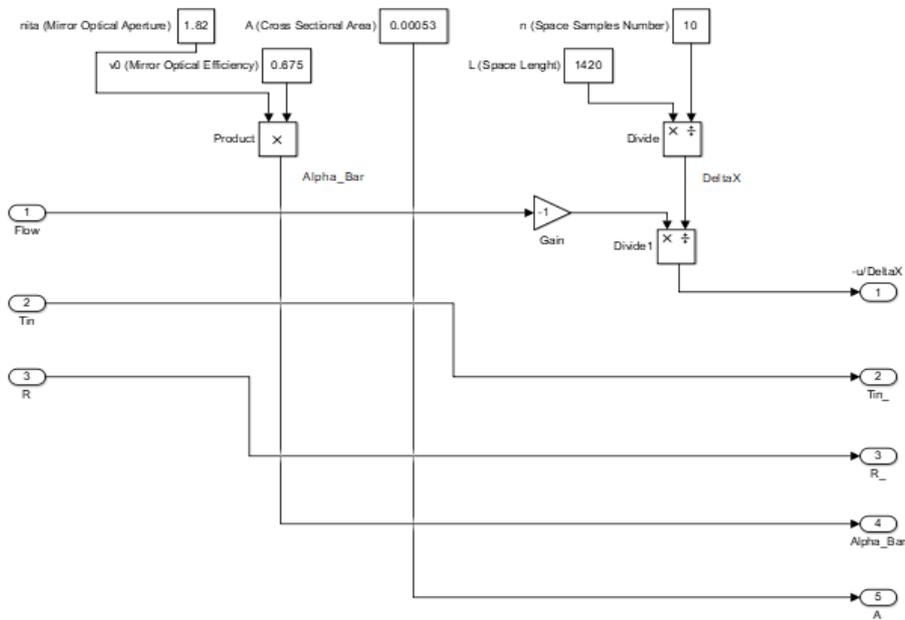


Figure 17 : les paramètres de système

Et finalement le block global du modèle est le suivant,

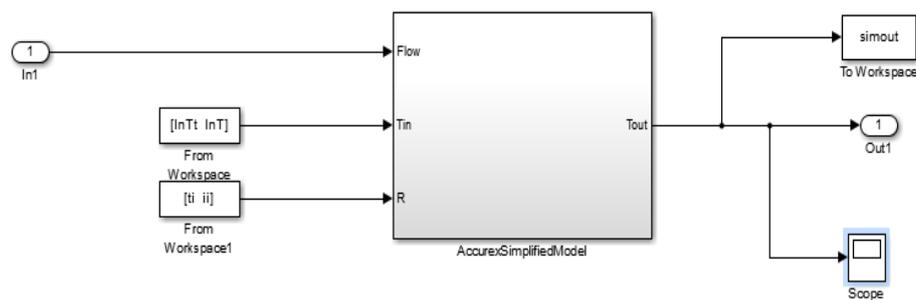


Figure 18 : Subsystem accurex simple modele

Avec

In1 : la vitesse d'écoulement du fluide dans le tube receptrer c'est l'entrée manipulée de notre modèle

InT : la température d'entrée

II : et l'intensité de la radiation, les deux dernières entrées sont considérées comme des perturbations du fait qu'on ne peut pas manipuler

IV.4 La partie de command avec régulateur pid :

IV.4.1 Algorithmes de contrôle de base

Avec ce type de contrôleur fixe, un bon comportement peut être obtenu lorsque le fonctionnement est proche des conditions de conception ou de débit nominal, mais lorsqu'il fonctionne dans d'autres conditions, le comportement se détériore. Comme simple développement initial, les règles de Ziegler – Nichols (ZN) ont été utilisées. La fonction de transfert du contrôleur PID dans le domaine temporel peut être écrite comme suit:

$$G_{PID}(s) = (kp + \frac{1}{T_{1S}} + T_{DS})$$

IV.4.2 Méthode Ziegler–Nicols:

Elle a été développée par John G. Ziegler et Nathaniel B. Nichols. La méthode présentée ici est celle utilisant la génération de l'oscillation entretenue en boucle fermée:

Chapitre IV: commande de la température avec régulateur PID

Tout d'abord, on annule l'action intégrale et l'action dérivée. L'action proportionnelle est augmentée jusqu'à ce que le signal en sortie de la boucle fermée oscille de manière entretenue. On note alors ce gain K_U , c'est le gain maximal (ou gain critique). On note T_U la période d'oscillation du signal. Les paramètres du régulateur, K_p , T_I et T_D sont choisis en se référant au tableau ci-dessous

CONTROLLER	P	PI	PID
K_p	$\frac{\tau}{KT_D}$	$\frac{0.9\tau}{KT_D}$	$\frac{1.2\tau}{KT_D}$
T_i	-	$3T_D$	$2T_D$
T_d	-	-	$0.5T_D$

Tableau 1 : Open loop Ziegler–Nichols heuristic rules

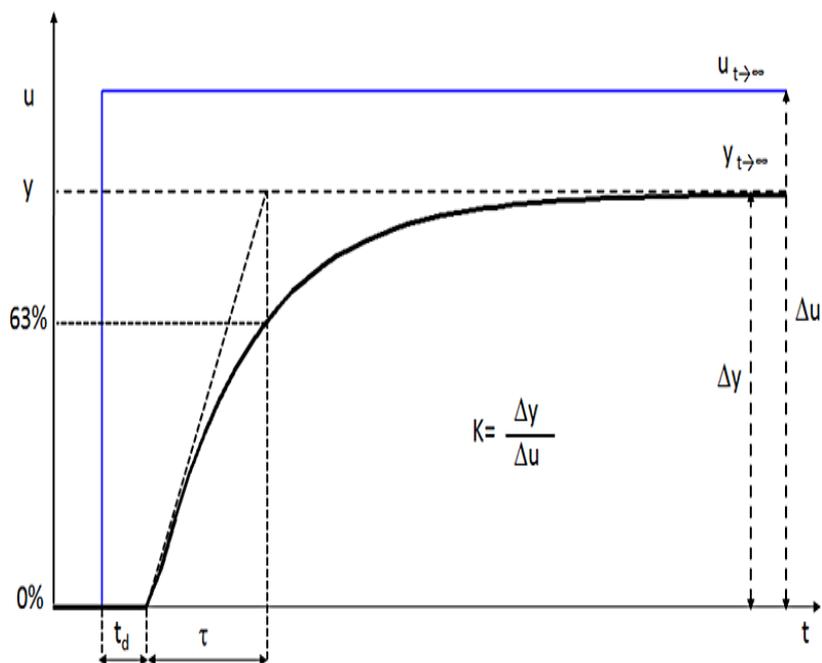


Figure 19 : Caractérisation de réponse système de premier ordre

La figure 20 montre les conditions d'irradiance solaire directe et le débit de pompé à constante. Comme on peut le constater, les résultats obtenus : les systèmes contrôlés ont tendance à avoir une oscillatoire réponse à cause de changement d'irradiance solaire directe avec le tube-récepteur

