



**CONTRIBUTION A LA CONCEPTION ET
DIMENSIONNEMENT D'UN RECEPTEUR LINEAIRE
POUR UN CONCENTRATEUR SOLAIRE DE TYPE
LINEAIRE FRESNEL**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE EN SCIENCES DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Génie Energétique

Présenté et soutenu publiquement le 28 Octobre 2015

Par :

RAMADJI Frédérick

Travaux dirigés par : Dr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Enseignant-chercheur au LESEE

(Laboratoire d'Energie Solaire et Economie d'Energie)

Ing. Gaëlle Kafira KO

Doctorante au LESEE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Madieumbe GAYE

Membres et correcteurs : Dr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE
Dr. Moussa SORO

Promotion [2014/2015]

Demandez, et l'on vous donnera ; cherchez, et vous
trouverez ; frappez, l'on vous ouvrira.

“Mathieu 7.7”

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

- ✚ Mon père NAKEMBAYE NGARMADJI, dont l'effort consenti depuis fort longtemps a donné aujourd'hui un fruit pour lui et pour toute la société.
- ✚ Ma mère DILADE-EL MIRIAM qui s'est battue d'arrache-pied pour que je devienne ce que je suis. Oh femme noire femme africaine tu as âprement souffert pour moi ; que tu trouves ici l'expression de toute ma gratitude.
- ✚ Mon grand frère DJINGAMADJI BRAVO qui a toujours voulu l'émergence de la Grande famille NGARNADJIBE, m'encourageant sans relâche pour mes études à 2iE.
- ✚ La famille NDJEKORNONDÉ MALON qui ne cesse de m'encourager pour mes études à 2iE.
- ✚ Mes frère DJIMARABEYE Pacifique, NDOUBAHIDI Valoir, RANOUDJI Eric.
- ✚ Mes sœur MBAIDÉNÉ Caroline, DÉNÉMADJI Isabelle, RÉMADJI Sollicité, NETONON Alliance, NDJILKARMBAYE Polarice, REMADJI Gisèle.
- ✚ Tous mes amis qui m'ont soutenu dans cette quête de la connaissance et dans cet apprentissage dans la vie sociale.
- ✚ Tous les promotionnaires avec qui j'ai partagé les joies et les inquiétudes de l'année.

Que ce document soit le mémoire que toute la famille attendait avec ardeur.

REMERCIEMENTS

Je ne saurais exprimer mes remerciements au tout puissant seigneur et sauveur Jésus Christ de m'avoir accordé la foi, la force et le courage pour mener à bien mes études ainsi que ce travail de fin d'étude.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à toutes les personnes physiques ou morales qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Qu'il me soit permis de remercier particulièrement :

- ✚ Le responsable du Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE)
Dr. Daniel YAMEGEU pour son accord pour le stage au sein du laboratoire.
- ✚ Mes encadreurs **Dr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE** enseignant chercheur au laboratoire LESEE et **Ing. Gaëlle Kafira KO PhD-student** au laboratoire LESEE qui m'ont tout d'abord permis de réaliser au sein du laboratoire un mémoire sur une thématique qui me tenait particulièrement à cœur; sur la conception et le dimensionnement du récepteur linéaire de Fresnel. Je les remercie également pour leurs conseils avisés, leur enthousiasme et leur encouragement tout au long de mon mémoire ainsi que pour la liberté et l'autonomie qu'ils m'ont accordé dans la gestion de mes travaux de recherche. Je tiens également à les remercier pour leur relecture, leurs nombreuses remarques et corrections.
- ✚ **Madieumbe GAYE** pour son encouragement et ses conseils sur les travaux effectués lors de mon stage au sein du LESEE.

J'adresse de très profonds remerciements à l'ensemble du corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour m'avoir transmis les connaissances multidisciplinaires qui font de moi un Ingénieur de référence.

Je n'oublie pas l'ensemble du personnel du LESEE qui m'a apporté son aide au cours de mon stage.

Enfin, je remercie :

- ✚ Mes parents, frères et sœurs et toute la **grande famille NGARNADJIBE**.
- ✚ Tous mes amis pour leur soutien moral et matériel.
- ✚ Tous les étudiants de 2iE pour l'ambiance et l'esprit de paix et d'harmonie qu'ils ont su préserver au sein de 2iE.
- ✚ Mes promotionnaire pour une bonne collaboration et un univers d'échange par excellence.

Nomenclature

\dot{m}	Débit massique	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
w	Largeur du miroir	m
L	Chaleur latente	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
h	Hauteur du récepteur	m
A	La Surface	m^2
Q	Flux de chaleur	kJ
C_p	Capacité calorifique du fluide de travail	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
DNI	Irradiation	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
T	Température	$^{\circ}\text{C}$
$\eta_{\text{opt-tot}}$	Rendement optique total	
U	Coefficient d'échange thermique	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Q_n	Distance du miroir n au centre du concentrateur	
s_n	Distance entre deux miroirs consécutifs	

Indice

o	Sortie
i	Entrée

<i>op</i>	Optimale
<i>amb</i>	Ambiant
<i>r</i>	réflecteur
<i>fl</i>	Fluide
<i>moy</i>	moyenne
<i>S</i>	Stabilité
<i>abs</i>	Absorbé
<i>prd</i>	Perdu
<i>tot</i>	Total
<i>opt</i>	Optique
<i>conv</i>	Convection
<i>cond</i>	Conduction
<i>rad</i>	Rayonnement
<i>th</i>	thermique
<i>m</i>	Miroir
<i>rec</i>	récepteur

Symbole grec

α	Coefficient d'absorption
----------	--------------------------

η_0	Fraction du rayonnement solaire arrivant sur le récepteur
ξ_0	Moitié du diamètre apparent du soleil
θ_n	Angle d'inclinaison du miroir de rang n

Sigle et Abréviation

LESEE	: Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie
CSP	Concentrating Solar Power plant
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
CPV	photovoltaïque concentré
NRL	National Renewable Energy Laboratory

Table Des Matières

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES.....	ix
RESUME.....	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCTION.....	1
I.1 Contexte.....	1
I.2 Problématique.....	2
I.3 Les objectifs et attentes	2
I.4 Structure d'accueil	2
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
II.1 les différentes technologies des centrales a concentration.....	4
II.1.1 Centrale à tour.....	5
II.1.2 Centrale cylindro-parabolique	5
II.1.3 Centrale parabolique ou Dish	5
II.1.4 Centrale de FRESNEL.....	5
II.2 Les récepteurs linéaires	6
II.2.1 Généralités sur les récepteurs linéaires	6
II.2.2 Le récepteur en V	7
II.2.3 Le récepteur trapézoïdal.....	9
II.2.4 Récepteur monotube sous vide	10
II.2.5 Concentrateur à récepteur horizontal	11
II.2.6 Concentrateur à récepteur vertical.....	11
II.3 Les revêtements sélectifs.....	12
II.3.1 Les peintures sélectives	12
II.3.2 Méthode de préparation de la surface sélective	12
III. CONCEPTION DU RECEPTEUR LINEAIRE DE FRESNEL.....	13
III.1 Paramètres d'optimisation de la géométrie du récepteur	13
III.1.1 La hauteur du récepteur	13
III.1.2 La longueur du récepteur	13

III.1.3	La largeur du récepteur	14
III.2	Modele thermique du recepteur	16
III.2.1	Les températures	16
III.2.2	Température sur la longueur du récepteur	16
III.2.3	Température autour des tubes	17
III.2.4	La température des surfaces et du fluide.....	17
III.2.5	Température à l'intérieur du tube absorbeur	17
III.3	Le rendement et les pertes dans les centrales linéaires de Fresnel	18
III.4	Les échanges thermiques dans un récepteur linéaire	19
III.4.6	Les pertes thermiques sur le récepteur.....	21
•	Pertes par convection.....	21
•	Pertes par conduction	21
•	Pertes par rayonnement.....	22
IV.	DIMENSIONNEMENT DU RÉCEPTEUR	23
IV.1	Détermination de $\cos\theta$	24
IV.2	Détermination de nombre des tubes.....	24
IV.3	Structure de support du récepteur	26
IV.4	Evaluation de la charge	27
IV.5	Les sollicitations appliquées a la structure	28
V.	AUTOMATISME DE SYSTEME DE SUIVI	30
V.1	Fonctionnement du système mécanique.....	30
V.2	La partie commande	31
V.3	Partie opérative	32
VI.	PROTOCOLE DE CARACTERISATION DU RECEPTEUR LINEAIRE	34
VI.1	Introduction aux tests de manipulations.....	38
VI.1.1	Test d'influence du type de fluide caloporteur circulant dans l'absorbeur	38
VI.1.2	Test de variation débit de fluide caloporteur	38
VI.1.3	Exploitation des données.....	40
VII.	CONCLUSION.....	42
VIII.	RECOMMANDATIONS.....	43
	BIBLIOGRAPHIE	44

ANNEXES..... 45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Estimation de la température autour du récepteur..... 16
 Tableau 2: Les échanges thermiques dans un récepteur linéaire [14]..... 20
 Tableau 3: Grandeur à déterminer dans le récepteur [17]..... 25
 Tableau 4: Hypothèses et les variables affectant le récepteur..... 36
 Tableau 5: Les différentes manipulations 37
 Tableau 6: Disposition des instruments de mesures..... 39
 Tableau 7: Equipement requis pour l'expérimentation..... 39
 Tableau 8:Fiche de notation des grandeurs mesurées par les instruments..... 40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Configuration des différentes technologies des CSP..... 4
 Figure 2: Représentation schématique d'un concentrateur de type Fresnel [4]..... 6
 Figure 3: Récepteur monotube sous vide [6]. 6
 Figure 4: Schéma d'un récepteur en V [4]..... 8
 Figure 5: Concentrateur à récepteur en V[8]..... 8
 Figure 6: Récepteur trapézoïdal [9]..... 9
 Figure 7: Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire [10]..... 9
 Figure 8: Récepteur monotube sous vide [11]. 10
 Figure 9: Concentrateur à récepteur mono-tube sans réflecteur secondaire [8] 10
 Figure 10:Concentrateur à récepteur plat horizontal [8] 11
 Figure 11: Concentrateur à récepteur vertical [8] 11
 Figure 12: Pertes par blocage sur le réflecteur 15
 Figure 13: Les différentes pertes et le rendement du processus [2] 18
 Figure 14:Mode de transfert thermique dans un tube simple [14] 19
 Figure 15: Propriété d'un matériau soumis aux rayons solaires 23
 Figure 16: Ossature du récepteur 2D..... 25
 Figure 17: Ossature du récepteur 3D..... 26
 Figure 18: Modélisation du support du récepteur 26
 Figure 19: Sollicitations soumises au support..... 28
 Figure 20: Le moment fléchissant..... 28
 Figure 21: Sollicitation soumises au support 29

Figure 22: Fonctionnement du système de suivi	30
Figure 23: Fixation du chariot sur la tige filetée	30
Figure 24: Branchement carte de puissance et carte de commande	32
Figure 25: Fonctionnement en boucle ouverte	32
Figure 26: Point de mesure des températures.....	34
Figure 27: Dispositif expérimentale	35

RESUME

Les énergies fossiles représentent la principale source d'énergie aujourd'hui. Cependant celles-ci sont polluantes et vont s'épuiser dans le temps. C'est pourquoi l'Homme se tourne vers les énergies renouvelables, parmi les énergies renouvelables nous avons le solaire thermodynamique et le solaire photovoltaïque. L'une des technologies la plus utilisée est le photovoltaïque. Le solaire thermodynamique reste peu utilisé dans le monde et particulièrement en Afrique subsaharienne. La technologie de type linéaire Fresnel est constitué d'un réflecteur, d'un récepteur et d'une boucle de production d'électricité. Le Laboratoire Solaire et Economie d'Energie ne dispose que du réflecteur. Dans cette étude, il nous a été demandé de concevoir et de dimensionner le récepteur linéaire pour le concentrateur de type linéaire de Fresnel qui est l'élément fondamental dans la boucle de transfert d'énergie thermique. Les outils de conceptions comme : Autocad, Google sketch up pro et PyBar nous ont permis de modéliser, de déterminer les plans du récepteur et de déterminer le profilé IPE 80 pour le support du récepteur. Il existe plusieurs types de récepteur linéaire. Au cours de ce travail, nous avons dimensionné le récepteur trapézoïdal multitubulaire constitué de 7 tubes de diamètre extérieur 16 mm, de 190 mm de largeur et de 3300 mm de longueur. Cette étude nous a permis de valoriser les matériaux localement disponible pour la construction du récepteur afin d'optimiser les facteurs technico-économiques de la centrale. Enfin un protocole expérimental est établi pour la caractérisation du récepteur.

Mots Clés :

-
- 1. Récepteur linéaire,**
 - 2. Tube absorbeur,**
 - 3. Surface absorbante,**
 - 4. Ratio demi-largeur sur hauteur**
 - 5. Peinture sélective.**

ABSTRACT

Fossil energies represent the principal source of energy nowadays; however those are polluting and will become exhausted in time. This is why the Man turns to renewable energies. Among the renewable sources of energies the most exploited is solar energy. One of the most used technologies is the photovoltaic one. Solar thermodynamics remains little used in the world and particularly in sub-Saharan Africa. Technology of the linear type Fresnel consists of reflectors, of a receiver and a loop of production of electricity the Solar Laboratory and Energy Saving do not have that reflectors In this of study it was asked to us to conceive and to dimension the linear receiver of Fresnel who is the fundamental element in the loop of the transfer of thermal energy equip. design tools like: AutoCAD, Google sketch up pro and PyBar enabled us to model, to determine the plans of the receiver and to determine section IPE80 for the support of the receiver .It exists several type of linear receiver .During this work the dimensioned receiver is a multitubular trapezoidal receiver with external diameter of 16 mm of 190 mm width and 3300 mm length. This study enabled us to develop local materials for the construction of the receiver in order to optimize the technico-economic factors of the power station and finally an experimental protocol is drawn up for the characterization of the receiver.

Key words:

-
- 1. Linear Receiver,**
 - 2. absorbent Tube,**
 - 3. absorbing surface,**
 - 4. Ratio half-width on height;**
 - 5. selective Painting**

I. INTRODUCTION

I.1 CONTEXTE

Les produits pétroliers constituent de nos jours les sources d'énergie les plus utilisées dans le monde ; ils fournissent plus de 80 % des besoins énergétiques. La croissance exponentielle des besoins énergétiques mondiaux en général et celle des pays africains en particulier entraîne une diminution considérable des réserves de ressources fossiles voir l'épuisement à l'échelle du temps. L'utilisation des sources d'énergie fossiles engendre de nombreux polluants tels que les gaz à effet de serre, qui constituent une catastrophe majeure pour l'environnement en détruisant la couche d'ozone.

Le taux d'accès à l'électricité dans les pays d'Afrique sub-saharienne est très faible. Les taux d'électrification rurale des pays comme le Burkina Faso, le Mali et le Niger est en moyenne de 16 % [1].

Cette insuffisance constitue un problème majeur pour l'épanouissement économique du continent. L'important gisement solaire de ces régions peut permettre de répondre à leur demande énergétique. Les voies d'exploitation de l'énergie solaire sont variées. Nous pouvons citer entre autres : le solaire photovoltaïque et le solaire thermodynamique (solaire à concentration). Dans cette étude, Nous nous intéresserons au solaire thermodynamique.

Il existe plusieurs technologies permettant de concentrer le rayonnement solaire pour la production d'électricité: les centrales cylindro-paraboliques, les dish, les centrales à tour et les centrales de type Fresnel et le CPV (photovoltaïque concentré). Le Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) a pour objectif la construction d'une centrale de type Fresnel de puissance 5,5 kWc, avec une architecture modulaire. Cette démarche a pour objectif global de répondre aux besoins en énergie électrique des zones rurales isolées. En effet, une centrale CSP de petite puissance nécessite un investissement moindre tout en fournissant assez de puissance pour les régions rurales.

I.2 PROBLEMATIQUE

Les centrales à concentration ont généralement une partie « réflecteur » et une partie « récepteur ». Dans cette étude, il ressort que Le laboratoire dispose déjà d'un module de concentrateur (partie réflecteur uniquement). Nous serons amenés donc à concevoir et à dimensionner le récepteur qui est un des éléments fondamentaux dans la chaîne de transfert d'énergie thermique. Et le construire avec des matériels et mains d'œuvres locaux. Et enfin établir un protocole pour la caractérisation du récepteur.

I.3 LES OBJECTIFS ET ATTENTES

La thématique de ce stage se rapporte à plusieurs objectifs spécifiques et attentes qui sont détaillés suivant leur chronologie:

Une synthèse bibliographique sur les différents récepteurs linéaires permettra de prendre connaissance sur les différentes technologies des récepteurs linéaires existantes et de prendre en compte les facteurs clés sur la conception et le dimensionnement.

Le dimensionnement sera fait après la conception du récepteur. L'étape de dimensionnement consistera à déterminer les dimensions optimales des éléments du récepteur, en fonction de la configuration du module déjà disponible. Il s'agit de:

- ⊕ Dimensionner la partie absorbante : la surface absorbante, le nombre et diamètres des tubes absorbeurs.
- ⊕ Dimensionner le réflecteur secondaire.

La construction du récepteur linéaire avec les matériaux locaux disponibles.

Enfin nous allons élaborer un protocole expérimental pour la caractérisation du récepteur.

I.4 STRUCTURE D'ACCUEIL

Le Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) est un laboratoire de recherche et de développement en Afrique de l'Ouest. Les axes de recherche sont :

- Axe1 : Conversion de l'énergie solaire sous environnement chaud et rude.
Trois sous-axes sont développés :
 - ✓ système solaire photovoltaïque en milieu hostile,
 - ✓ centrale solaire à concentration pour mini réseau,
 - ✓ habitat solaire.
- Axe2 : gestion optimale d'énergie durable : production, transport, distribution. Cet axe se décompose en deux sous axes :
 - ✓ hybridation des systèmes énergétiques,
 - ✓ l'interaction source-réseau intelligent-utilisateurs.

Le laboratoire est dirigé par le Dr. Daniel YAMEGEU et constitué d'une équipe de 5 enseignants-chercheurs, de 7 ingénieurs de recherche et de 6 doctorants. Le laboratoire accueille également des stagiaires issues des différents niveaux académiques.

II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1 LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DES CENTRALES A CONCENTRATION

Les centrales à concentration sont constituées généralement de trois parties :

- ✓ Le concentrateur ;
- ✓ Le récepteur ;
- ✓ La boucle de production d'électricité.

Elles fonctionnent toutes suivant le même principe [2] : le concentrateur permet de réfléchir les rayons incidents du soleil vers le récepteur. Le rapport de la surface de captation (le concentrateur), et la surface réceptrice (le récepteur) définit le facteur de concentration. Le récepteur joue le rôle d'un échangeur thermique, il convertit le flux solaire réfléchi par les miroirs en chaleur qui sera par la suite utilisée pour produire l'énergie électrique ou pour de la cogénération. Il existe 4 technologies de centrales solaire à concentration pour la production d'électricité [3]

- ✓ Centrale à tour,
- ✓ Centrale cylindro-parabolique,
- ✓ Centrale parabolique ou Dish,
- ✓ Centrale linéaire Fresnel.

Les centrales à concentration peuvent être classées par rapport à la nature et à la mobilité du récepteur comme l'illustre la Figure 1.

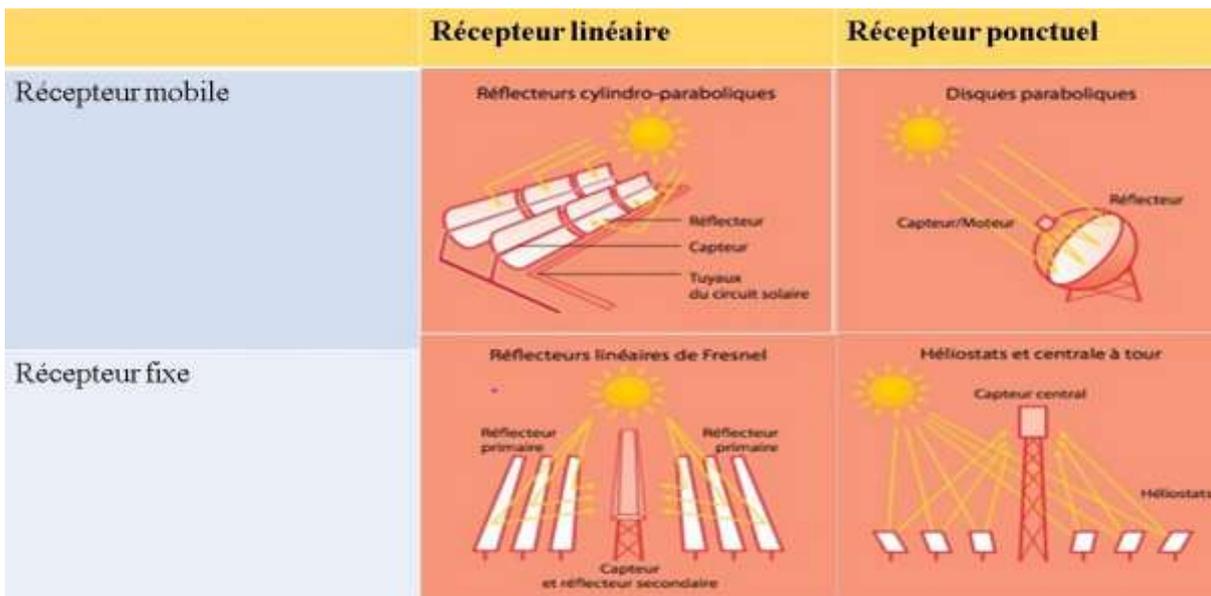


Figure 1: Configuration des différentes technologies des CSP

II.1.1 Centrale à tour

Cette centrale utilise des héliostats qui sont constitués de miroirs plans. Les héliostats concentrent les rayons solaires vers un récepteur ponctuel situé au sommet d'une tour. Le suivi par les héliostats se fait suivant deux axes : l'axe EST-OUEST et l'axe NORD-SUD. Les fluides caloporteurs couramment utilisés sont : l'eau, et le sel fondu. Le facteur de concentration varie de 300 à 1000, ce qui entraîne une variation de la température de 550°C à 1000° C [2].

II.1.2 Centrale cylindro-parabolique

La centrale cylindro-parabolique est composée d'un concentrateur de forme cylindro-parabolique et d'un récepteur linéaire. Le suivi se fait en fonction de l'orientation du concentrateur suivant l'axe EST-OUEST ou l'axe NORD-SUD. La température au sein du récepteur peut atteindre 390 °C à 550 °C avec un facteur de concentration variant de 70 à 80. Le fluide de travail le plus utilisé dans cette centrale est de l'huile thermique [2].

II.1.3 Centrale parabolique ou Dish

Les centrales paraboliques sont constituées des miroirs en forme de parabole qui traquent le soleil sur deux axes afin de concentrer les rayons solaires sur le récepteur ponctuel situé au centre de la parabole. Le facteur de concentration peut atteindre 2000 avec une température au cœur du récepteur variant de 800 °C à 900 °C [2]. Une étude récente a montré qu'avec 10 m² de diamètre de miroir on peut produire 25 kW électrique sous 1000 W·m⁻². Le fluide de travail est de l'air [4].

II.1.4 Centrale de Fresnel

La technologie de type Fresnel utilise les miroirs plans qui sont disposés de façon à reproduire la forme cylindro-parabolique (voir Figure 2). Les miroirs plans sont équipés d'un système de motorisation qui permet de suivre le soleil sur un seul axe EST-OUEST afin de concentrer les rayons vers un récepteur linéaire situé sur la focale. La température de fonctionnement varie de 270 °C à 550 °C, avec un facteur de concentration allant de 25 à 100. Dans cette centrale, le fluide de travail est soit de l'huile, soit de l'eau [2].

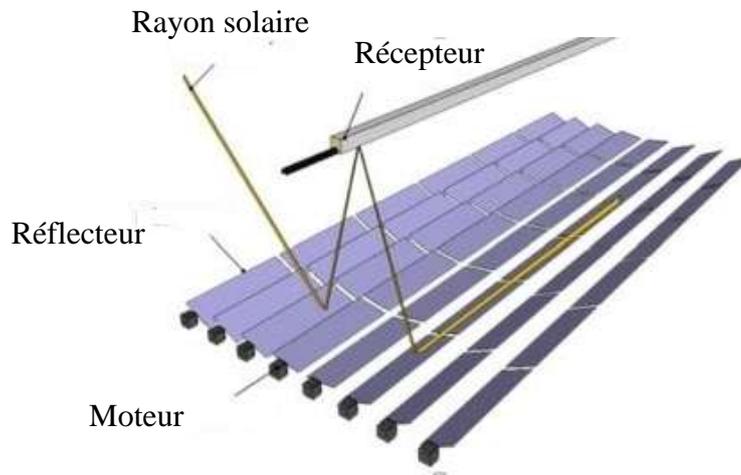


Figure 2: Représentation schématique d'un concentrateur de type Fresnel [5]

II.2 LES RECEPTEURS LINEAIRES

II.2.1 Généralités sur les récepteurs linéaires

Nous allons axer notre étude sur les récepteurs linéaires de type FRESNEL. Un récepteur linéaire est composé d'une partie absorbante, c'est le cœur des échanges thermiques du récepteur et de différents dispositifs destinés à limiter les pertes thermiques comme l'illustre la Figure 3 ci-dessous [6].

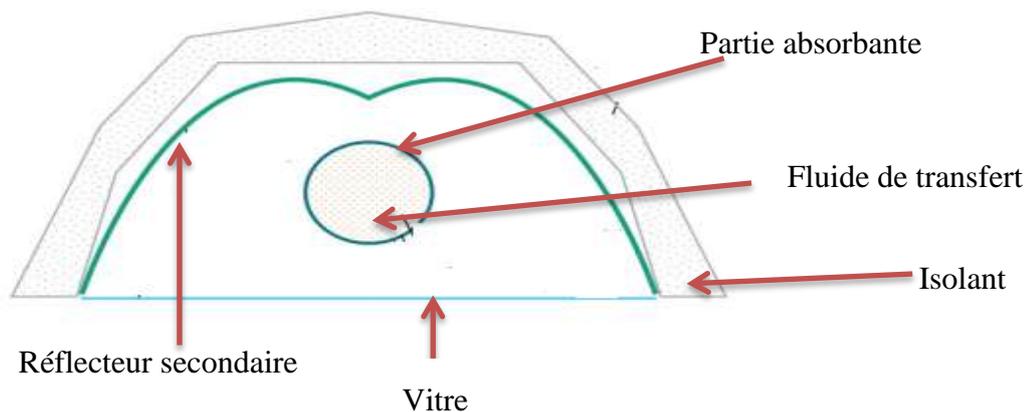


Figure 3: Récepteur monotube sous vide [7]

⊕ **La surface absorbante**

La surface absorbante est l'élément fondamental du récepteur qui est soumis à une température élevée. Le fluide de travail circule à travers cette surface pour absorber la puissance thermique [2]. Le matériau constitutif doit avoir un coefficient d'absorption élevé et d'émission faible afin de limiter les pertes par rayonnement. On utilise donc la peinture sélective pour améliorer ses propriétés optiques [8].

⊕ **Le réflecteur secondaire**

Le réflecteur secondaire est placé au-dessus de la partie absorbante afin de réduire les pertes optiques. Il réfléchit sur l'absorbeur les rayons ayant raté l'absorbeur. Le réflecteur secondaire augmente le facteur de concentration [2]. Et permet aussi de mieux répartir la puissance incidente de manière homogène sur les tubes. Il s'agit d'un organe facultatif [2].

⊕ **La plaque de verre**

La plaque de verre est utilisée pour limiter les pertes radiatives. Elle est définie par son épaisseur et sa forme plane pour fermer la cavité du récepteur secondaire. Elle laisse passer le rayonnement solaire mais bloque les rayonnements infrarouges et réduit les pertes thermiques. Pour accroître les échanges thermiques à ce niveau il convient juste à dépolir la vitre [2].

Il existe plusieurs types de récepteurs linéaires ; nous en dresserons une liste non exhaustive dans la partie suivante.

II.2.2 Le récepteur en V

Dans ce récepteur les tubes absorbeurs sont disposés suivant la configuration en forme de V d'où la nomenclature du récepteur en V (voir Figure 4). Le récepteur en cavité V est constitué de 10 tubes de 10 mm de diamètre intérieur, 12 mm de diamètre extérieur et de longueur 6,2 m, l'ensemble est monté à 1,5 m de hauteur au-dessus des miroirs. Afin de minimiser les pertes par convection et par rayonnement, la surface extérieure des tubes a été enduite par un revêtement en peinture de couleur noire avec un coefficient d'absorptivité de 0,9 et une réflectance de 0,1, recouvert en avant par une vitre de 2 mm d'épaisseur dont la réflectance est de 0,07 ; sa transmittance est de 0,92. Les propriétés optiques du réflecteur principal dont la valeur est de 0,03 pour l'absorptance et de 0,97 pour la réflectance [5]. Les simulations numériques et des expériences pratiques ont été réalisées. Ce récepteur offre des meilleures options pour des températures moyennes de 90 °C à 150 °C [5].

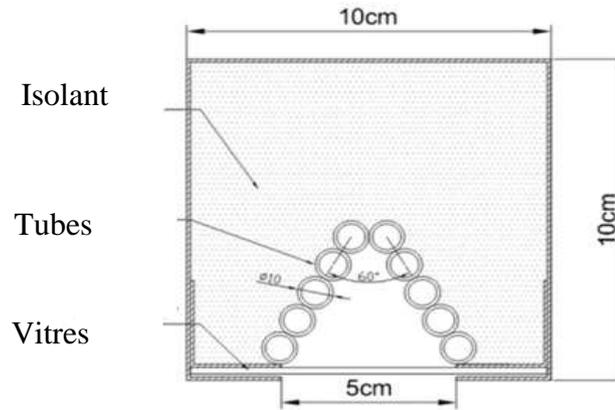


Figure 4: Schéma d'un récepteur en V [5]

Il existe d'autres configurations du récepteur en V. Dans cette technologie les tubes sont aussi disposés en formant un V. Le récepteur est situé sur l'axe focal des réflecteurs [7] comme l'illustré par la Figure 5.

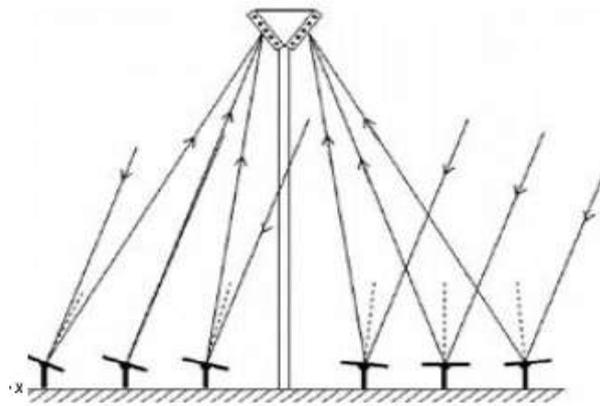


Figure 5: Concentrateur à récepteur en V [7]

II.2.3 Le récepteur trapézoïdal

Un récepteur trapézoïdal est défini par la géométrie de son réflecteur secondaire qui a une forme trapézoïdale comme le montre la Figure 6.

Le récepteur trapézoïdal étudié par S. Flores Larsen et al. est un banc expérimental constitué de :

- 5 tubes de $D_i=25$ mm et $D_e=33$ mm recouvert d'une peinture noir d'émissivité 0,88.

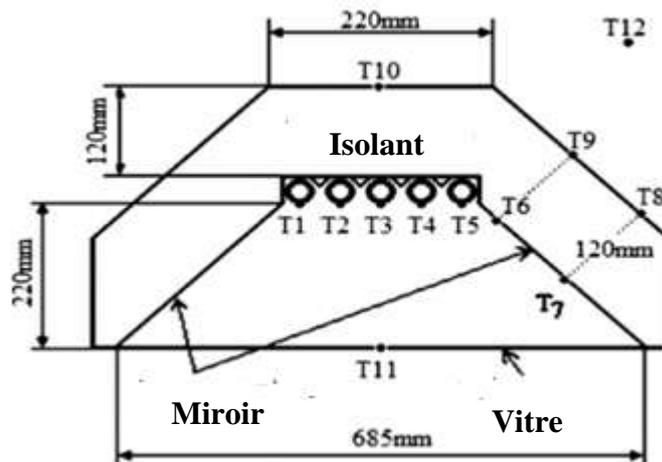


Figure 6: Récepteur trapézoïdal [9]

Il existe aussi les récepteurs trapézoïdaux avec surface absorbante rectangulaire comme l'illustre la Figure 7.

Surface absorbante

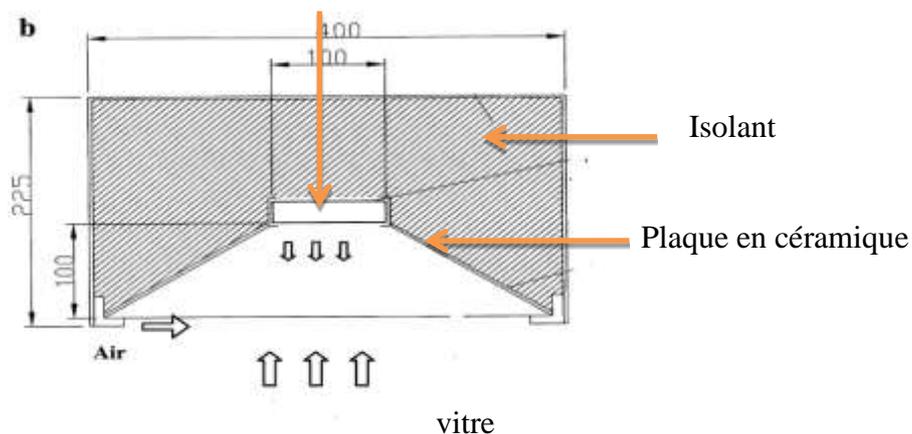


Figure 7: Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire [10]

II.2.4 Récepteur monotube sous vide

Le récepteur est composé d'un tube absorbeur, d'une plaque en verre, d'un réflecteur secondaire. Les récepteurs mono-tubes sous vide sont utilisés principalement dans les centrales cylindro-paraboliques. Ils sont parfois utilisés dans les petites centrales de type de Fresnel. Le réflecteur secondaire a pour caractéristique d'accepter tous les rayons réfléchis par le concentrateur [11].

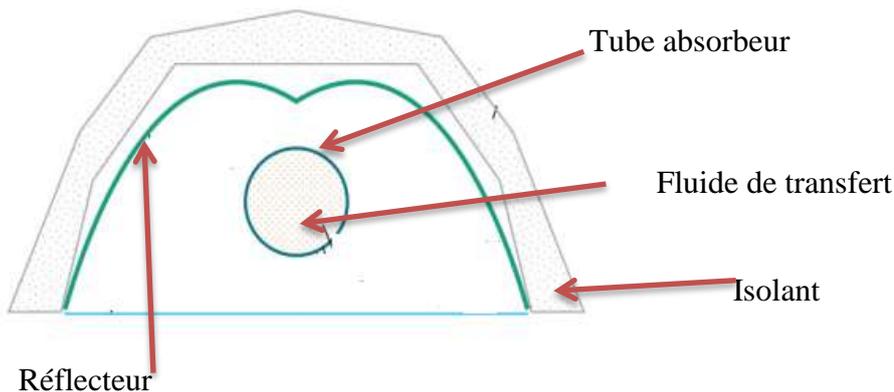


Figure 8: Récepteur monotube sous vide [11]

Il existe d'autres récepteurs sous vide sans réflecteur secondaire comme le montre la Figure 9. Le récepteur a une forme cylindrique ; il capte le flux lumineux issu des réflecteurs pour les convertir en énergie thermique [12].