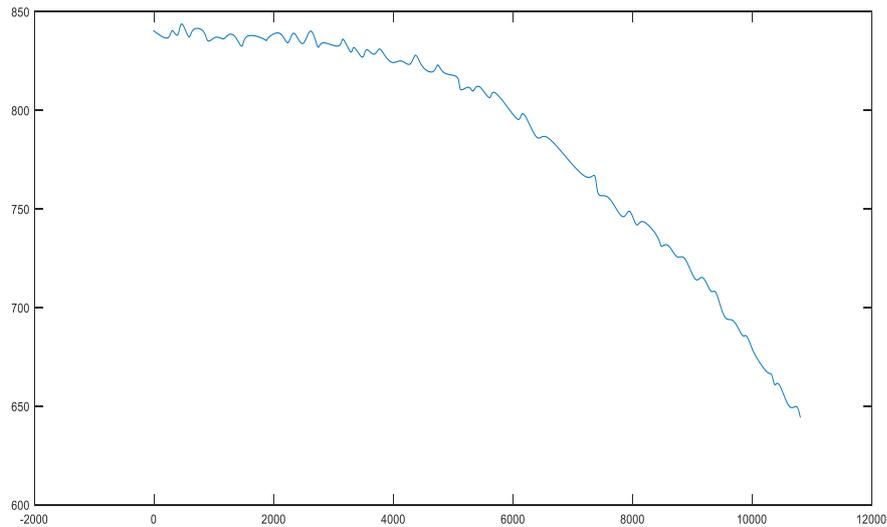


Figure 20 : irradiance solaire directe

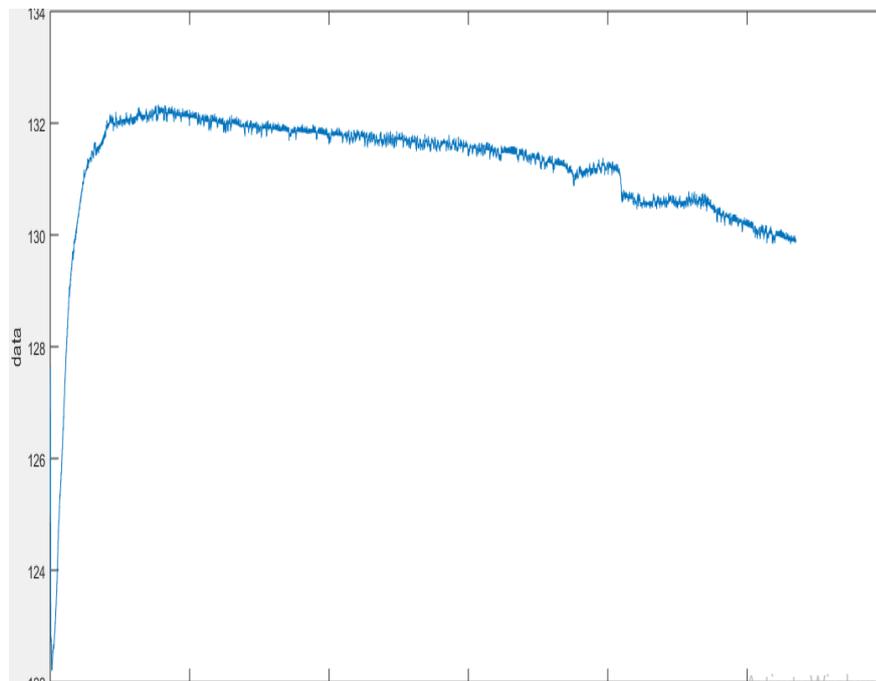


Figure 21 : la sortie de système (température)

IV.4.3 Commande avec régulateur PID

Le contrôleur PID conçu par les règles ZN peut être amélioré en modifiant les paramètres du contrôleur après les premiers tests effectués en système.

Plusieurs années d'expérience et la disponibilité du modèle à paramètre distribué non linéaire ont permis à un contrôleur PID fixe de fonctionner à débit de pompé à constant

Chapitre IV: commande de la température avec régulateur PID

-Dans le Premier test Rejet de perturbation, nous allons mettre le débit constant, et nous utilisons réponse indicielle sur le retour pour faire du bruit sur la variable contrôlée (out put), Nous voyons la réaction du système et les changements de température par rapport le temps après nous utilisons le régulateur PID en série et voyons le système réaction

- Dans le deuxième test: puls generateur on va utiliser pulse générateur au lieu de constant pour varier le débit de système linéairement et voir la réaction de système après utiliser régulateur pid pour contrôler la sortir

IV .4.3.1 Premier test Rejet de perturbation

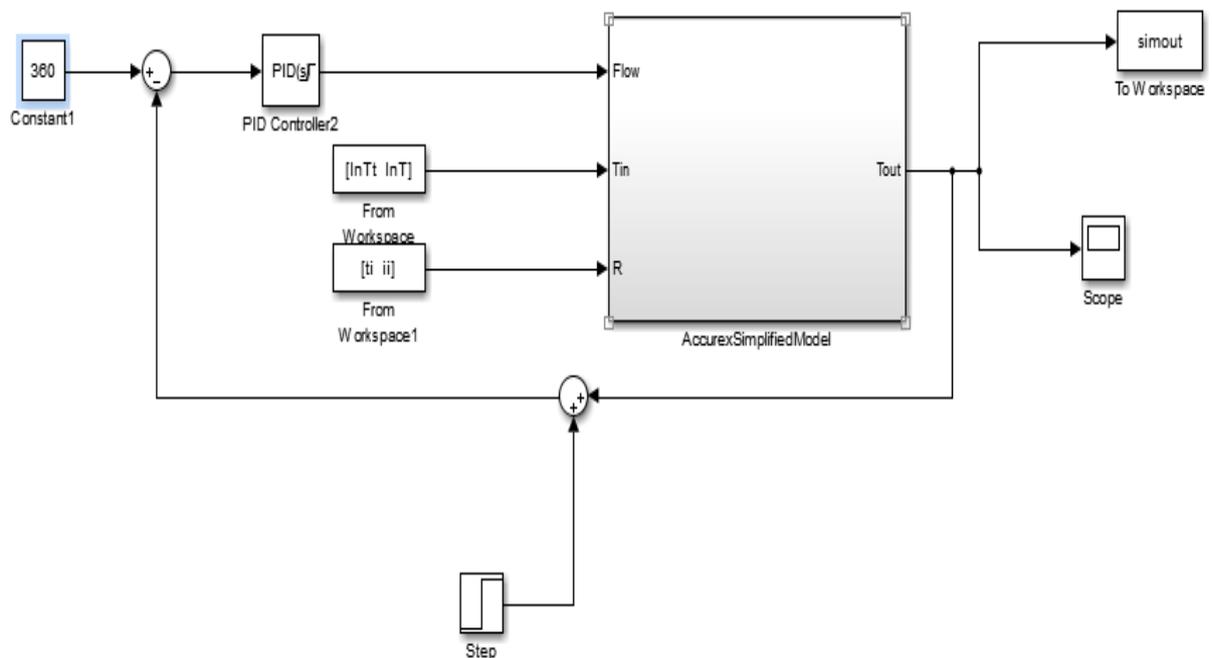


Figure 22 : subsysteme accurex simple modele avec PID et constant débit

De retour à l'intérieur du paramètre de bloc PID, tableau 2 cette option permet de sélectionner une méthode de réglage ZN, cette méthode de transfert est basée sur le système.

Chapitre IV : commande de la température avec régulateur PID

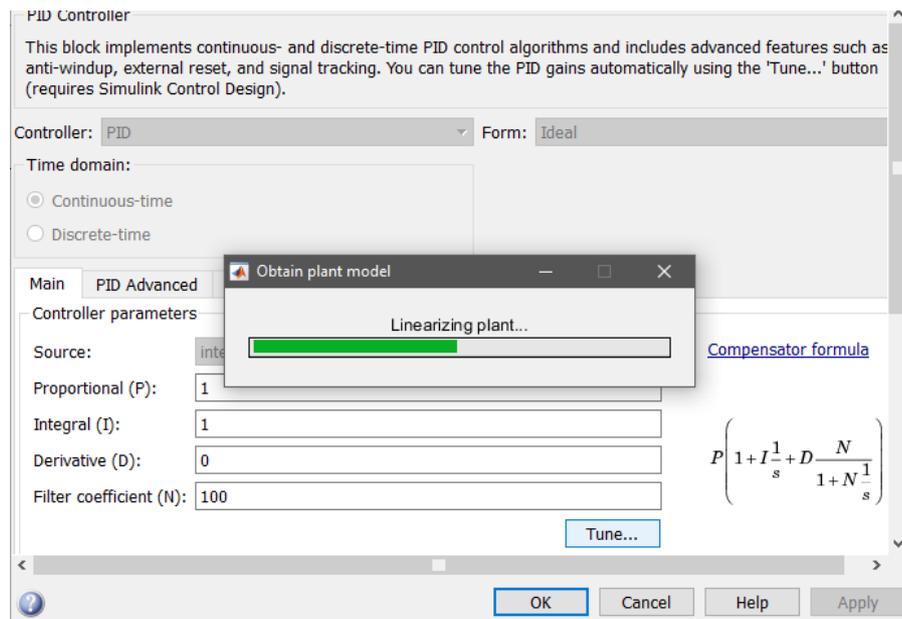


Tableau 2 : option de réglage

Pour ajuster le gain, déplacez les curseurs du haut pour modifier les exigences du système, est-ce que je veux un temps de montée plus ou moins rapide, est-ce que je veux être plus agressif ou plus robuste

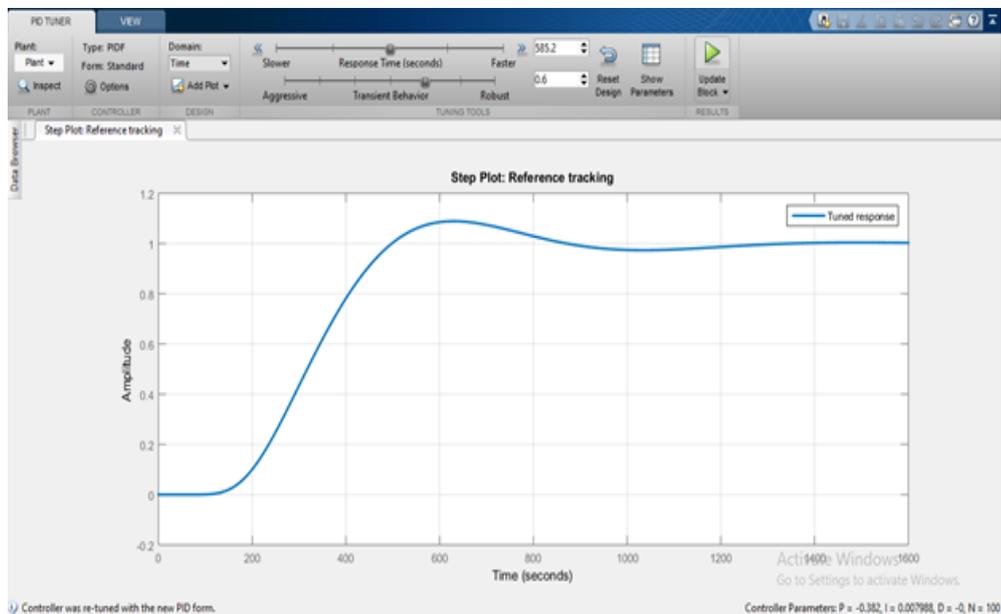


Figure 23 : suivi de référence indicielle

Les valeurs PID que nous avons obtenues grâce à l'utilisation méthode de réglage ZN

$$K_p = -0.754$$

$$K_i = 0.05$$

$$K_d = 5.02$$

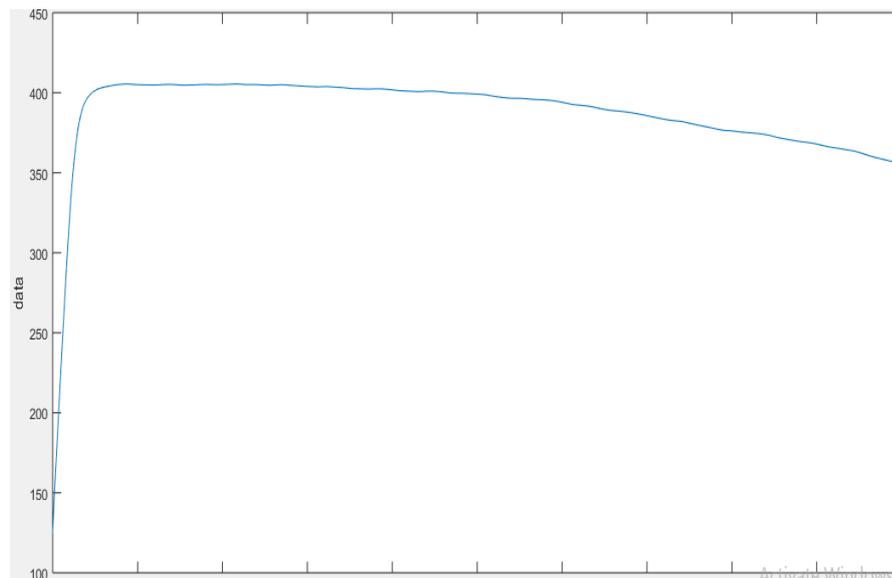


Figure 24 : la sortie de système avec régulateur PID

L'action proportionnelle : Lors d'une perturbation, la mesure s'écarte de la consigne, la régulation proportionnelle tend à la ramener tout en laissant subsister un écart résiduel, lorsque le régime permanent est atteint.