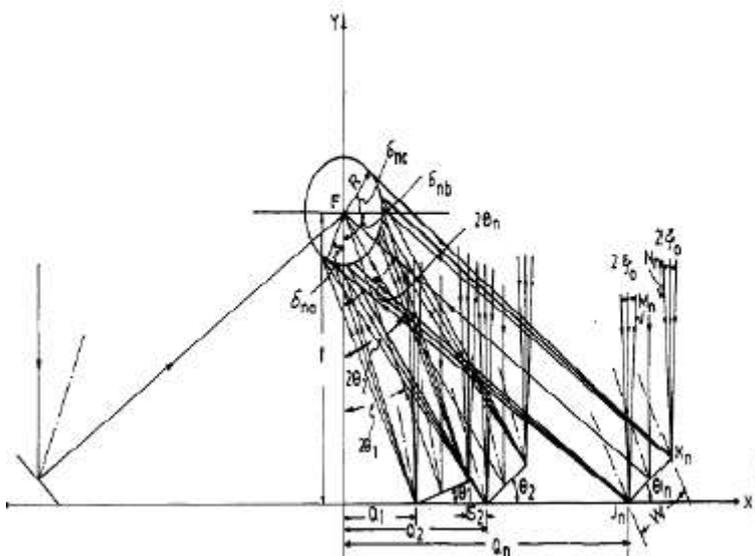


Figure 9: Concentrateur à récepteur mono-tube sans réflecteur secondaire [12]

II.2.5 Concentrateur à récepteur horizontal

Dans cette technologie le récepteur est disposé horizontalement. Cette disposition permet de collecter le maximum illustré par le flux lumineux en provenance des miroirs [12] (voir Figure 10).

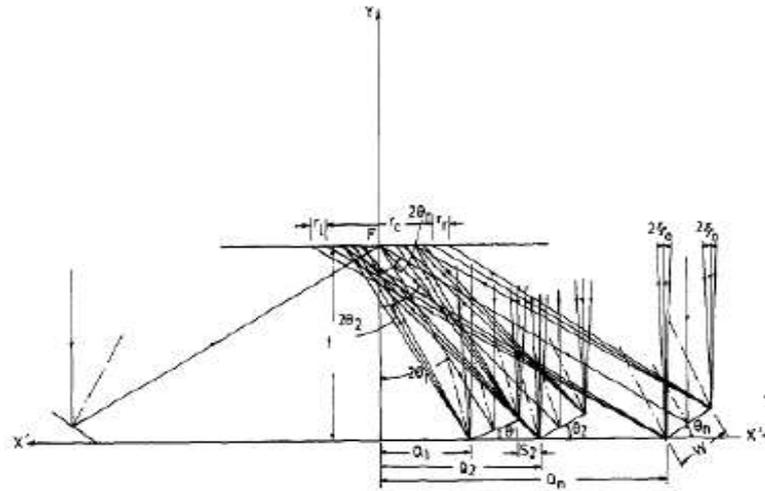


Figure 10: Concentrateur à récepteur plat horizontal [12]

II.2.6 Concentrateur à récepteur vertical

Le récepteur est disposé verticalement et reçoit le flux lumineux des réflecteurs. Les miroirs sont disposés à réfléchir le maximum de flux vers le récepteur [12] (voir Figure 11).

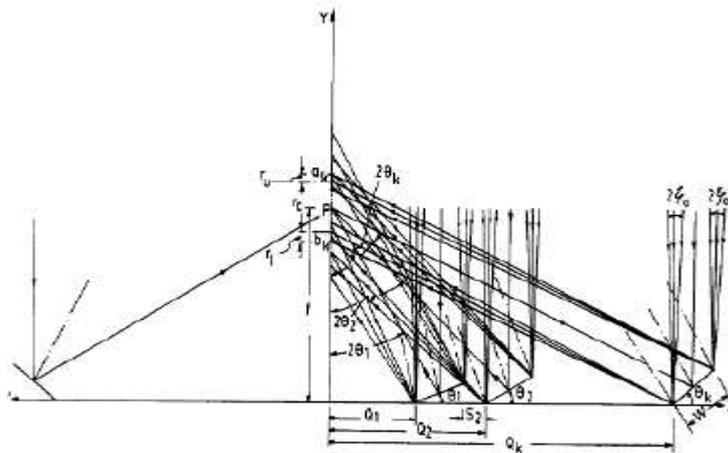


Figure 11: Concentrateur à récepteur vertical [12]

II.3 LES REVETEMENTS SELECTIFS

Un revêtement sélectif est un revêtement spécial de la surface absorbante, qui permet d'absorber entièrement le rayonnement solaire incident (ondes courtes) auquel il est exposé. Le revêtement permet de réduire les pertes par rayonnement qui augmentent avec la température, et qui sont causées par la réflexion (émission) du rayonnement thermique (ondes longues). Le revêtement sélectif serait donc plus intéressant pour les récepteurs à basse température (50 °C à 150 °C) et à moyenne température (250 °C à 400°C) [8] afin d'accroître les échanges thermiques de la surface absorbante. Pour minimiser les pertes par rayonnement il faut :

- ⊕ La diminution de l'émissivité de cette surface en réalisant un revêtement sélectif ;
- ⊕ La disposition d'une ou de plusieurs vitres au-dessus de la surface.

Afin de minimiser les pertes par convection et par rayonnement, la surface extérieure des tubes a été enduite par un revêtement en peinture de couleur noire avec une absorptance de 0,9 et une réflectance de 0,3 [8].

II.3.1 Les peintures sélectives

Elles sont composées de pigments de semi-conducteurs très fins et d'un liant siliconé, de tenue en température de 300 °C, l'émissivité est très élevée (0,9 à 0,7) ce qui en limite l'usage. Un moyen simple de réduire l'émissivité est de réduire l'épaisseur et la quantité de liant utilisée. Une peinture a l'avantage d'être facilement applicable et réparable contrairement aux autres revêtements. Les recherches récentes donnent les propriétés de la peinture sélective comme suit : $\alpha_s = 0,9$ et $e = 0,3$ [8].

Le revêtement en peinture noire des tubes permet d'accroître les échanges thermiques. Il en résulte que l'émissivité à 290 °C est de 0,88 et l'émissivité à 400 °C est de 0,27 [9].

II.3.2 Méthode de préparation de la surface sélective

La méthode additive permet de déposer un film sur une surface polie. Cette catégorie englobe le traitement d'un grand nombre de métaux et autres supports par peinture, par électrolyse, par procédé chimique et par évaporation sous vide ou gazeux [8].

III. CONCEPTION DU RECEPTEUR LINEAIRE DE FRESNEL

Pour optimiser le récepteur, plusieurs paramètres sont à prendre en compte au cours de sa conception. Nous allons dans un premier temps détailler l'ensemble des paramètres d'optimisation à prendre en compte puis nous proposerons un modèle thermique expliquant les échanges dans le récepteur.

III.1 PARAMETRES D'OPTIMISATION DE LA GEOMETRIE DU RECEPTEUR

L'optimisation géométrique du récepteur est primordiale. Cependant, lors de la conception, il faut également tenir compte de paramètres technico-économiques pour le choix des différents éléments. Pour mener à bien la conception les grandeurs à prendre en compte sont :

- ⊕ La hauteur du récepteur,
- ⊕ La longueur du récepteur,
- ⊕ La largeur du récepteur,

Ces grandeurs sont incontournables et affecte directement le rendement global du système ; nous allons les détailler tour à tour.

III.1.1 La hauteur du récepteur

La hauteur optimale du récepteur est corrélée à la largeur du réflecteur. Le prototype du réflecteur disponible au LESEE est constitué de 7,5 m² de miroirs avec une largeur totale de 4 m, c'est cette largeur qui sera prise en compte pour la conception du récepteur.

III.1.2 La longueur du récepteur

Au cours de l'exploitation, la longueur du récepteur joue un rôle important. En effet, tout le flux solaire doit être absorbé par le récepteur. Cependant, les travaux antérieur effectués au sein du laboratoire LESEE sur le même prototype ont montré qu'il y'a un décalage de l'image réfléchi en fonction des saisons. En effet, au cours de l'année et en fonction des saisons l'image réfléchi au niveau de la ligne focale est décalée d'au moins de 500 mm vers le Nord et de 1500 mm vers le Sud. Afin de mener les tests de caractérisation, nous avons décidé de rendre le récepteur mobile ; en effet, le rallonger entraînerait d'énormes pertes thermiques. Une distance supplémentaire a été ajoutée sur le support afin de faire coulisser le récepteur et intercepter au mieux les rayons réfléchis.

Un ratio permet de relier le réflecteur au récepteur il s'agit du ratio demi-largeur du réflecteur sur hauteur du récepteur. Lors d'une conception optimale, le ratio doit être compris entre 0,9 et 1,2. En effet, il y a étalement de l'image si le ratio est supérieur à 1,2 ; et un gaspillage de l'espace si le ratio est inférieur à 0,9.

III.1.3 La largeur du récepteur

Le choix de largeur optimale du récepteur permet de minimiser les phénomènes d'ombrage sur le champ du miroir. L'ombrage dépend de l'heure de la journée et de la date dans l'année ; ce qui rend difficile sa prise en compte. L'efficacité du récepteur est faible au début et à la fin de la journée [2]. Le champ que nous disposons a une largeur de 4 m, la largeur du récepteur doit être la plus petite possible afin de limiter les pertes thermiques.

Il existe plusieurs types de récepteurs linéaires de type Fresnel dont la conception requiert la considération de plusieurs paramètres précités. Il est important de faire une étude d'analyse de la répartition de flux de manière homogène sur l'ensemble du récepteur. Les points les plus chauds doivent être réduits afin de minimiser le risque de destruction de matériaux sélectifs.

Le récepteur retenu est de type trapézoïdal et sera testé à différents niveaux afin d'évaluer son efficacité [2].

Il y'a d'autres éléments qui peuvent réduire le rendement du système mais ceux-ci se rapportent surtout au réflecteurs.

⊕ Pertes du à l'ombre des miroirs

Lorsque récepteur est au-delà de 2 m de hauteur, 60 % des rayons réfléchis sont interceptés par le récepteur et en dessous de 2 m, la puissance diminue considérablement. Cette diminution à pour cause l'effet d'ombre créé par les miroirs dû à leur grande inclinaison et empêchant les autres miroirs de réfléchir vers le récepteur. Un autre facteur est que plus le récepteur est bas, plus il crée de l'ombre sur les miroirs. La perte issue de ce phénomène peut atteindre 1,6 % lorsque le récepteur est à 1 m de hauteur. Le ratio demi-largeur sur la hauteur doit être compris entre 0,9 et 1,2.

⊕ Pertes par blocage

Lorsque l'espace entre les miroirs est trop petit, certains miroirs bloquent les rayonnements réfléchis par les miroirs voisins (voir Figure 12). Pour résoudre ce problème il suffit juste de mettre le récepteur plus en hauteur. La perte à 1 m est de 5,8 %.

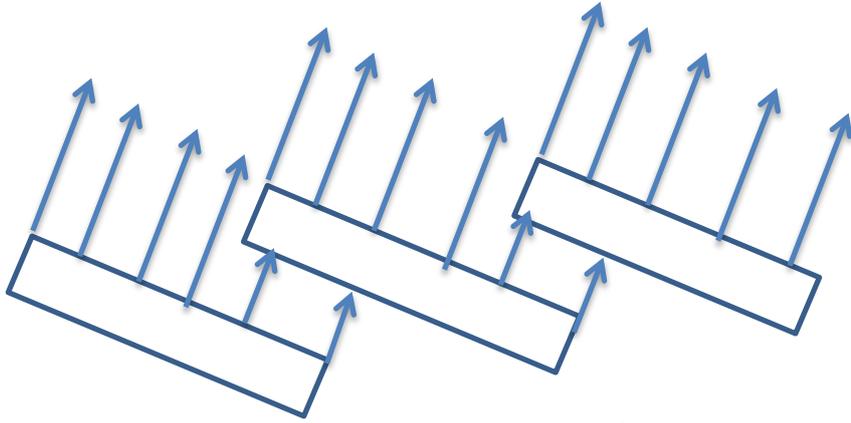


Figure 12: Pertes par blocage sur le réflecteur

⊕ **Pertes par débordement de rayon réfléchis**

On parle de pertes par débordement lorsque les rayons réfléchis manquent la cible. Il y a deux cas qui se présentent :

- ✓ Lorsque le rayon réfléchi vers le récepteur manque le réflecteur secondaire, ce type de débordement diminue avec la hauteur.
- ✓ Lorsque le rayon réfléchi par les miroirs secondaires rate le tube absorbeur. Cette perte est de 13 % à 1 m.

En bref, il est recommandé de bien respecter la condition sur la hauteur. Plus le récepteur est haut, plus on crée de pertes de même que lorsqu'il est plus bas. Le meilleur c'est de rester dans la fourchette du ratio. Dans notre cas au LESEE pour des mesures expérimentales et en fonction de prototype disponible, nous comptons varier la hauteur de 2 m à 3,5 m par pas de 0,5 m pour bien apprécier la hauteur optimale à laquelle la production d'énergie thermique sera maximale.

III.2 MODELE THERMIQUE DU RECEPTEUR

III.2.1 Les températures

La température de fonctionnement pour la concentration linéaire est de 500 °C avec une pression de 100 bars dans les conduites [2]. Le fluide de travail est l'huile de *Jatropha curcas* dont les tests de compatibilités sont en cours pour certifier son usage dans ce récepteur. Un pré-test avec de l'eau ou de l'air sera possible mais les résultats attendus ne seront pas identiques. Dans le cadre de cette étude, la température du fluide sera de 250 °C, il faut aussi bien contrôler la température de la vitre et du réflecteur afin de ne pas dépasser les limites de tenue en température. Les températures attendues pour le test se résument dans le Tableau 1.

Tableau 1: Estimation de la température autour du récepteur

	Température en °C		
	Mini	moyenne	Max
Fluide caloporteur	250	275	300
Surface absorbeur	250	275	300
Surface vitre	200	225	250
Surface réflecteur secondaire	200	225	250
Air ambiant	35	40	45

III.2.2 Température sur la longueur du récepteur

L'évolution du gradient thermique est continue et faible sur toute la longueur du récepteur ; la détermination de ce gradient est reliée au flux, au rendement du récepteur et au débit massique du fluide [2]. Il s'exprime comme suit :

$$\Delta T_{\text{fluide}} = \frac{\Phi_{\text{th}}}{\dot{m} * C_{p\text{fluide}}} \quad (1)$$

$$\Phi_{\text{th}} = S_m * \text{DNI} * \eta_{\text{concentrateur}} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_m: \text{ la surface totale des miroirs} \\ \dot{m}: \text{ Les debit masique du fluide caloporteur} \\ \Delta T_{\text{fluide}}: \text{ La variation de la temperature du fluide caloporteur} \\ \Phi_{\text{th}}: \text{ flux thermique reçu par le récepteur} \\ \eta_{\text{concentrateur}}: \text{ rendement du concentrateur (0,6)} \end{array} \right.$$

Pour une étude approfondie, il est important d'étudier l'évolution en sectionnant le récepteur en plusieurs parties [2].

III.2.3 Température autour des tubes

La température autour des tubes doit être homogène afin d'optimiser le rendement du récepteur. Ainsi, pour homogénéiser cette température, plusieurs facteurs interviennent :

- ⊕ la présence du réflecteur secondaire est importante du fait qu'il repartit uniformément le flux radiatif solaire incident autour des tubes.
- ⊕ la forte convection à l'intérieur du tube uniformise la température du fluide et contribue à réduire le gradient thermique à la paroi des tubes.

III.2.4 La température des surfaces et du fluide

La configuration géométrique du récepteur nous conduit à distinguer trois zones d'influence de la température :

- ⊕ le réflecteur secondaire isolé par-dessus avec un isolant en laine de verre. Il s'échauffera avec ces propriétés très réfléchissantes.
- ⊕ la vitre en contact direct avec le milieu ambiant sera probablement très froide et sa température du côté interne va augmenter.
- ⊕ le tube absorbeur reçoit donc tout le rayonnement solaire, il sera donc le plus chaud du système.

III.2.5 Température à l'intérieur du tube absorbeur

La température interne du tube est uniforme. Le gradient entre la température interne du tube et externe est supposé faible du fait du bon coefficient d'échange du tube. Cet écart est lié directement à la puissance thermique transférée au fluide. Il y a aussi la température maximale par convection de l'air dans la cavité du récepteur appelée température de cœur. Le système

est composé des grandeurs thermiques inconnues qui sont :

- ⊕ les températures internes des tubes absorbeurs.
- ⊕ les températures des parois externes des tubes absorbeurs.
- ⊕ température de paroi interne du réflecteur secondaire.
- ⊕ température de la paroi externe du récepteur.

III.3 LE RENDEMENT ET LES PERTES DANS LES CENTRALES LINEAIRES DE FRESNEL

Les centrales solaires thermiques sont composées des réflecteurs, qui par leurs excellentes propriétés de réflexion, réfléchissent les rayons incidents du soleil vers le récepteur. Le récepteur ayant une forte absorption dans l'infrarouge va absorber les rayons réfléchis et les transformer en énergie thermique. Cette énergie thermique obtenue est soit directement utilisée dans un cycle thermodynamique pour produire de l'électricité, ou faire de la cogénération. Cette énergie est stockée dans un matériau bien spécifique pour usage ultérieur (voir la Figure 13). Au cours de ce procédé, on peut observer les pertes à plusieurs niveaux [13] :

- ⊕ Concentrateur ;
- ⊕ Récepteurs ;
- ⊕ Transport ;
- ⊕ Stockage.