Le comportement de l'action intégrale pour annuler l'écart, suite à des perturbations. Lors de changement de consigne, son intérêt est moindre car l'écart s'annule naturellement du fait que le procédé est lui-même intégrateur. Dans ce cas l'action intégrale donne une réponse plus rapide qu'en régulation à action proportionnelle seule

L'action dérivée est de compenser les effets du temps mort (retard) du procédé. Elle a un effet stabilisateur mais une valeur excessive peut entraîner l'instabilité

Le graphe représente la variation de la température de fluide en fonction de temps. A l'instante 0s nous avons injecté une perturbation additive d'amplitude égale à 50 c à d plus de 13 % de la valeur désirée, cette perturbation a fait dévier la température de 30°C c à de 8 %. Notre régulateur a pu faire revenir la température après cette perturbation à l'intervalle de 5% en 500s

IV.4.3.2 deuxième test Commande de poursuite

IV.4.3.2.1 utilisation régulateur PID :

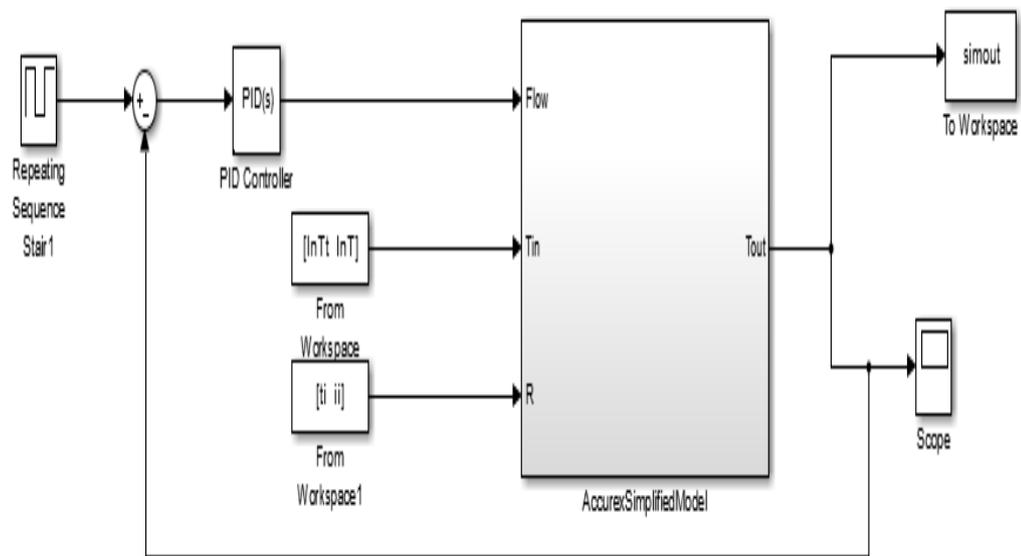


Figure 25 : subsysteme accurex simple modele avec PID avec commande de poursuite

Paramters puls generateur :

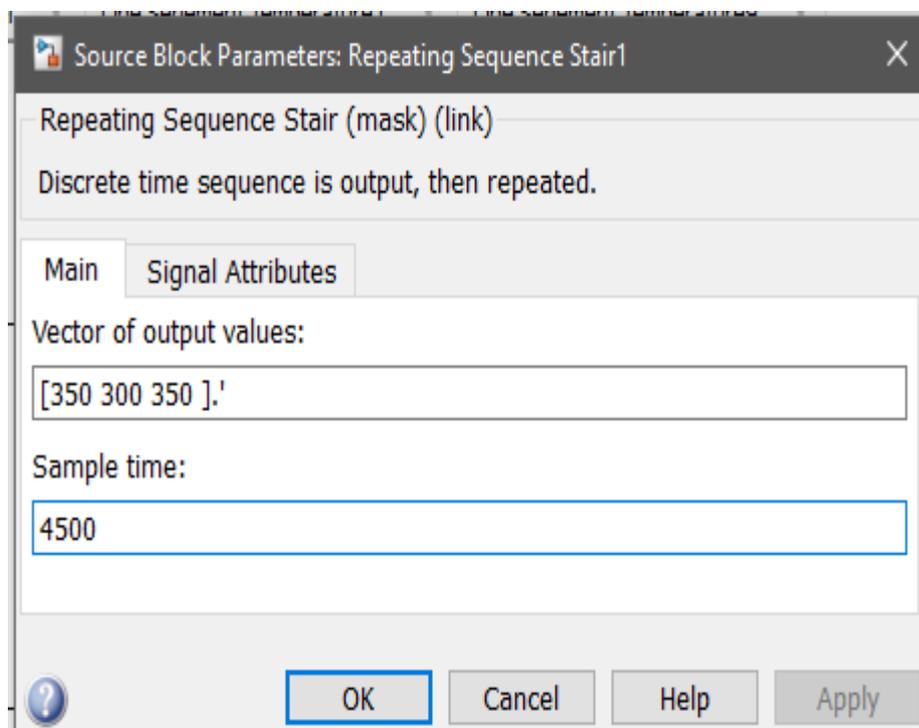


Tableau 3 : Paramters séquence répétée

Chapitre IV: commande de la température avec régulateur PID

ZN réglage option :

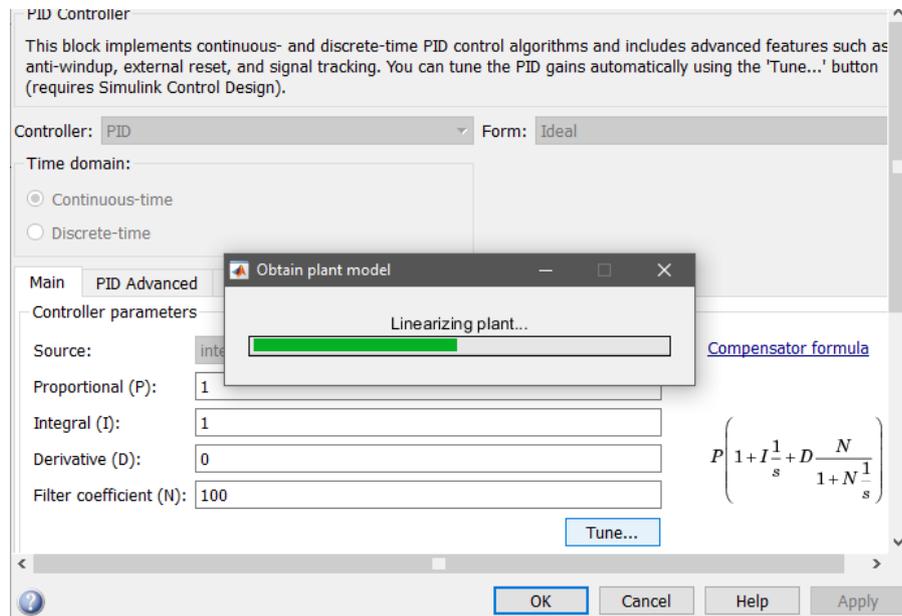


Tableau 4 : ZN réglage option

Les valeurs PID que nous avons obtenues grâce à l'utilisation méthode de réglage ZN

$K_p = -0.745$ $K_i = 0.05$ $K_d = 5$

l'étude de l'action proportionnelle montre que lors d'une variation de consigne, la mesure rejoint la consigne, la mesure rejoint la consigne dans tous les cas.

L'action intégrateur : pour annuler l'écart, suite à des perturbations. Lors de changement de consigne, son intérêt est moindre car l'écart s'annule naturellement du fait que le procédé est lui-même intégrateur. Dans ce cas l'action intégrale donne une réponse plus rapide qu'en régulation à action proportionnelle seule.

L'action dérive : Dans le cas d'un signal de mesure bruité, la dérivée amplifie le bruit, ce qui rend son utilisation délicate ou impossible. La solution à ce problème consiste, soit à filtrer le signal de mesure, soit à utiliser un module de dérivée filtrée avec un gain transitoire réglable.

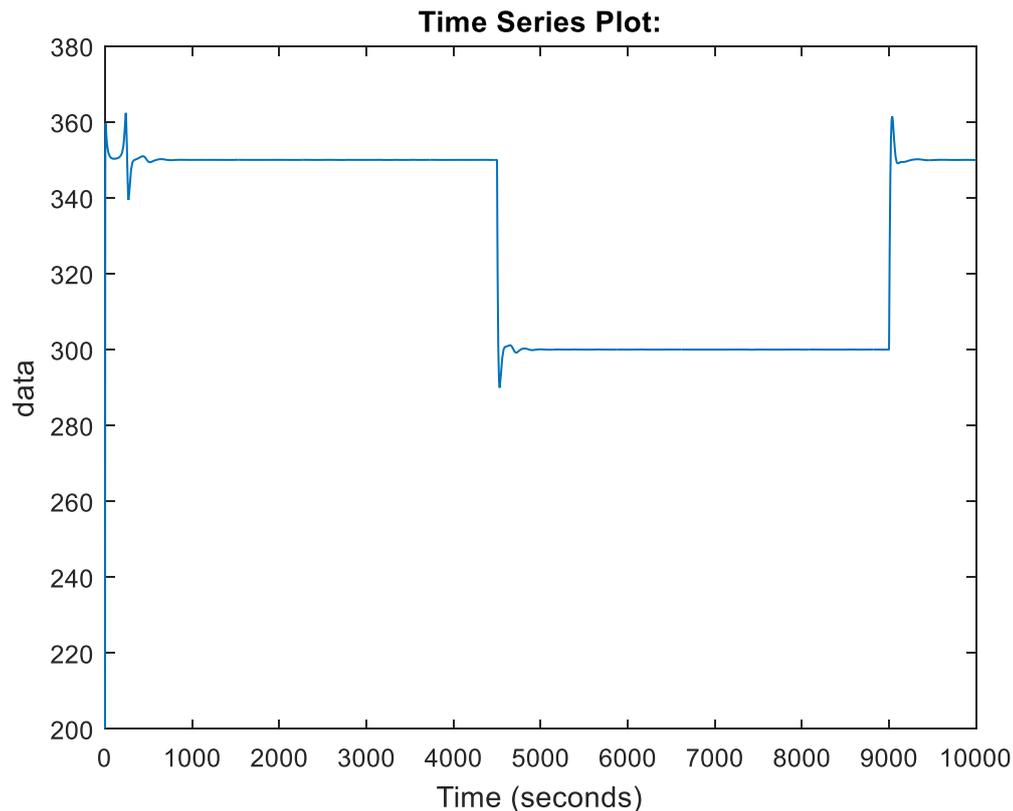


Figure 26 : la sortie de système avec régulateur pid

Après utilisation le régulateur PID Le Système avait des dépassements avec des amortissements entre [0,700] seconde après il se stabilise à la valeur désiré, jusqu'à 4500, en suit le changement paramètre de (repeating sequence a la valeur 300, la réponse diminue a la valeur désire avec des amortissements entre [4500,4900] on observe que la vitesse de régulateur pour stabilise le système entre l'intervalle [0,4500] et [4500,9000] sont différents ,parce que dans le premier intervalle la valeur de température augment entre [200,350]et le deuxième intervalle diminue entre[350,300] on constate que la vitesse de régulateur PID est en relation avec la température

IV.5 PID contrôleur avec feedforward

Le Feedforward contrôler sont largement utilisé dans l'industrie pour corriger les effets causés par des perturbations externes et mesurables. Les perturbations sont détectées et utilisées pour calculer la valeur de la variable manipulée requise pour maintenir le contrôle au point de consigne. La première étape de la conception d'un système de contrôle prédictif consiste à obtenir un modèle mathématique de la manière dont les perturbations affectent le processus.

IV.5.1 Schéma de contrôle de base :

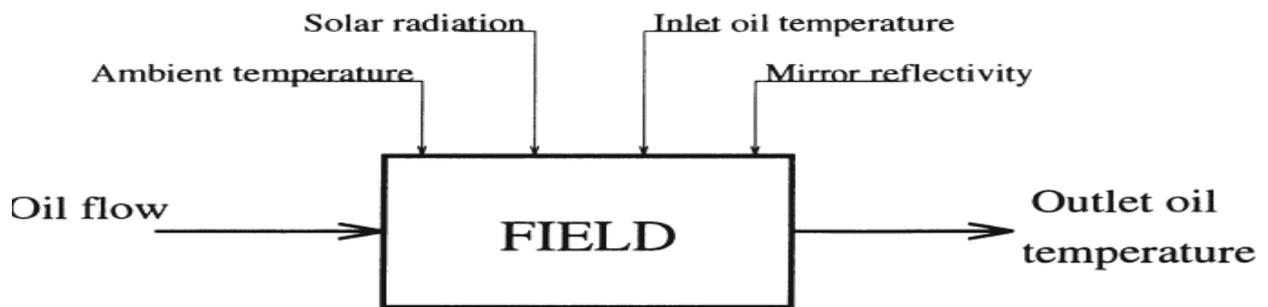


Figure 27 : Variables qui affectent la température de l'huile de sortie [44]

le rayonnement et la température de l'huile d'entrée servent à ajuster directement le débit d'huile à la valeur calculée pour maintenir la température de sortie au niveau souhaité. Cela limite les excursions de température de sortie, ce qui est souhaitable du point de vue de la commande, et garantit que la température de sortie est principalement fonction du débit d'huile, ce qui est

La variable manipulée.