Le rendement de ce système est donné par :

$$\eta_{\text{système}} = \eta_{\text{concentrateur}} * \eta_{\text{récepteur}} * \eta_{\text{transport}} * \eta_{\text{stockage}} * \eta_{\text{conversion}} \quad (3)$$

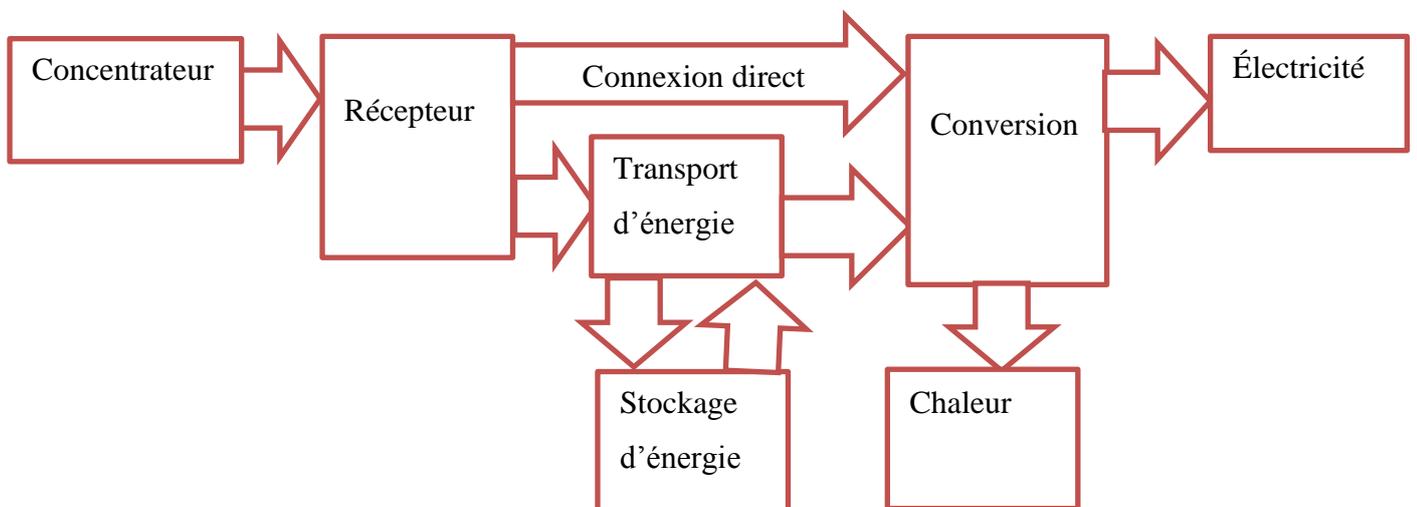


Figure 13: Les différentes pertes et le rendement du processus [3]

III.4 LES ECHANGES THERMIQUES DANS UN RECEPTEUR LINEAIRE

Les récepteurs solaires sont soumis à plusieurs échanges thermiques, ici nous expliquons les échanges thermiques qui ont lieu dans un absorbeur tubulaire (Voir Figure 14).

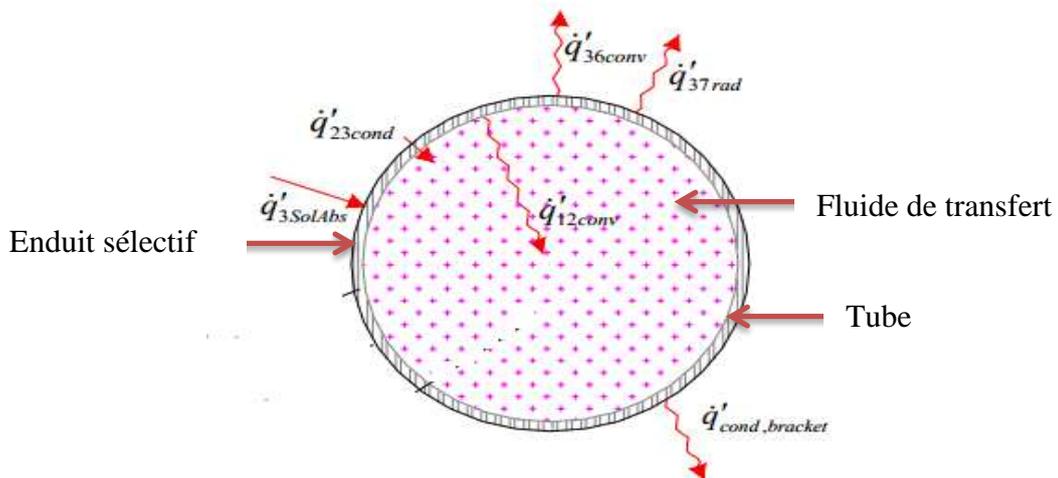


Figure 14: Mode de transfert thermique dans un tube simple [14]

L'équilibre thermique est déterminé par les équations de la conservation de l'énergie et se traduit par les équations suivantes [14] :

$$\dot{q}'_{12conv} = \dot{q}'_{23cond} \quad (4)$$

$$\dot{q}'_{3SolAbs} = \dot{q}'_{36conv} + \dot{q}'_{37rad} + \dot{q}'_{23cond} + \dot{q}'_{cond,bracket} \quad (5)$$

$$\dot{q}'_{HeatLoss} = \dot{q}'_{36conv} + \dot{q}'_{37rad} + \dot{q}'_{cond,bracket} \quad (6)$$

Les différents échanges se font de manière identique sur tous les 7 tubes. Ils sont explicités dans le Tableau 2.

Tableau 2: Les échanges thermiques dans un récepteur linéaire [14]

Flux de chaleur (W/m)	Mode de transfert de chaleur	Voie de transfert	
		De	À
\dot{q}'_{12conv}	Convection	Surface intérieure des tubes	Fluide de transfert
\dot{q}'_{23cond}	Conduction	Surface extérieure des tubes	Surface intérieure des tubes
$\dot{q}'_{3SolAbs}$	Irradiation solaire	Rayons incidents du soleil	Surface extérieure des tubes
\dot{q}'_{36conv}	Convection	Surface extérieure des tubes	L'air ambiant
\dot{q}'_{37rad}	rayonnement	Surface extérieure des tubes	Ciel
$\dot{q}'_{cond,bracket}$	Conduction	Surface extérieure des tubes	Crochets de support
$\dot{q}'_{HeatLoss}$	Convection et rayonnement	Tous les éléments des récepteurs	L'air ambiant et ciel

III.4.6 Les pertes thermiques sur le récepteur

Les récepteurs linéaires en régime de fonctionnement sont soumis à plusieurs pertes thermiques :

- ⊕ Perte par convection
- ⊕ Perte par conduction
- ⊕ Perte par rayonnement

⊕ Pertes par convection

La perte par convection dans le récepteur est due à la circulation d'un fluide dans la cavité. Pour minimiser cette perte, il est convenable de placer la vitre sur la face avant du récepteur. Cette convection naturelle est évaluée par la méthode empirique. Le coefficient d'échange par convection est déterminé par :

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h * A * (T_{\text{rec}} - T_{\text{amb}}) \quad (7)$$

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} h : \text{coefficient de convection} \\ A : \text{la surface d'échange du récepteur} \\ T_{\text{rec}} : \text{Température du récepteur} \\ T_{\text{amb}} : \text{Température ambiante} \end{array} \right.$$

⊕ Pertes par conduction

Cette perte thermique traverse les matériaux vers le milieu externe, le gradient migre du point le plus chaud vers le moins chaud. Elle est proportionnelle à la différence de la température et inversement proportionnelle à la résistance thermique qui dépend de la géométrie et de la conductivité. Elle s'exprime par :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k * A * \frac{(T_{\text{rec}} - T_{\text{env}})}{L} \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k : \text{coefficient de conduction} \\ A : \text{la surface d'échange du récepteur} \\ T_{\text{rec}} : \text{Température du récepteur} \\ T_{\text{env}} : \text{Température ambiante} \end{array} \right.$$

⊕ Pertes par rayonnement

La perte par rayonnement est la plus importante dans un récepteur linéaire. Cette perte est liée aux propriétés des matériaux (émissivité et absorptivité) à émettre dans l'infrarouge et se calcule par :

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma * A * \varepsilon * (T_{\text{rec}}^4 - T_{\text{env}}^4) \quad (9)$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} \sigma: \text{constante de stefan Boltzman} \\ \varepsilon: \text{emissivité} \end{array} \right.$

D'une manière explicite, lorsqu'un rayon incident d'énergie arrive sur un corps à une température T, une partie $\varphi_{\lambda}\rho_{\lambda T}$ de l'énergie incidente est réfléchiée par la surface S, une autre partie $\varphi_{\lambda}\alpha_{\lambda T}$ est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste $\varphi_{\lambda}\tau_{\lambda T}$ est transmis et continue son chemin comme l'illustre la

Figure 15. Les relations suivantes définissent le flux total et les différents coefficients :

$$\varphi_{\lambda}\rho_{\lambda T} + \varphi_{\lambda}\alpha_{\lambda T} + \varphi_{\lambda}\tau_{\lambda T} = \varphi_{\lambda} \quad (10)$$

$$\rho_{\lambda T} + \alpha_{\lambda T} + \tau_{\lambda T} = 1 \quad (11)$$

Ainsi, dans la conception des récepteurs solaires, le choix des matériaux est important. Dans notre cas d'étude, il a été convenu de choisir les matériaux dont l'émissivité est faible et l'absorption grande. Ce choix judicieux nous permettra d'optimiser l'absorption et d'augmenter de manière homogène la température (voir les propriétés des matériaux dans l'Annexe XXII)

Les constructeurs industriels utilisent la formule développée par Fraunhofer pour évaluer la perte dans les récepteurs linéaires de Fresnel, à l'exemple de SPG FRESDEMO. Cette équation s'exprime comme suit :

$$\dot{q} = 0.011635 * \Delta T^2 \quad (12)$$

Avec ΔT : la différence de température entre la sortie du fluide et ambiante en °K

NOVATEC et AREVA expriment la perte de puissance thermique comme suit :

$$P_{\text{perdue}} = \mu_0 * \Delta T + \mu_1 * \Delta T^2 \quad (13)$$

Avec μ_0 et μ_1 viscosité cinématique [13].

Il ressort dans le cadre de cette étude les paramètres cruciaux du récepteur. Ces paramètres sont entre autres :

- ⊕ la température du fluide à l'entrée du récepteur
- ⊕ la température du fluide à la sortie du récepteur

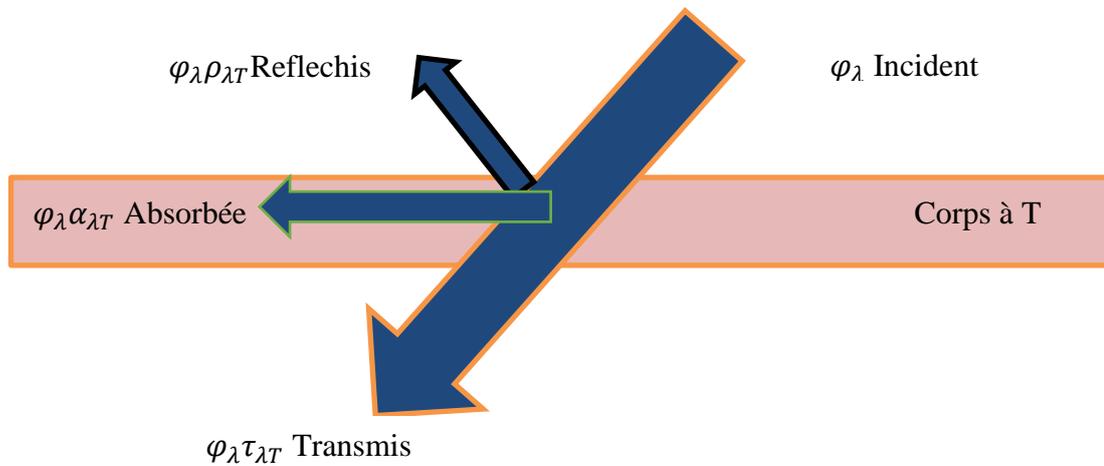


Figure 15: Propriété d'un matériau soumis aux rayons solaires

IV. DIMENSIONNEMENT DU RÉCEPTEUR

La détermination des dimensions du récepteur est cruciale pour la construction. Il permet de déterminer les différentes grandeurs du récepteur. Les hypothèses de base pour le dimensionnement sont :

- Largeur de la surface absorbante est fixée en fonction de la largeur des miroirs.
- La longueur de la surface absorbante est fixée : c'est la même longueur que les réflecteurs .
- Les échanges thermiques à prendre en compte sont : la conduction, la convection, et le rayonnement.

Pour optimiser le dimensionnement les principaux paramètres à déterminer sont détaillés dans la

Figure 16.

- ⊕ le diamètre intérieur des tubes d_i
- ⊕ l'espace entre les tubes et la surface absorbante G_1
- ⊕ l'espace entre les tubes Δ_x
- ⊕ la hauteur de récepteur H_1
- ⊕ largeur de la surface absorbante w_{te}
- ⊕ Le récepteur étant considéré comme un capteur plan vitré.

- ⊕ Matériaux partie absorbante en cuivre ou aluminium.
- ⊕ Vitre à haute transmission $\tau = 0,92$.
- ⊕ La valeur de $\cos\theta=0,93$ dans les conditions critiques.

IV.1 DETERMINATION DE COS θ

Cos θ est l'angle d'inclinaison des concentrateurs et le plan horizontal. Le réflecteur est composé de 5 concentrateurs. Cet angle est défini par :

$$\cos\theta = \arctg\left(\frac{h}{d}\right) \text{ avec: } \begin{cases} h: \text{ la hauteur du récepteur} \\ d: \text{ la distance entre les réflecteurs} \end{cases}$$

Le réflecteur central est défini par un $\cos\theta = 1 \Rightarrow \theta = 0^\circ$.

$$\text{Le réflecteur 1 (E) est défini par : } \begin{cases} h = 4 \text{ m} \\ d = 0,8 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \cos\theta = 0,98 \text{ alors } \theta = 11,17^\circ$$

$$\text{Le réflecteur 2 (E) est défini par : } \begin{cases} h = 4 \text{ m} \\ d = 1,6 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \cos\theta = 0,37 \text{ alors } \theta = 68,19^\circ$$

Le réflecteur 1 (O) et le réflecteur 2 (O) ont une valeur égale $\cos\theta = 0,93$ alors $\theta = 21,3^\circ$

La moyenne de $\cos\theta$ est 0,964. et dans le défavorable $\cos\theta = 0,93$.

IV.2 DETERMINATION DE NOMBRE DES TUBES

$$Q_a = \text{DNI} * S_m * \eta_{\text{opt}} * \eta_{\text{vitre}}$$

$$\begin{cases} \text{DNI} = 650 \text{ W. m}^{-2} \\ \eta_{\text{vitre}} = 0,6 \\ \eta_{\text{opt}} = 0,6 \\ S_m = 7,5 \text{ m}^2 \end{cases}$$

$$Q_a = 650 * 7,5 * 0,6 * 0,6 \Rightarrow Q_a = 1755 \text{ W.}$$

Au niveau du récepteur on a :

$$Q_a = \alpha * I * \cos\theta * s \text{ avec } s = \frac{Q_a}{(\alpha * I * \cos\theta)}$$

$$\text{Avec } I = \frac{\text{DNI} * S_m * \eta_{\text{vitre}}}{L * l} = \frac{650 * 7,5 * 0,6}{3,3 * 0,13} = 6818,18 \text{ Wm}^{-2}$$

$$s = \frac{1755}{(0,9 * 6818,18 * 0,93)} = 0,3075 \text{ m}^2$$

Les dimensions imposées $l = 0,13 \text{ m}$ et $\text{Long} = 3,3 \text{ m}$

$$l = \pi * r * n \Rightarrow n = \frac{l}{\pi * r} = \frac{0,13}{\pi * 0,08} = 5,17 \text{ Avec } h = 0,08 \text{ m. donc avec } l = 0,13 \text{ on a}$$

$n = 7,0625$. Le nombre total de tube est 7.

Tableau 3: Grandeur à déterminer dans le récepteur [15]

Désignation	Dimension
w_{be}	$15 * d_i$
H_1	$3 * d_i$
w_{te}	$(n + 1) * d_i$
G_2	$0,36 * d_i$
G_1	$1,44 * d_i$

Au vu des formules empiriques utilisées dans le Tableau 3, le récepteur dimensionné se présente dans la

Figure 16 et l'ossature métallique par la Figure 17.

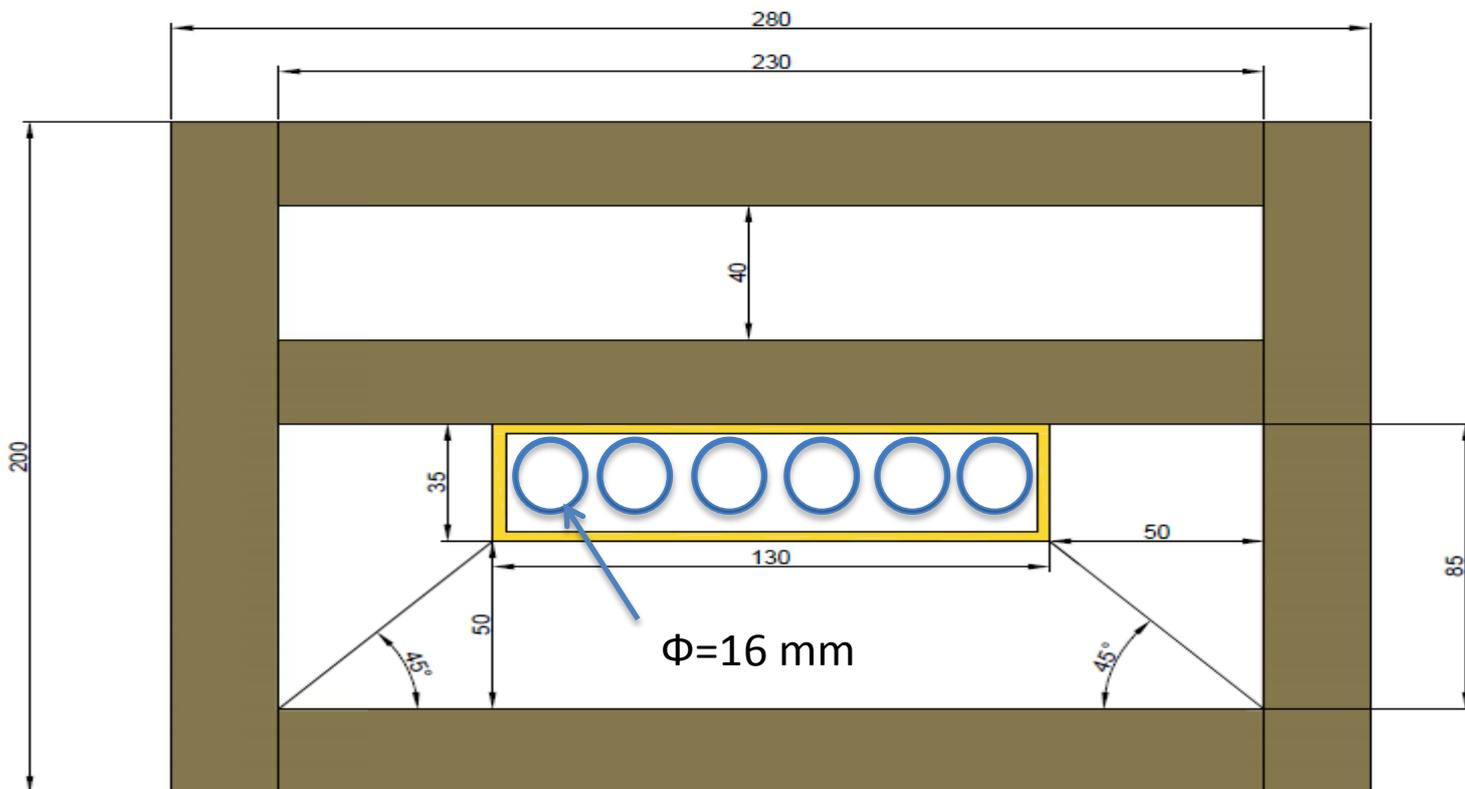


Figure 16: Ossature du récepteur 2D



Figure 17: Ossature du récepteur 3D

Les plans des différents composants se trouvent dans les Annexe X à Annexe XVI et les Annexe XVIII à Annexe XXI.

IV.3 STRUCTURE DE SUPPORT DU RECEPTEUR

Le récepteur étant dimensionné, les tests de caractérisation seront effectués à différentes hauteurs afin de confronter les différents ratios existant dans la littérature. De ce fait, nous avons dimensionné une structure métallique qui sera capable de supporter les sollicitations imposées par la charge. Pour y parvenir, nous avons évalué la charge du récepteur, déterminé les différentes sollicitations appliquées à la structure. La portée maximale est de 5 m. L'ossature métallique du support se présente comme l'illustre la Figure 18.

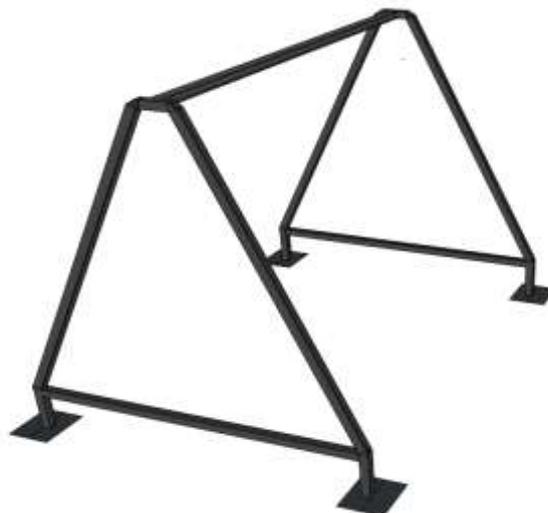


Figure 18: Modélisation du support du récepteur

IV.4 EVALUATION DE LA CHARGE

La détermination de la charge linéique qui est appliquée au support, nécessite une connaissance générale sur les matériaux constitutifs du récepteur voir Annexe XXII. Les matériaux ont été choisis en prenant en compte les propriétés thermo-physiques des matériaux et leur disponibilité locale. La charge totale que doit supporter la structure est d'environ 110 kg soit 1,1 kN avec un coefficient de sécurité de 10 % (voir Annexe XVII). La structure sera soumise à cette charge linéaire et doit résister aux aléas climatiques (la force qu'exerce le vent, les forts gradients thermiques) du site du projet.

IV.5 LES SOLLICITATIONS APPLIQUEES A LA STRUCTURE

Le pré-dimensionnement de la structure a été fait par le logiciel PyBar afin de déterminer les différentes sections des barres et de prévoir le comportement mécanique du support. Les effets simulés sur la structure sont : Les efforts tranchants, les efforts normaux, et le moment fléchissant. La détermination de la section finale est faite en considérant le moment maximum dans toutes les barres. Les différents diagrammes de ces efforts sont détaillés dans les Annexe I à Annexe IX. Les différents calculs effectués sont basés sur la règle de l'art de la norme EN 1993, Eurocode 4 et 3 énonçant les calculs des structures mixtes acier-béton en prenant aux nœuds (1 ; 2) et (3 ; 4) l'encastrement. Les sollicitations sur le support métallique du récepteur se présentent sur les à Figure 21.

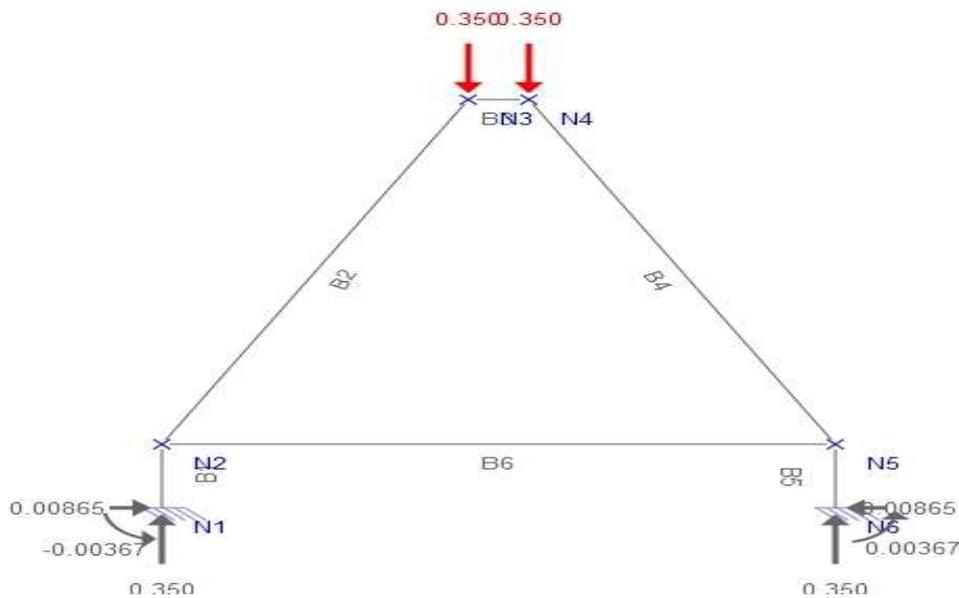


Figure 19: Sollicitations soumises au support

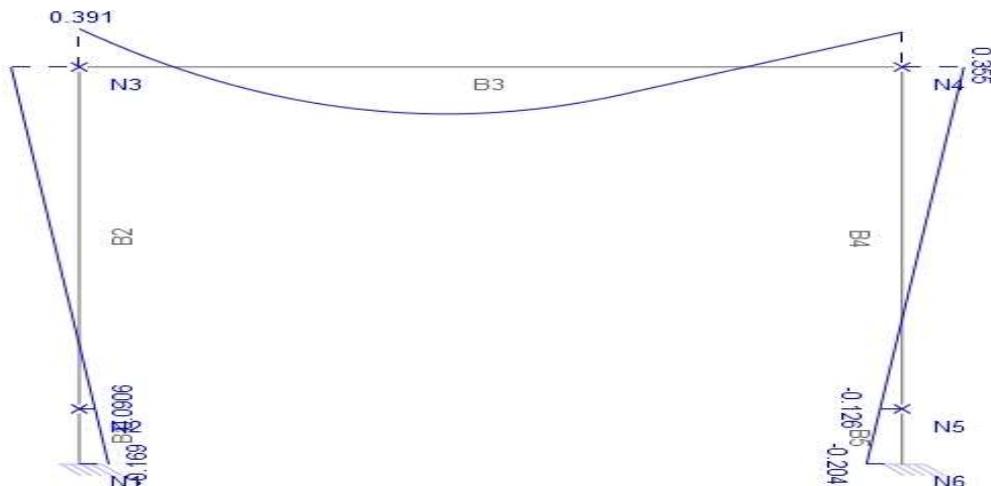


Figure 20: Le moment fléchissant

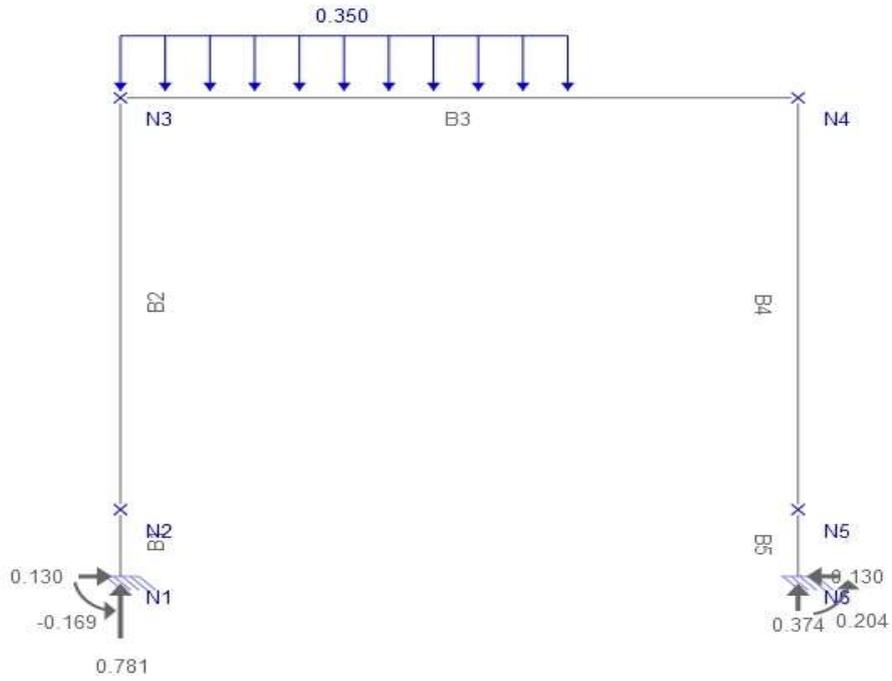


Figure 21: Sollicitation soumises au support

Les sollicitations et la charge auxquelles cette structure est soumise, nous conduisent à choisir un profilé IPE80 pour la construction du support.

V. AUTOMATISME DE SYSTEME DE SUIVI

V.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME MECANIQUE

Le mécanisme de suivi est constitué d'un ensemble d'organes mécaniques qui permet de traduire le mouvement de translation du chariot en mouvement de rotation des miroirs. Cette rotation permet d'ajuster à un angle précis l'orientation des miroirs afin de bien concentrer les rayons réfléchis vers le récepteur. Le système développé au LESEE est composé d'un chariot, d'une tige filetée et du système de transmission chaîne-pignon (voir Figure 22). Le chariot est relié au miroir qui se trouve au milieu du réflecteur et sur la tige filetée comme un écrou. Un moteur pas à pas accouplé à la tige fait déplacer le chariot d'EST en OUEST, cette translation est convertie en mouvement de rotation et permet d'incliner les miroirs d'un angle précis. La transmission de ce mouvement aux autres supports est faite par l'ensemble chaîne pignon (voir Figure 22).

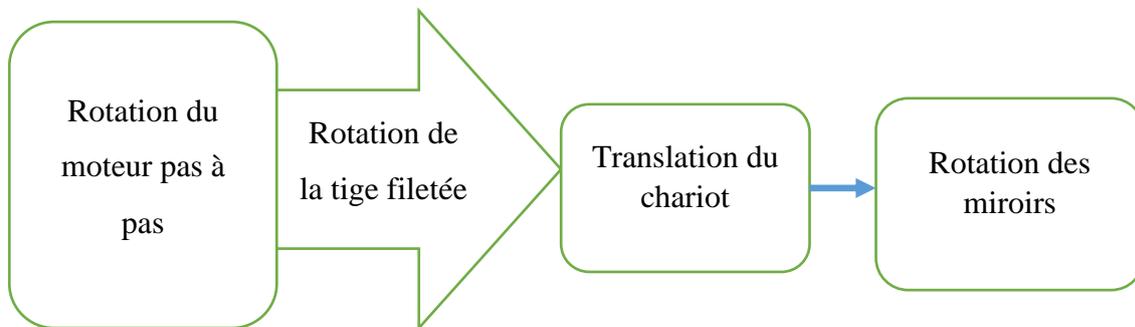


Figure 22: Fonctionnement du système de suivi

Le système de suivi est effectué par un seul moteur pas à pas au lieu de 5 moteurs, ce qui réduit considérablement le coût du système. Le système de transmission de mouvement chaîne-pignon permet de synchroniser tous les miroirs et de les ajuster à un angle précis. Le pignon compte 24 dents alors que la rotation totale fait 360° ce qui donne un angle de 15° par pas et $0,018^\circ$ par impulsion. La Figure 23 présente le chariot qui est utilisé dans le système.



Figure 23: Fixation du chariot sur la tige filetée

V.2 LA PARTIE COMMANDE

L'automatisation du système de suivi permet de créer une interface de communication homme-machine. Elle concerne les instructions de base et les codes de programmation. Ce système fonctionne d'une manière autonome toute la journée suivant l'algorithme de Joseph Michalsky qui détermine la position du soleil en calculant l'azimut et l'élévation. La partie commande est composée d'une carte de puissance et d'une carte de commande de modèle ARDUINO UNO. Cette carte est livrée avec son didacticiel open sources compatible avec windows, LUNIX et MAC. Le programme est transféré grâce à l'interface ARDUINO UNO depuis un ordinateur vers la carte : Ces cartes fonctionnent de manière suivante :

- La carte de puissance est un double pont H et a pour rôle d'envoyer des impulsions au moteur. Elle reçoit le programme de suivi sous forme de langage C++. La carte de commande reçoit le programme sous forme de code depuis l'éditeur de programme ARDUINO UNO. Elle transforme ce programme en langage compréhensible par l'actionneur.
- La carte de commande permet de commander le moteur pas à pas en fonction de l'impulsion et du nombre de tour souhaité. Le langage de programmation adopté est un "open source" lié à l'application ARDUINO UNO.

Il existe plusieurs algorithmes pour déterminer la position du soleil, parmi lesquels on a :

- Algorithme de Joseph Michalsky qui a une validité allant de 1950 à 2050 avec une précision angulaire de $0,01^\circ$.
- Algorithme du national Renewable Energy Laboratory (NREL) aussi appelé Solar algorithm position (SPA). Valide de 2000 à 6000 avec une précision de 0,0003.
- Algorithme de Blanco-Muriel et al. avec une période de validité de 1999 à 2015 et une précision de $0,01^\circ$.

En tenant compte de la validité de la précision et de la facilité ; un choix ingénieux et justifié a permis de déployer l'algorithme de Joseph Michalsky. Le branchement de la carte de puissance à la carte de commande est présenté dans la Figure 24.



Figure 24: Branchement carte de puissance et carte de commande

Le système de suivi de linéaire Fresnel est un ensemble composé d'une partie opérative et d'une partie commande. Ces différentes parties fonctionnent en harmonie pour optimiser de façon permanente la concentration des rayons incidents vers le récepteur. La régulation du système se présente dans la Figure 25.



Figure 25: Fonctionnement en boucle ouverte

Nous avons constaté qu'au cours du fonctionnement en boucle ouverte il y avait un glissement au niveau de l'accouplement entre la tige filetée et l'arbre du moteur. Ce glissement peut engendrer la défocalisation. Le fonctionnement à boucle ouverte ne permet pas de contrôler la sortie d'où la nécessité d'utiliser un capteur permettant de calculer le nombre de tours. Le capteur choisi est un codeur optique ou photorésistance.

V.3 PARTIE OPERATIVE

Le moteur pas à pas est l'élément fondamental dans le système de suivi solaire. Il permet via une impulsion électrique de tourner l'ensemble de champs de miroir à une position précise. Cette position et la vitesse de rotation sont commandées par une impulsion depuis la carte de commande.

Le moteur pas à pas a pour avantage d'être contrôlé en boucle ouvert. Le prototype existant sur la plateforme de LESEE est doté d'un moteur pas à pas de couple avoisinant 0.36 N·m, et faisant un pas total de 200, avec un réducteur de 27 soit 5400 impulsions (pas) pour effectuer

un tour complet. En fonction de l'impulsion imposée la rotation peut se faire en quart de tour ou un tour complet.