En tenant compte des considérations de base précédentes, on a:

$$(T_0 - T_U)u = \frac{1}{P_{CP}} (N_0SI - H_L(T_U - T_a)).$$

Cette dernière équation peut être approchée par :

$$(T_0 - T_U)u = 0.7869I - 0.485(T_0 - 151.1) - 80.07$$

Compensation directe en série Une autre solution pour fournir la compensation essentielle aux variations I et T_{in} consiste à introduire un élément en série, comme indiqué dans La sortie de cet élément en série forme le signal de flux d'huile souhaité U_s , et est calculée à partir de l'expression suivante:

u_{ff} : est le débit calculé pour fournir le débit souhaité

$$u_{ff} = \frac{0.7869I - 0.485(u - 151.5) - 80.7}{u - T_{in}}$$

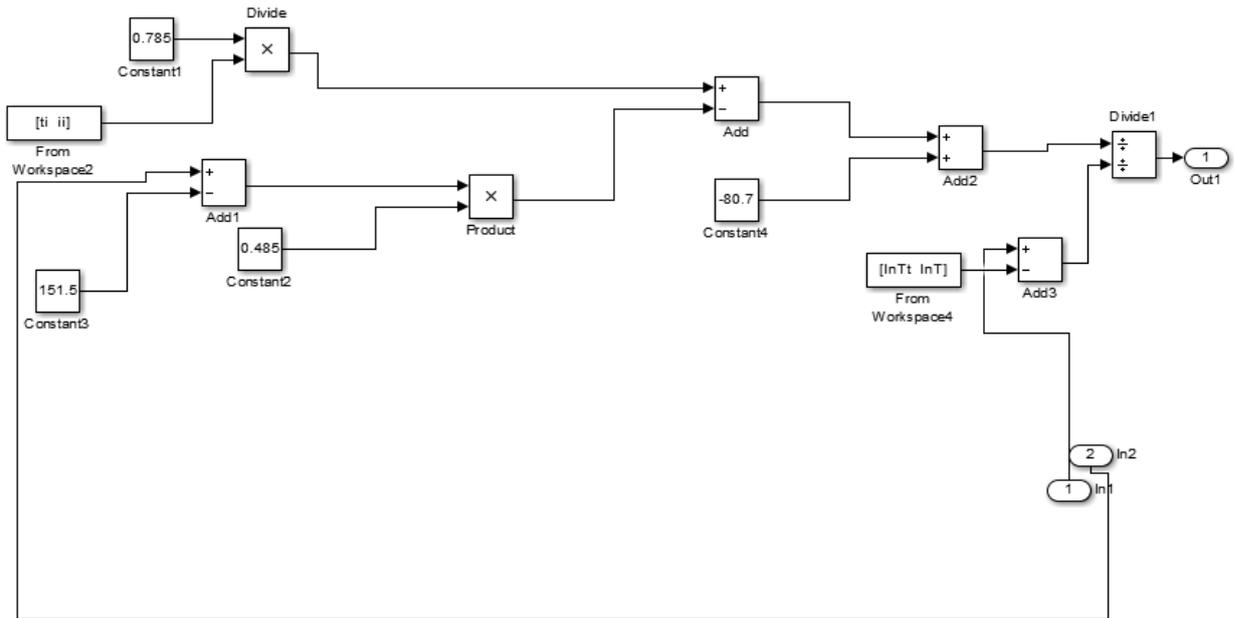


Figure 28 : contrôleur feedforward

IV.5.2 PID contrôleur avec feedforward Rejet de perturbation :