VI. PROTOCOLE DE CARACTERISATION DU RECEPTEUR LINEAIRE

Le test de caractérisation du récepteur sera effectué afin de déterminer les variables indépendantes et dépendantes qui vont affecter le récepteur au cours de son exploitation. Ce test sera effectué suivant une plage horaire journalière de 7 h30 mn à 17 h30 mn. Cette plage représente la durée de l'ensoleillement journalière. Nous allons émettre quelques hypothèses (voir Tableau 4) permettant de répondre aux questions liées aux problèmes, puis déterminer les variables indépendantes et dépendantes. Par la suite, nous présenterons les tests et les manipulations (voir Tableau 5) du protocole expérimental définitif. Ce protocole met l'accent sur le nombre d'essais et la portée de chaque manipulation avant de relever chacune d'elle.

Le test du récepteur permettra de voir les performances thermiques et les grandeurs agissant sur les récepteurs. Ainsi pour évaluer ces grandeurs nous allons disposer les différents thermocouples comme le montre la Figure 26.

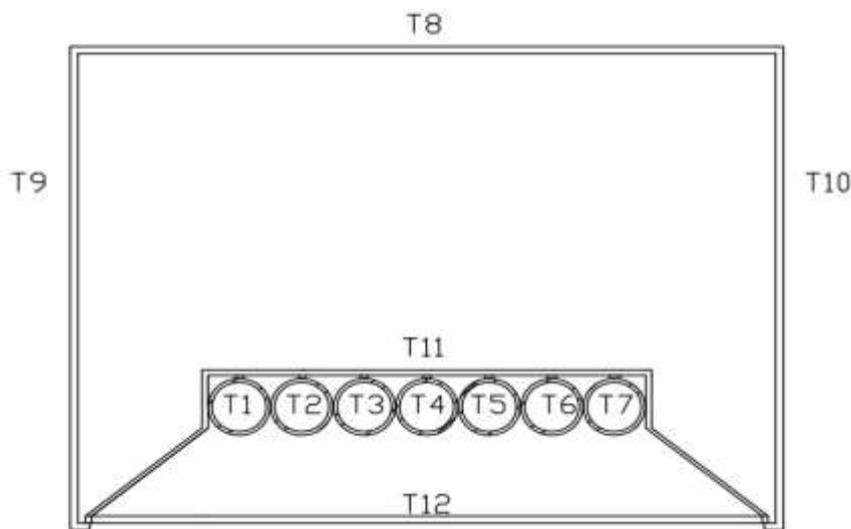


Figure 26: Point de mesure des températures

Les sondes de température T1 à T7 indiquent la température du fluide et sont situés à mi-distance des tubes absorbeurs. La sonde de température T11 mesure la température de surface extérieure des tubes absorbeurs. Les sondes de températures T8, T9, T10 sont fixés sur la surface latérale du récepteur et mesurent la température de la surface extérieure du récepteur. La sonde de températures T12 mesure la température de la surface interne de la vitre. A l'entrée et à la sortie du récepteur on placera les sondes de températures T_o et T_i afin de mesurer la température du fluide de travail (voir Figure 27).

Le fluide de travail est aspiré par la pompe pour être refoulé vers le récepteur, l'huile entre au point T_i du système dans le récepteur. Les miroirs concentrent les rayons incidents vers le récepteur, le récepteur étant multitubulaire et de surface très absorbante échange la chaleur avec le fluide de travail. Ce qui augmente la température du fluide, à la sortie au point T_o le débitmètre permet de mesurer le débit et le fluide revient dans la cuve à huile et le cycle recommence. La Figure 27 montre le dispositif expérimental.

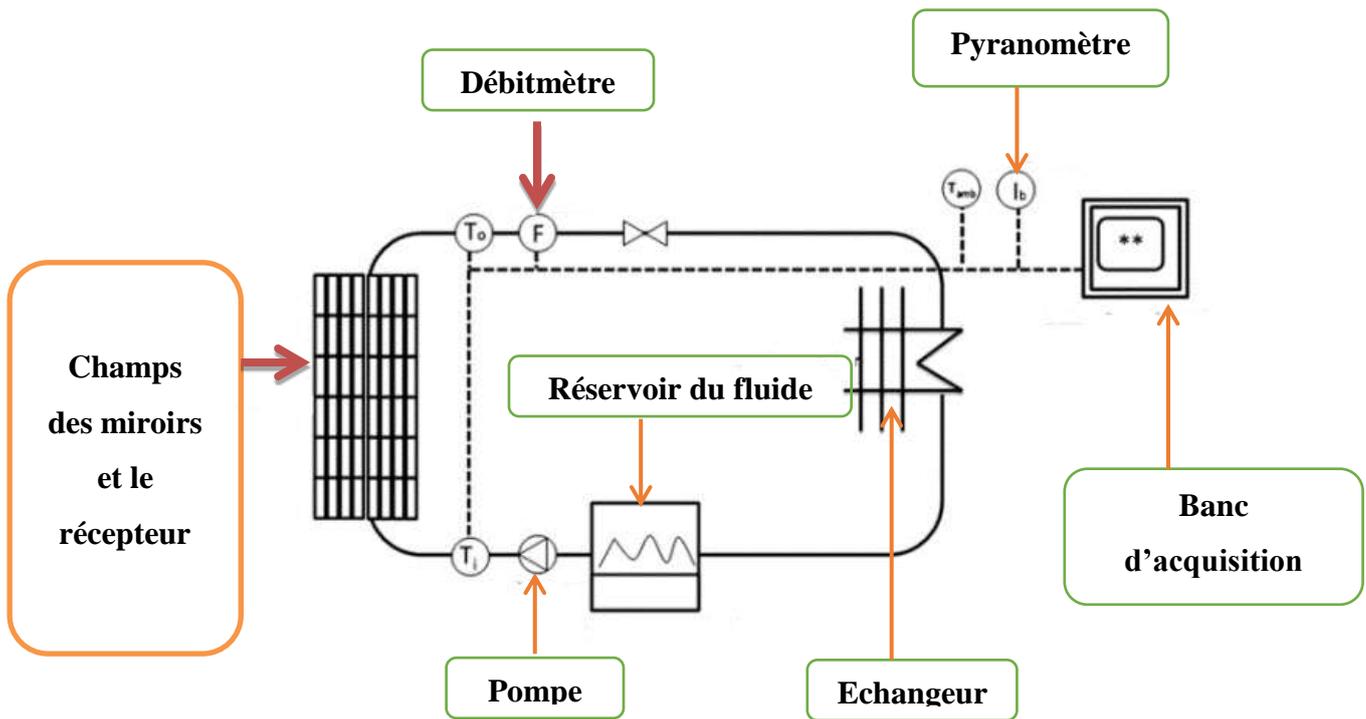


Figure 27: Dispositif expérimentale

Tableau 4: Hypothèses et les variables affectant le récepteur

N°	Questions	Hypothèses	Variables indépendantes	Traitements	Variables dépendantes
A	Quelle est l'influence de la vitesse du vent sur les pertes avant du récepteur ?	Lorsque la vitesse du vent est grande, plus importantes sont les pertes sur la face du récepteur.	La vitesse du vent.		Les températures de parois de l'absorbeur.
C	Quel est l'effet du débit sur le transfert de chaleur entre l'absorbeur et fluide caloporteur ?	La convection est plus importante lorsque le débit de fluide dans l'absorbeur est élevé.	Le débit de fluide dans le récepteur.		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les températures de parois de l'absorbeur. ▪ Les températures du fluide caloporteur.
		Le débit n'a aucun impact sur l'homogénéité des températures sur les parois de l'absorbeur.	Le débit de fluide dans le récepteur.		
D	Quel est l'effet de la température de parois de l'absorbeur sur la convection avec le fluide caloporteur ?	Le transfert de chaleur est plus important avec des différences élevées entre valeurs de températures de parois de l'absorbeur élevées.	Les températures de parois de l'absorbeur.	Valeurs non contrôlées.	Le pincement.

Tableau 5: Les différentes manipulations

(N°) Manips	Désignations	Nombre d'essai	Régimes	Portées	Perspectives
1	Test d'influence du vent sur la puissance absorbée.	5	Transitoire Refroidissement.	Caractériser les pertes convectives avant sur la puissance absorbée.	Amélioration de la structure définitive du récepteur ; installation d'ailerons périphérique de la cavité.
2	Test d'influence du débit de fluide caloporteur sur la qualité de l'écoulement.	5		Caractériser la convection entre l'absorbeur et le fluide.	Détermination du coefficient de convection h_{int} .
				Caractériser les pertes de charge en fonction du débit.	Détermination de la plage de débit de fluide optimal engendrant le moins de perte de charge.
3	Test d'écoulement optimal en fonction de la température.	5	Transitoire	Caractériser la convection entre l'absorbeur et le fluide.	Choix du revêtement de la cavité qui garantit les apports de chaleur maximal au fluide caloporteur.
				Caractériser les pertes de charge.	Améliorer le taux de compression du récepteur.

VI.1 INTRODUCTION AUX TESTS DE MANIPULATIONS

Le protocole prévoit trois (3) tests dont la durée varie d'une manipulation à une autre. Des vérifications préalables sont nécessaires avant le début de chaque manipulation. Il faut:

- ⊕ S'assurer que l'irradiation solaire est suffisamment grande.
- ⊕ S'assurer que le banc d'acquisition de données est branché sur un générateur de tension.
- ⊕ Disposer d'eau chaude et d'eau froide pour l'étalonnage des thermocouples.
- ⊕ S'assurer de la fidélité des instruments de mesure par des tests prémonitoires d'étalonnage.

Les dispositifs et équipements requis pour le test de caractérisation se résument dans le Tableau 6 et Tableau 7.

VI.1.1 Test d'influence du type de fluide caloporteur circulant dans l'absorbeur

Ce test vise à confirmer sur le plan scientifique le choix du type de fluide caloporteur. Entre l'eau et l'huile lequel est le fluide qui est le plus sujet aux pertes de charge mais aussi lequel absorbe le mieux la chaleur de l'absorbeur. Il n'est pas nécessaire que les tests avec les deux fluides soit successifs. Chaque fluide sera testé exactement comme sur le test avec débit d'écoulement variable. Les analyses se baseront sur la comparaison des profils de températures des deux fluides.

VI.1.2 Test de variation débit de fluide caloporteur

L'objectif du test est double : observer l'influence du débit de circulation du fluide caloporteur sur le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide mais aussi caractériser les pertes de charge dans le récepteur. Il se fera donc avec recirculation du fluide. Il s'effectue en présence de trois opérants qui suivent les étapes suivantes :

- Monter le banc d'acquisition au générateur de tension recommandé à son exploitation.
- Monter les thermocouples sur le banc d'acquisition en respectant les bornes asymétriques.
- Ouvrir toutes les vannes du circuit du banc d'essai.
- Régler le débit initial de la pompe à la valeur initiale de 30 l/min
- Etalonner les thermocouples par un passage alterné de l'eau chaude à l'eau froide
- Placer les thermocouples sur les cibles.
- Relever les conditions atmosphériques de l'environnement (température et vitesse du vent).

- Démarrer la pompe, Attendre encore 5 minutes pour confirmer l'observation.
- Relever les valeurs de températures de l'absorbeur, du fluide caloporteur toutes 15 minutes.
- Passer au débit suivant toutes les 30 minutes et recommencer le procédé
- Relever le temps délivré par le chronomètre lorsqu'on aura traité le dernier débit.
- Relever la durée de la manipulation.

Tableau 6: Disposition des instruments de mesures.

Appareil de mesure	Grandeur mesurée	Position
Pyranomètre	Le DNI (rayonnement normal direct).	Sur le plan horizontal du récepteur.
Anémomètre	Vitesse du vent.	Sur le plan horizontal du récepteur.
Thermocouple	La température.	Tubes et autour du récepteur.
Manomètre	La pression du fluide caloporteur.	Après la pompe.
Débitmètre	Le débit du fluide.	l'entrée de cuve de stockage.
Appareil d'acquisition	Centraliser les données.	Locale data.

Tableau 7: Equipement requis pour l'expérimentation

Matériel	Utilité	position
Pompe	Circuler le fluide de travail dans les tubes	Entre le bac et l'entrée du récepteur
Vanne de régulation	Réguler le passage de fluide dans les tubes	Entré débitmètre
Bac de stockage de fluide de travail	Stock de fluide de travail	extérieur
Conduite flexible	Véhiculé le fluide caloporteur	Entre pompe et récepteur puis cuve de stockage

M_S : Le débit massique de l'eau à l'entrée et qui est convertie en vapeur à la sortie

C_P : Chaleur spécifique de l'eau ($C_P = 4,178 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

L : Chaleur latente de vaporisation de la vapeur ($L = 2257 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Le rendement thermique est déterminé par :

$$\eta_t = 0,557 - 0,967 * \frac{T_{AV} - T_{amb}}{I_b} \quad (16)[5].$$

T_{amb} : température ambiante.

T_{AV} : température moyenne au tour des tubes absorbeurs.

I_b : irradiation.

T_S : Température de stabilité.

Le coefficient d'échange globale est déterminé par :

$$U_L = \frac{Q_{loss}}{A_r * (T_{AV} - T_{amb})} = \frac{\dot{m} * C_P * (T_i - T_o)}{A_r * (T_{AV} - T_{amb})} \quad (17)[5].$$

La température de stagnation est définie par :

$$T_{stagnation} = \sqrt[4]{\frac{C * \phi_s}{\sigma}} \quad (18)[5].$$

La température optimum du récepteur est donnée par la relation :

$$T_{op} = \sqrt{T_s * T_{amb}} \quad (19)[5].$$

Et le rendement optique est exprimé par :

$$\eta_{op-total} = \frac{Q_{absorbe}}{I_b * A_{total}} \quad (20)[5].$$

VII. CONCLUSION

L'installation de la centrale solaire de type Fresnel à grande échelle en Afrique est possible mais la problématique est que les pays ne disposent pas de ressources financières nécessaires. N n v hétude de concevoir, de dimensionner et de caractériser le récepteur linéaire. Les phases de conception et de dimensionnement ont été cruciales du fait qu'elle nous ont permis de déterminer les dimensions optimales du récepteur et de pouvoir le construire avec du matériel disponible localement.

Lors de la conception plusieurs technologies de récepteur linéaire ont été étudiées en détail, cette étude a été menée en fonction de l'efficacité et du rendement puis de la géométrie du récepteur. Il en ressort que le récepteur trapézoïdal est celui répond le mieux aux critères technico-économiques attendus. Le récepteur dimensionné est constitué de sept (7) tubes absorbeurs avec le diamètre extérieur de 16 mm, l'ossature métallique du récepteur comporte les aciers carrés de 25 mm de côté et 2 mm d'épaisseur, pour éviter les pertes thermique, la laine de verre d'épaisseur 50 mm a été disposée autour des tubes. Afin de bien intercepter les rayons incidents du réflecteur la longueur totale du récepteur a été fixée à 3300 mm et d'envergure 190 mm.

Le récepteur étant dimensionné il est important de le caractériser. Cette caractérisation consiste à étudier le différent mode de transfert ainsi que le coefficient d'échange global du récepteur et de confronter le ratio demi-largeur sur hauteur qui varie de 0,9 à 1,2 par He et al. (2012), de ce fait un dispositif de manutention verticale variant de 2 m à 3,5 m par pas de 0,5 m est conçu pour l'expérimentation.

Au cours des tests de focalisation réalisés au laboratoire LESEE, nous avons constaté en fonction des variations saisonnière que la trajectoire du soleil n'est pas identique. Il a été observé un décalage de la tache focale de 500 mm vers le Nord et 1500 mm vers le sud. Ce qui nous permet d'augmenter la portée du support et de mettre en place un système de manutention verticale afin d'optimiser les rayons réfléchis sur le récepteur.

Le support du récepteur linéaire a été dimensionné suivant eurocode 4 et 3. L'outil PYBAR nous a permis de faire un pré-dimensionnement. Le profilé choisi est le profilé IPE80. Le support sera soumis à une charge linéique totale tu récepteur de 1,1 kN, C'est avec cette charge que les simulations sur le support ont été effectuées pour valider le système.

VIII. RECOMMANDATIONS

Les tests de focalisation ont été effectués au cours ce travail et le glissement a été observé entre l'axe du moteur et du chariot. Nous recommandons de :

- ⊕ Mettre un codeur optique ou une photorésistance sur la boucle retour du système de régulation.
- ⊕ Remplacer le système de transmission chaîne pignon par un système à engrainage Afin d'imposer un angle horaire souhaité lors de fonctionnement.
- ⊕ La température moyenne du récepteur doit avoisiner les 200°C alors un équipement de protection thermique est recommandé.
- ⊕ Lubrifier le système de transmission afin d'assurer le bon fonctionnement du prototype.

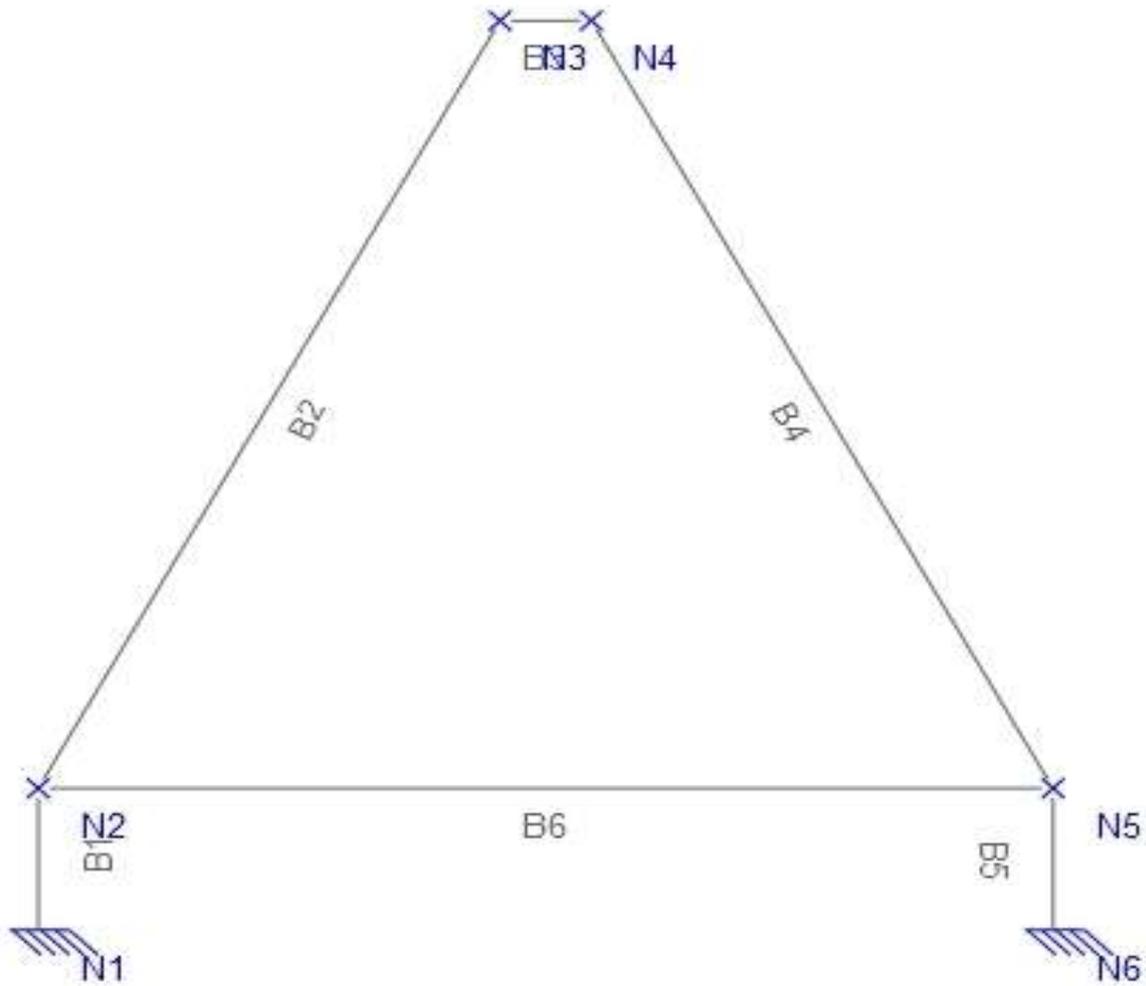
BIBLIOGRAPHIE

- [1] "World energy outlook (WEO) <http://www.iea.org/weo/electricity.asp>."
- [2] François Veynandt, "Cogénération héliothermodynamique avec concentrateur linéaire de Fresnel: modélisation de l'ensemble du procédé," Université de Toulouse, 2011.
- [3] Keith Lovegrove and Wes Stein, "Concentrating solar power technology: Principles, developments and applications," *Woodhead Publishing Limited*, 2012.
- [4] Quoilin Sylvain, *Les Centrales Solaires à Concentration*, vol. 34. Université de Liège Faculté des sciences appliquées: , 2007.
- [5] M. Lin, K. Sumathy, Y. J. Dai, R. Z. Wang, and Y. Chen, "Experimental and theoretical analysis on a linear Fresnel reflector solar collector prototype with V-shaped cavity receiver," *Applied Thermal Engineering*, vol. 51, no. 1–2, pp. 963 – 972, 2013.
- [6] S. S. Sahoo, S. Singh, and R. Banerjee, "Analysis of heat losses from a trapezoidal cavity used for Linear Fresnel Reflector system," *Solar Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 1313 – 1322, 2012.
- [7] K. Mahdi and N. Bellel, "Development of a Spherical Solar Collector with a Cylindrical Receiver," *Energy Procedia*, vol. 52, no. 0, pp. 438–448, 2014.
- [8] J. P. Petitjean and H. V. Poorten, "Les revêtements sélectifs et leur rôle dans l'amélioration des performances des collecteurs solaires," *Surface Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 229 – 258, 1980.
- [9] S. F. Larsen, M. Altamirano, and A. Hernández, "Heat loss of a trapezoidal cavity absorber for a linear Fresnel reflecting solar concentrator," *Renewable Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 198 – 206, 2012.
- [10] P. L. Singh, R. M. Sarviya, and J. L. Bhagoria, "Thermal performance of linear Fresnel reflecting solar concentrator with trapezoidal cavity absorbers," *Applied Energy*, vol. 87, no. 2, pp. 541 – 550, 2010.
- [11] A. Heimsath, F. Cuevas, A. Hofer, P. Nitz, and W. J. Platzer, "Linear Fresnel Collector Receiver: Heat Loss and Temperatures," *Energy Procedia*, vol. 49, no. 0, pp. 386 – 397, 2014.
- [12] X. Zhu, "Development of an analytical optical method for linear Fresnel collectors," vol. 94, pp. 240–252.
- [13] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degève, and G. Cacères, "Concentrated solar power plants: Review and design methodology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, no. 0, pp. 466 – 481, 2013.
- [14] R. Forristall, "Heat transfer analysis and modeling of a parabolic through solar receiver implemented in engineering equation solver," 2003.
- [15] P. K. Sen, K. Ashutosh, K. Bhuwanesh, Z. Engineer, S. Hegde, P. V. Sen, and P. Davies, "Linear Fresnel Mirror Solar Concentrator with Tracking," *Procedia Engineering*, vol. 56, no. 0, pp. 613–618, 2013.

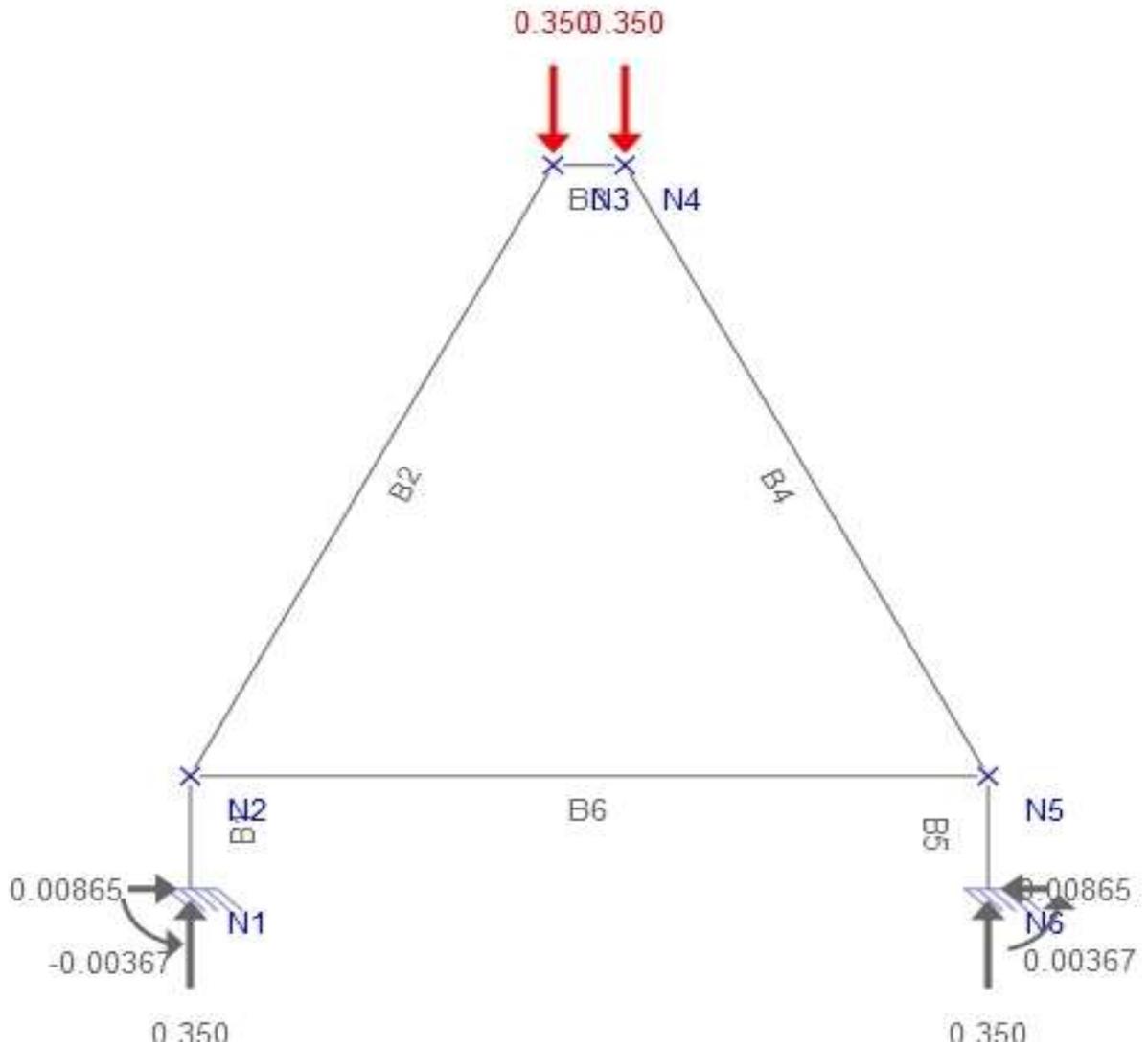
ANNEXES

Annexe I	Support métallique du récepteur	46
Annexe II	Charge et sollicitation appliquées au support.....	47
Annexe III	Effort normale appliquée au support.....	48
Annexe IV	La déformée support.....	49
Annexe V	Charge linéique soumise par le récepteur au support.....	50
Annexe VI	Effort normal appliqué au support	51
Annexe VII	Effort tranchant appliqué au support.....	52
Annexe VIII	Moment fléchissant appliqué au support.....	53
Annexe IX	La déformée du support.....	54
Annexe X	Le support vue de dessus.....	55
Annexe XI	Le support vue face	56
Annexe XII	système de manutention à 1.5 m	57
Annexe XIII	Système de manutention à 1 m.....	58
Annexe XIV	Système de manutention à 0.5 m.....	59
Annexe XV	Récepteur vue de face	60
Annexe XVI	Système de fixation de réflecteur secondaire.....	61
Annexe XVII	Calcul de la masse du récepteur	62
Annexe XVIII	Ossature du récepteur vue de face.....	63
Annexe XIX	Ossature récepteur vue de dessus	64
Annexe XX	Ossature récepteur vue de droite	65
Annexe XXI	Tôle de la surface absorbante	66
Annexe XXII	Propriétés thermo physique des matériaux.....	67

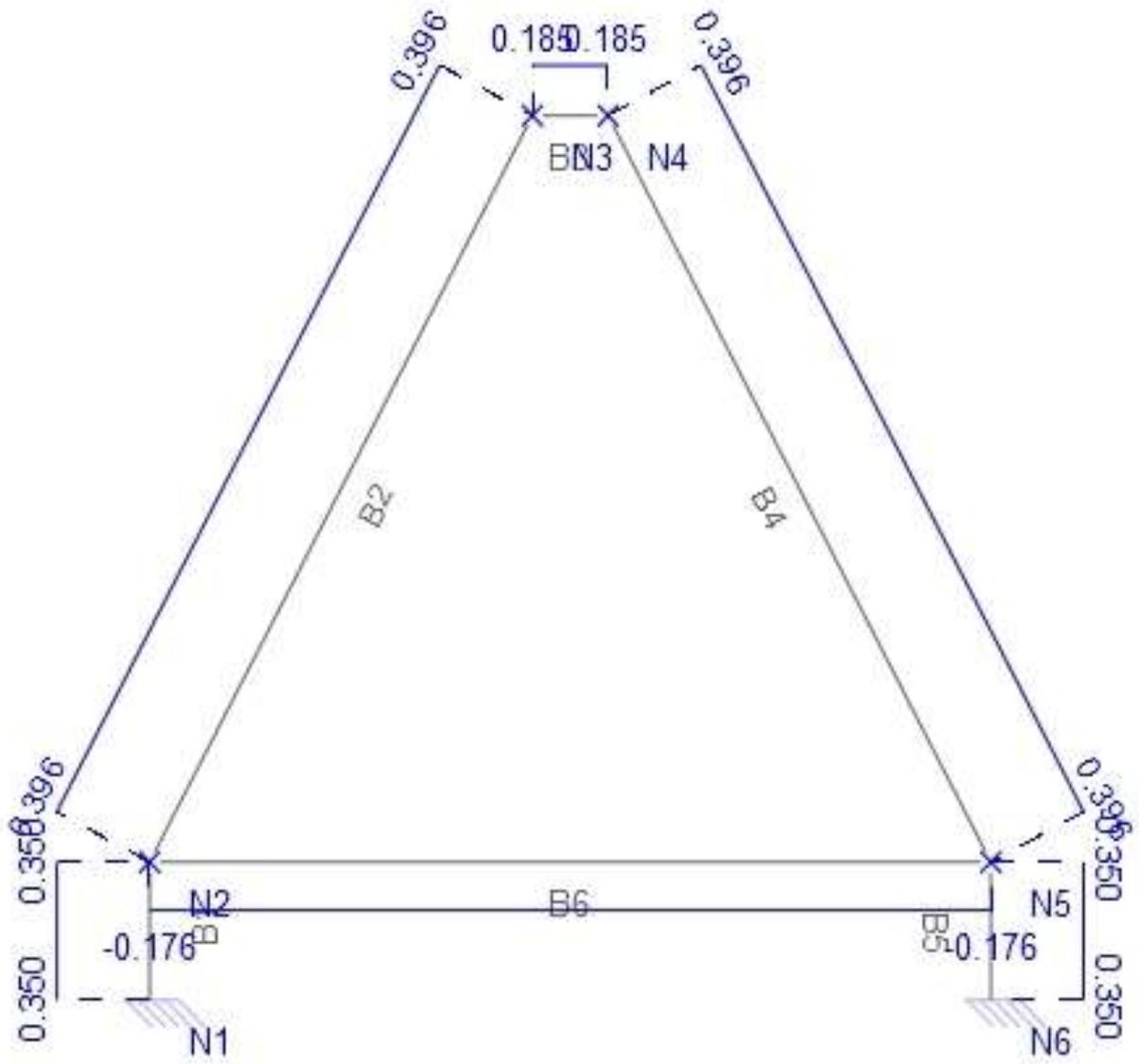
Annexe I Support métallique du récepteur



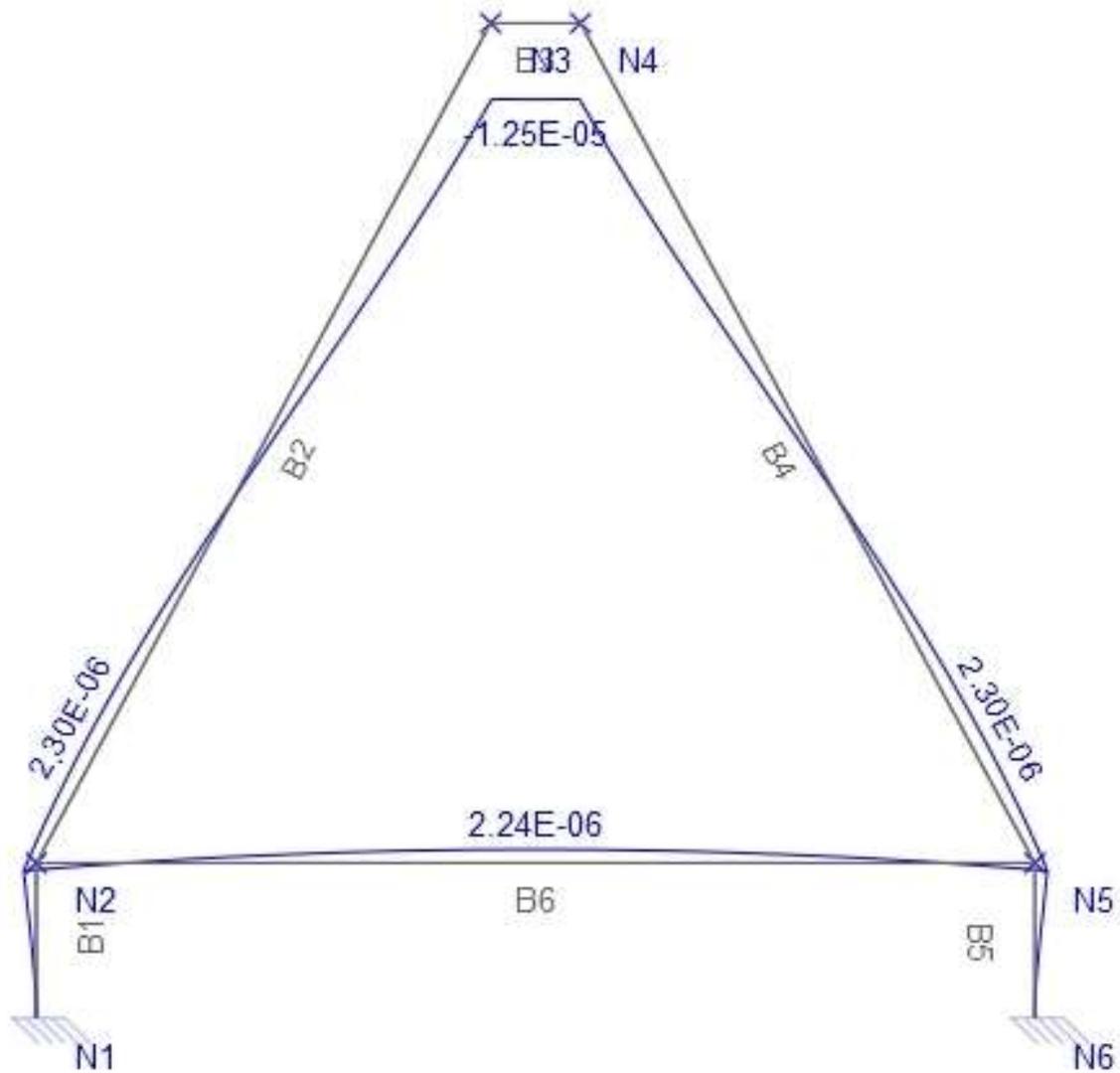
Annexe II Charge et sollicitation appliquées au support