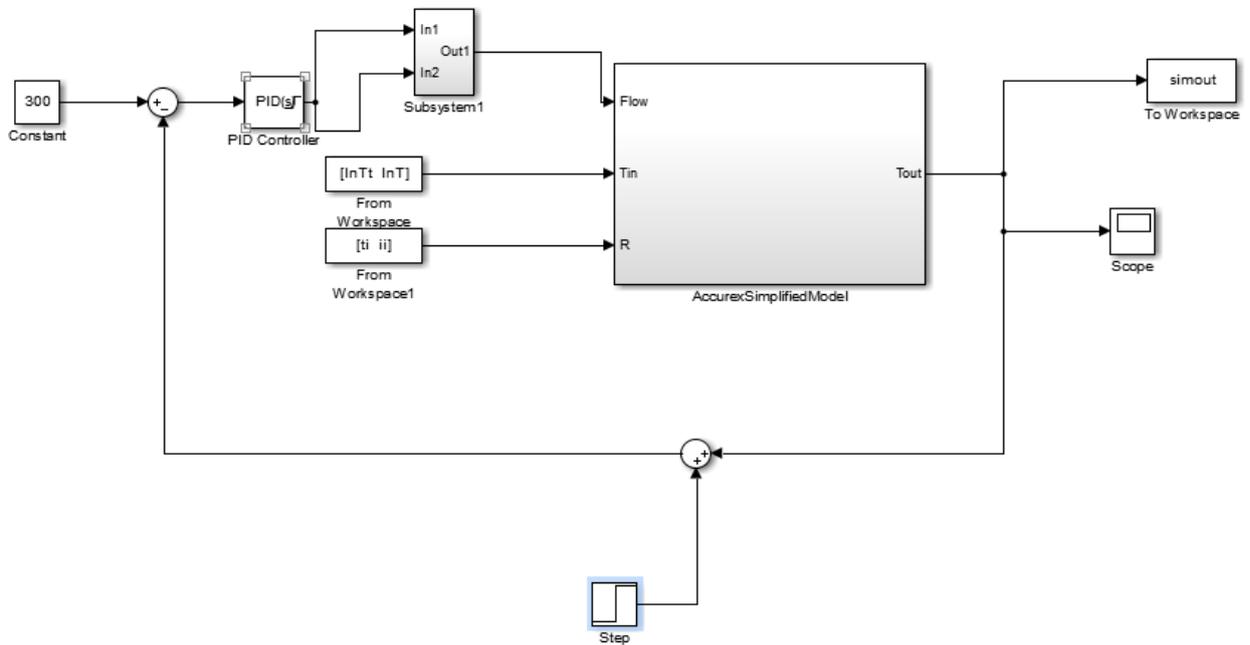


Figure 29 : diagramme bloc PID contrôleur avec feedforward Rejet de perturbation

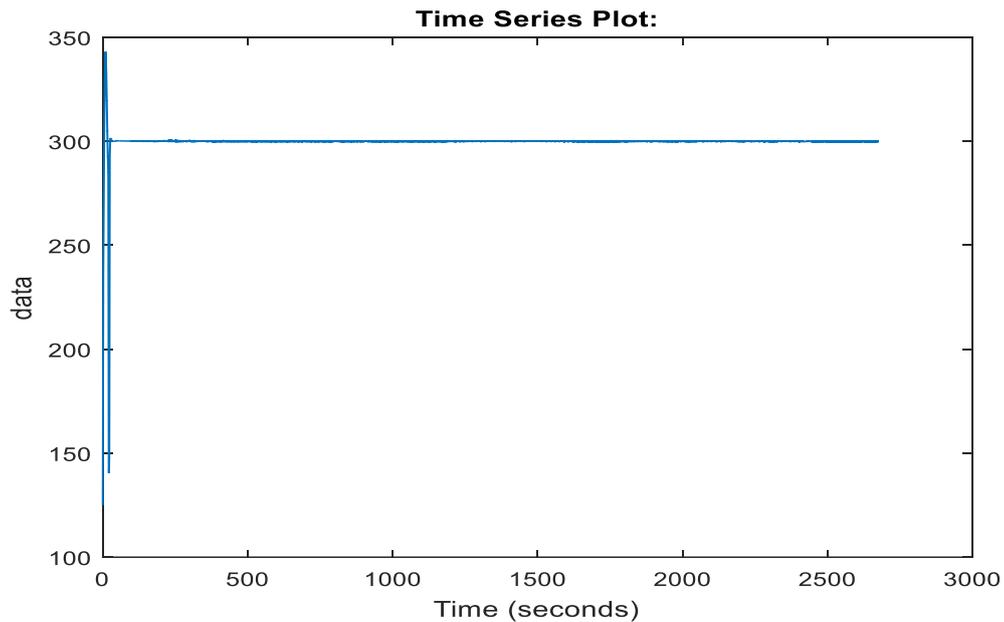


Figure 30 : la sortie de system (température)

Après l'utilisation de Feedforward avec régulateur PID, le système avait des dépassements avec des amortissements entre [0,20] second après il se stabilise à la valeur désiré, on constate que notre système rapide et stable.

IV.5.3 PID contrôleur avec Feedforward Commande de poursuite :

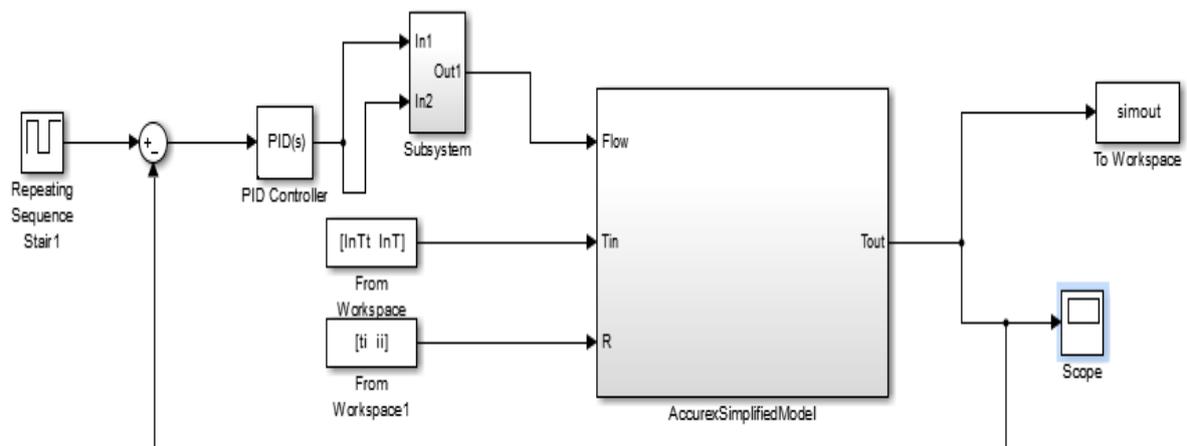


Figure 31 : diagramme bloc PID contrôler avec Feedforward Commande de poursuite

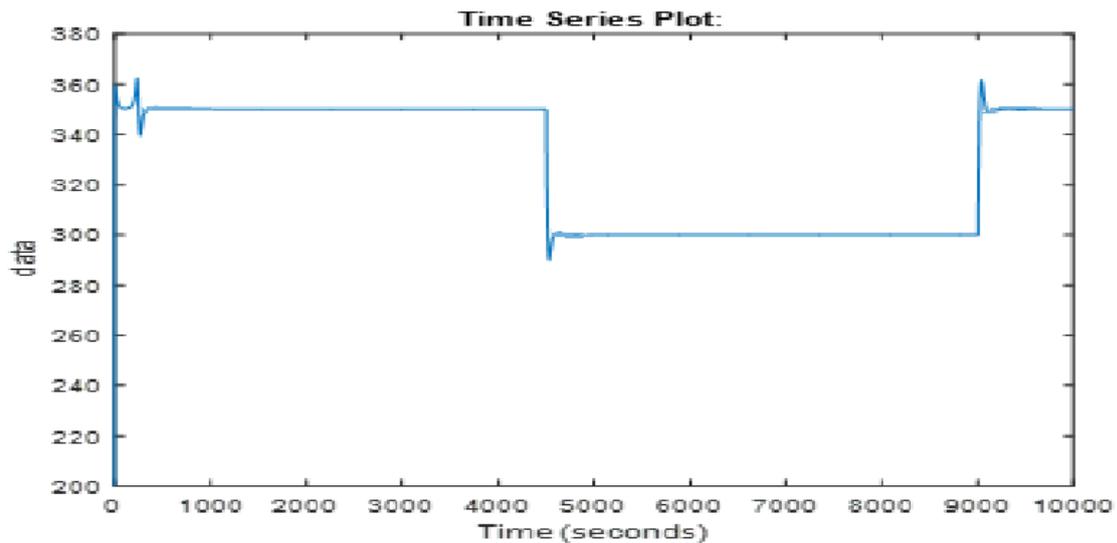


Figure 32 : la sortie de system (température)

Lorsqu'on génère des séquences continue le système avait des dépassements avec des amortissements entre [0 500] seconde après il se stabilise à la valeur désiré jusqu'à 4500, en suit le changement paramètre de (séquence répétée) a la valeur 300, la réponse diminue a la valeur désire avec des amortissements entre [4500,4700] on observe que la vitesse de régulateur PID feedforward pour stabilise le système entre l'intervalle [0,4500] et [4500,9000] sont différents , parce que le changement de température dans le premier intervalle plus grand que l'intervalle deuxième [200,350]>[350,300] Dans le cas idéal de la figure 26, l'assemblage de Feedforward avec régulateur PID à accélérer le temps de réponse et minimise l'erreur par contre l'utilisation du PID seul qui a donné un plus de temps pour attient la valeur désiré.

III.6 Conclusion:

La technologie du concentrateur cylindro-parabolique est la plus économique et la plus robuste même si les frais initiaux sont très élevés, le solaire s'avère moins cher à long terme que les autres centrale puisque le combustible d'une centrale solaire est gratuit et inépuisable.

Nous avons montré que la température de sortie de l'eau dépend de plusieurs facteurs dans les plus importants sont la variation de l'éclairement solaire, la géométrie et le matériau constituant le réflecteur, la nature et les dimensions de l'absorbeur et les qualités optiques de sa surface réfléchissante

Ces résultats peuvent être exploités directement sous forme des projets individuels ou collectifs par la réalisation des concentrateurs solaires installés au-dessus des maisons ou des bâtiments.

- [1] Énergie renouvelable. disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable#Les_diff%C3%A9rents_types_d%E2%80%99%C3%A9nergies_renouvelables le 13-03-2019
- [2] infoelec .Glossaire des énergies renouvelables (EnR).mise a jour 20/10/2016 disponible sur <https://www.infoelec.dz/article/glossaire-des-energies-renouvelables-enr.html> le 14-03-2019
- [3] actu-environnement.energie renouvelable. disponible sur https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/energie_renouvelable.php4 le 15-03-2019
- [4] Jean-François Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, Lavoisier, Paris, 1993 (ISBN 2-85206-618-1), p. 88-89.
- [5] Imperial College London, Department of Physics, London SW7 2AZ, United Kingdom Solar cells and solar energy page 19
- [6] Energie renouvelable .conseils sur les énergies du futur. Disponible sur https://www.energie-renouvelable.tv/td_d_slug_7-2/ le 20-03-2019
- [7] World Analytics.Offshore Wind Turbine Installation Vessels .disponible sur <https://worldanalytics24.com/offshore-wind-turbine-installation-vessels-market-by-top-manufacturers-with-production-price-revenue-value-and-market-share-to-2025/251074/>.le 25-03-2019
- [8] Énergie hydraulique [archive], sur le site actu-environnement.com, consulté le 7 janvier 2014
- [9] 302gr7technochatoire2015.Les sources d'énergie renouvelables et leur exploitation disponible sur <https://sites.google.com/site/302gr7technochatoire2015/les-sources-d-energie-renouvelables-et-leur-exploitation>.le 26-03-2019
- [10] « New bioenergy roadmap guide released jointly by IEA and FAO » [archive], sur *Agence internationale de l'énergie* (consulté le 1^{er} février 2017).
- [11] slideshare.Energía de la biomasa disponible sur https://es.slideshare.net/Esther_Perez/energa-de-la-biomasa2-1.le 28-03-2019
- [12] M. Capderou, 1987 : Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU.
- [13] Michel Daguenet: les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unesco, paris ; 1985.
- [14] Control of Solar Energy Systems | Eduardo F. Camacho page 4

- [15] Geophysical Research Letters, vol. 38, L01706, 7 PP., 2011
- [16] Increasing possibilities.Ehson Shirazi, Economist (Singapore). How can solar PV help to remove subsidies in the electricity sector? page 6
- [17] Control of Solar Energy Systems | Eduardo F. Camacho page 5
- [18] Control of Solar Energy Systems | Eduardo F. Camacho page 6
- [19] encyclopédie de l'énergie. L'approvisionnement énergétique de maghreb mise a jour 23 Octobre 2015.disponible sur <https://www.encyclopedie-energie.org/lapprovisionnement-energetique-du-maghreb/> le 26-03-2019
- [20] Site internet:www.enerzine.com/1/235+algerie-le-nouvel-eldorado-solaire-energie+.html le 27-03-2019
- [21] CONCENTRATING SOLAR THERMAL ENERGY Innovative Technologie liefert (Energie) Lösungen.page 2
- [22] epdf.Cellules solaires - 5ème édition - Les bases de l'énergie photovoltaïque desponibl sur <<https://epdf.pub/cellules-solaires-5eme-edition-les-bases-de-lenergie-photovoltaque.html>>
- [23] Les Centrales Solaires à Concentration.Université de Liège
Faculté des sciences appliquées.Quoilin Sylvain
- [24] connaissance des énergies.Solaire thermodynamique (à concentration)disponible sur <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration> le 28-03-2019
- [25] science direct.Solar Energy Utilization and Its Collection Devices
disponiblesur<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-concentration> le 28-03-2019
- [26] Energie rurale pour le-OSTI.GOV.de NBentaleb - 2002 - disponible sur <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20723690> le 29-03-2019
- [27] science direct.Parabolic Trough.M.U.H. Joardder, ... M.H. Masud, in Clean Energy for SustainableDevelopment,2017disponiblesur<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parabolic-trough> le 30-03-2019
- [28] wordlesstech.Gigantic Solar Farm in Africa could be Powering Europe.disponible sur.<https://wordlesstech.com/gigantic-solar-farm-africa-powering-europe/> le 30-03-2019

- [29] alternative energy tutorials .Parabolic Trough Reflector disponible sur <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html> le 30-03-2019
- [30]solarenergy.FresnelCollectors.disponiblesur <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=15778> le 01-04-2019
- [31]energies Process Heat Generation Potential from Solar Concentration Technologies disponible sur <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/383/xml>.le 02-04-2019
- [32] INSA ROUEN Projet de Physique P6 STPI/P6/2014-041.Concentrateurs solaires et production électrique
- [33] Control of Solar Energy Systems | Eduardo F. Camacho page 16
- [34] Development of an integrated tool to design, estimate cost and calculate annual performances of a solar power tower .Emil Blampain
- [35] ecosources.info.Les tours solaires ou centrales à concentration disponiblesur<https://www.ecosources.info/dossiers/Tour_solaire_thermodynamique_centrale_a_concentration> le 03-04-2019
- [36] Énergie thermique . disponibl sur .<https://lenergie-solaire.net/definitions/energie-thermique.html> le 03-04-2019
- [37] academica Wikipédia en Français Solaire thermique.disponibl sur <https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/1553084> le04-04-2019
- [38]wikipedia.Énergiesolaire<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire#Centrales_solaires_thermodynamiques> le 04-04-2019
- [39] jeqn-mare jancovici Pourrait-on alimenter la France en électricité uniquement avec du solaire disponible sur <https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/pourrait-on-alimenter-la-france-en-electricite-uniquement-avec-du-solaire-ou-de-la-biomasse/> le 05-04-2019
- [40] INSA ROUEN Projet de Physique P6 STPI/P6/2014-041.Concentrateurs solaires et production électrique
- [41]: dualsun.Le Rendement et la Production d'un panneau solaire : guide complet disponible sur<<https://news.dualsun.com/fr/technologie-solaire/rendement-production-panneau-solaire>> le 06-04-2019

[42] Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique . Abdelhafid Moummi

[43] : Camacho, Berenguel, Rubio - 1997 - Advanced Control of Solar Plants.page 26

[44] : Camacho, Berenguel, Rubio - 1997 - Advanced Control of Solar Plants.page 48