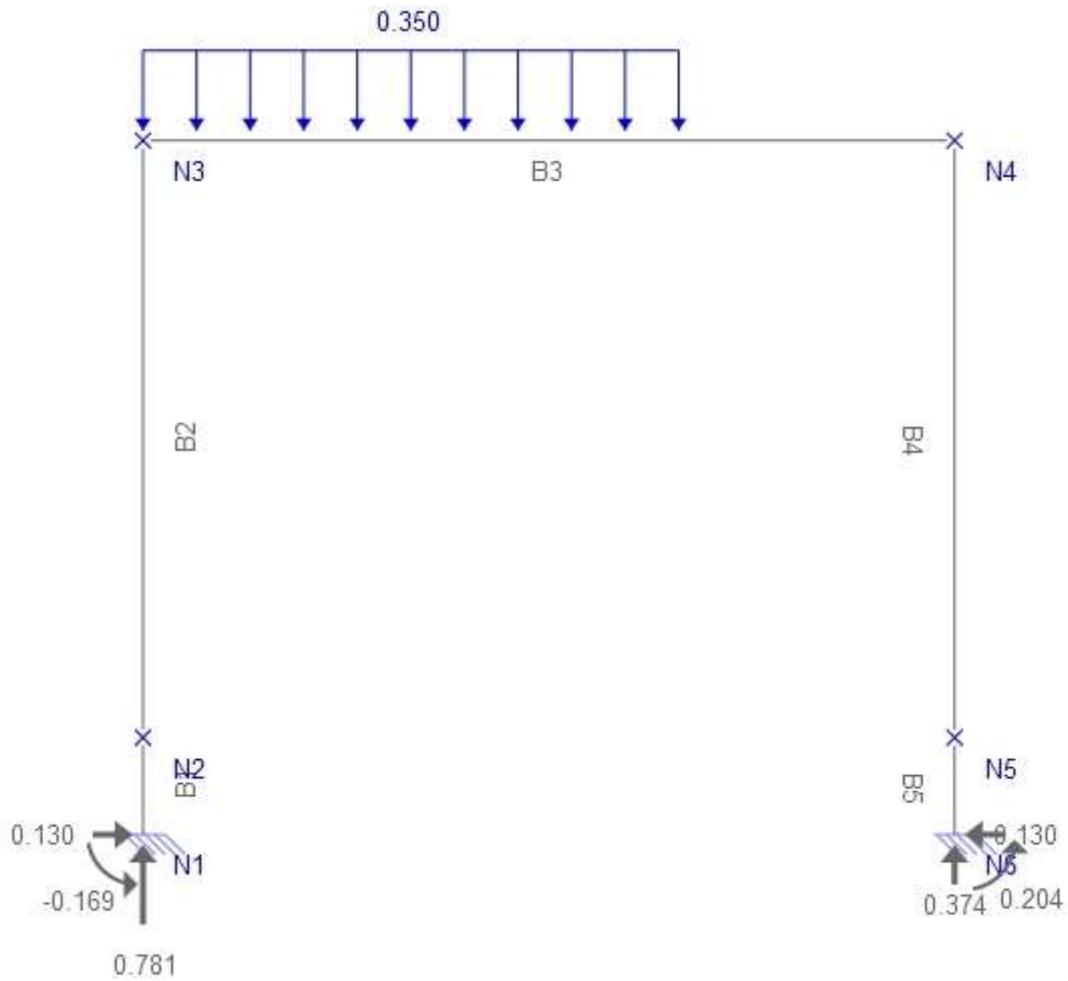
Annexe III Effort normale appliquée au support



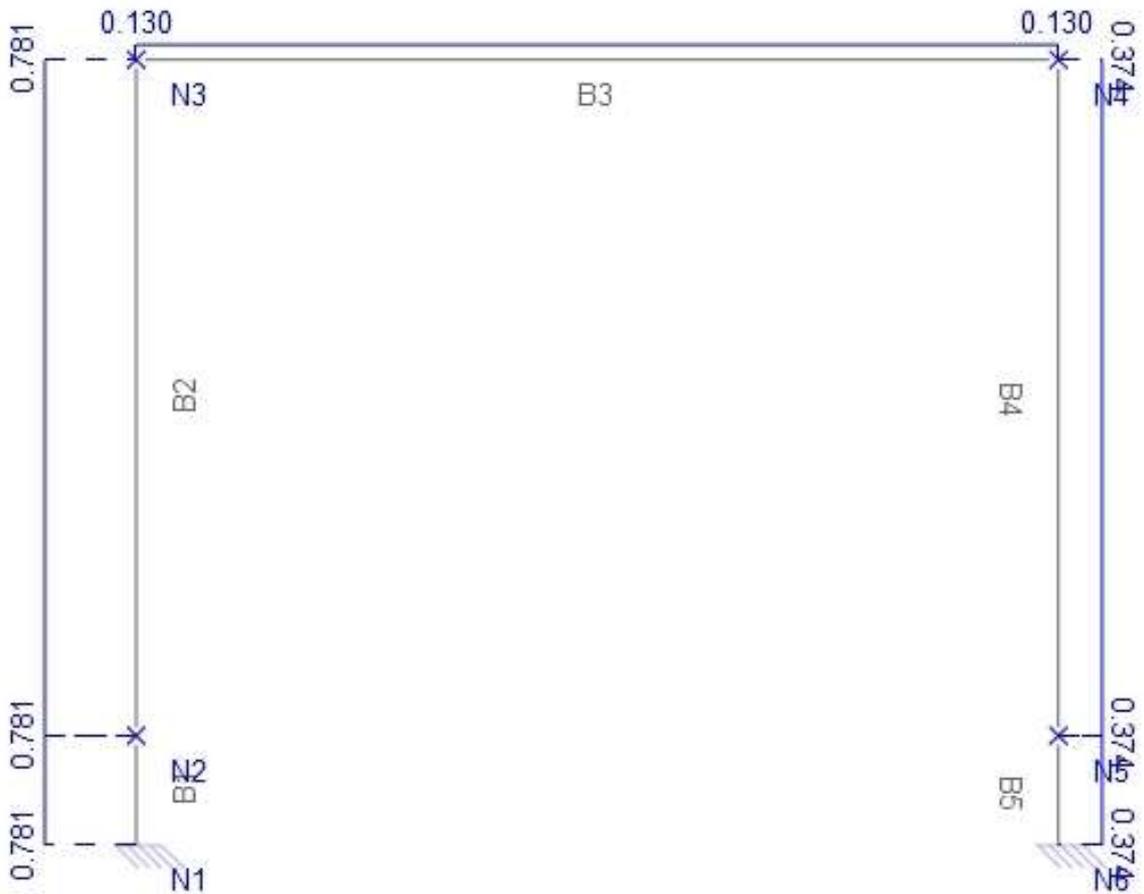
Annexe IV La déformée support



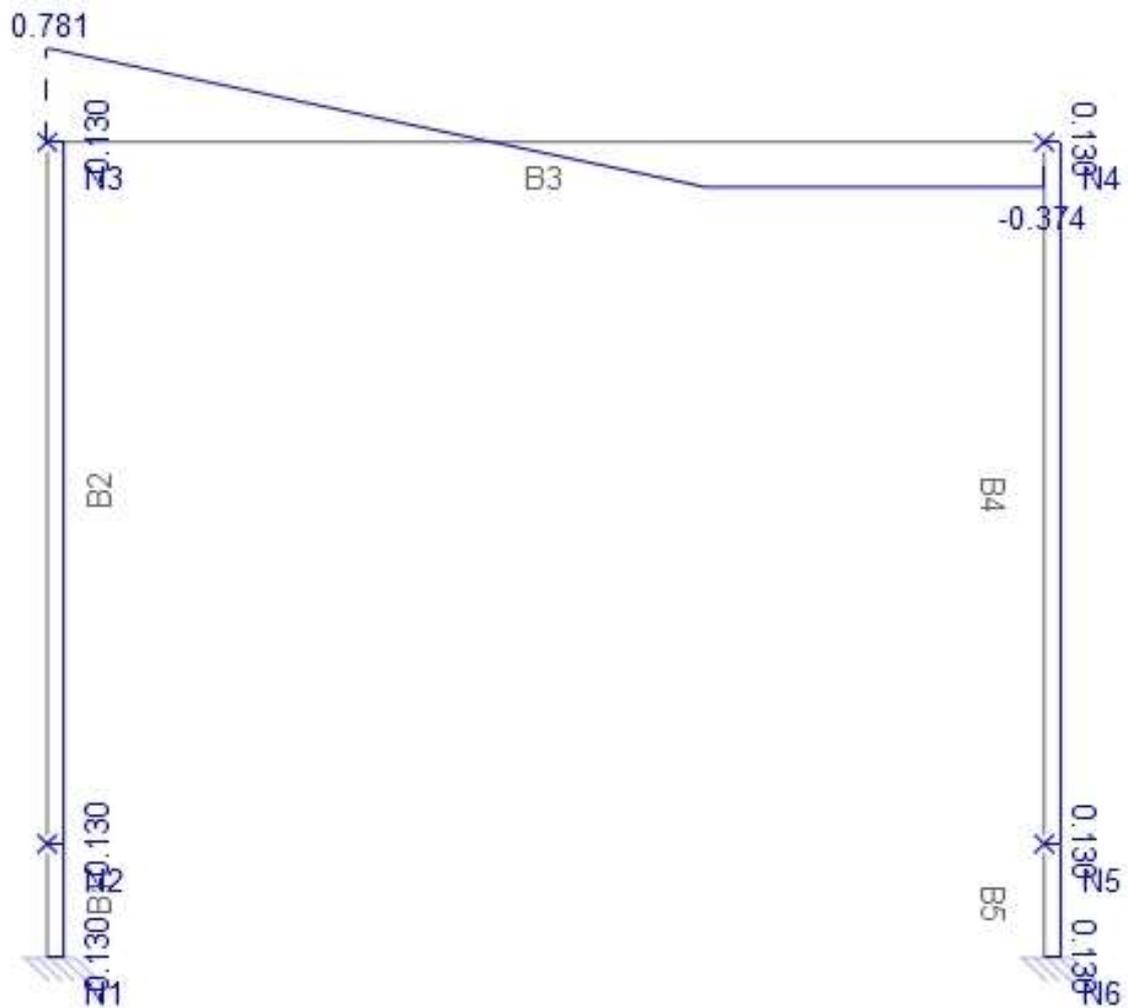
Annexe V Charge linéique soumise par le récepteur au support



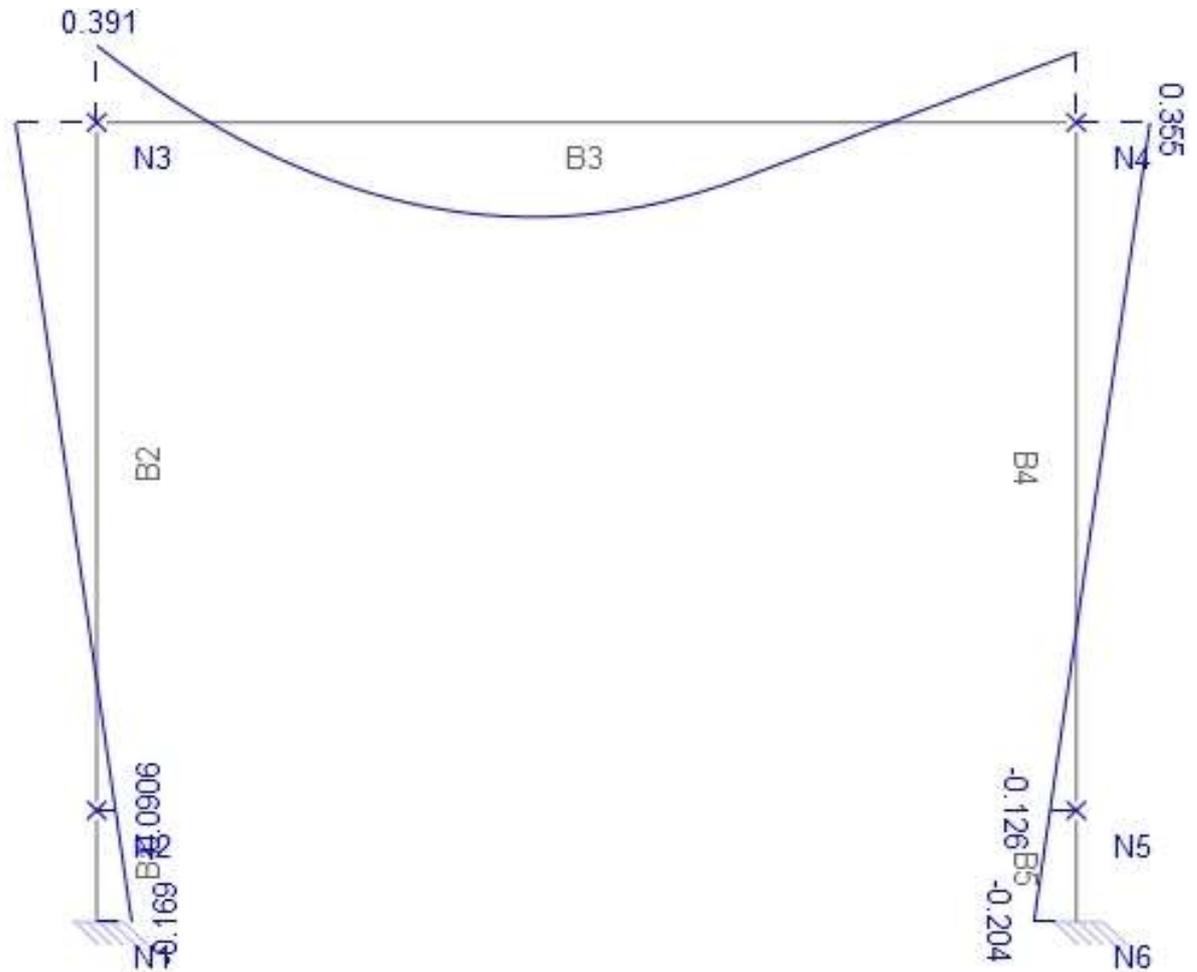
Annexe VI Effort normal appliqué au support



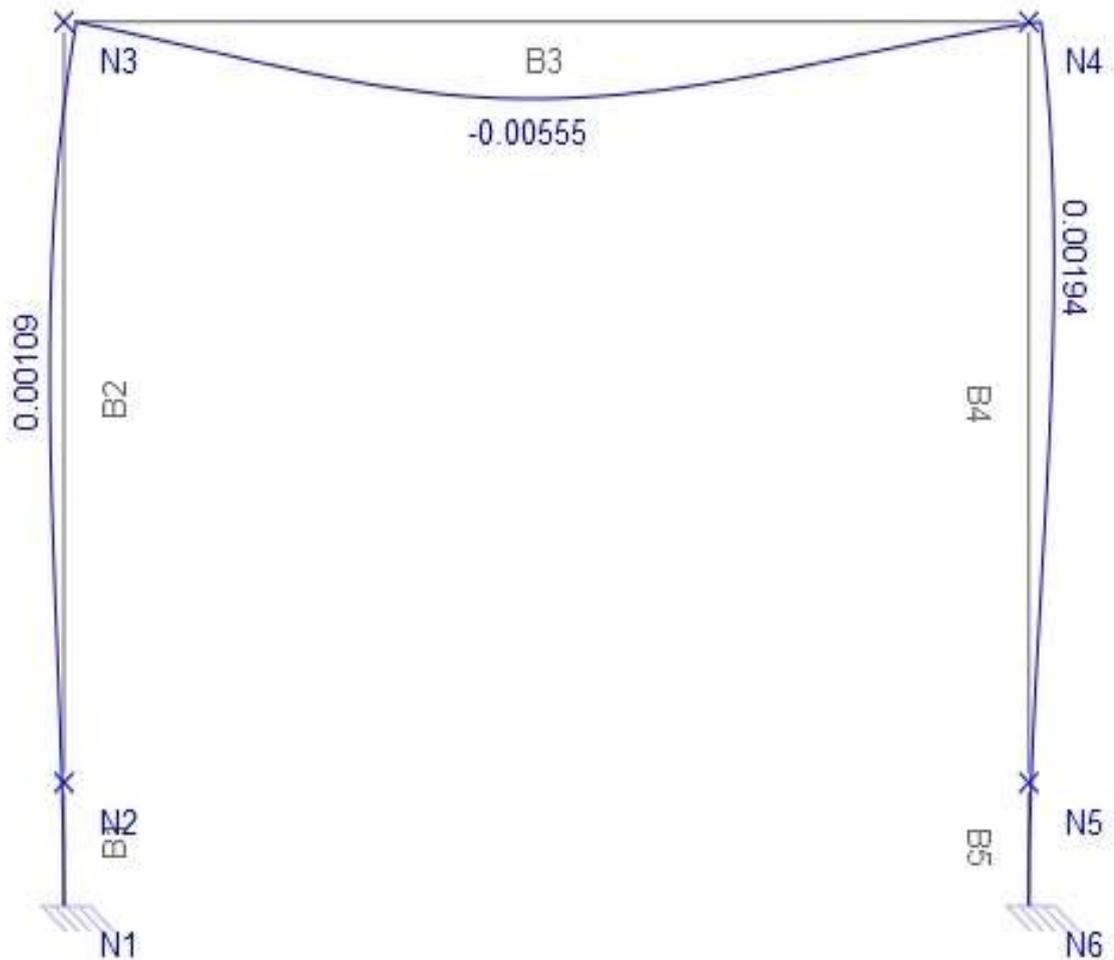
Annexe VII Effort tranchant appliqué au support



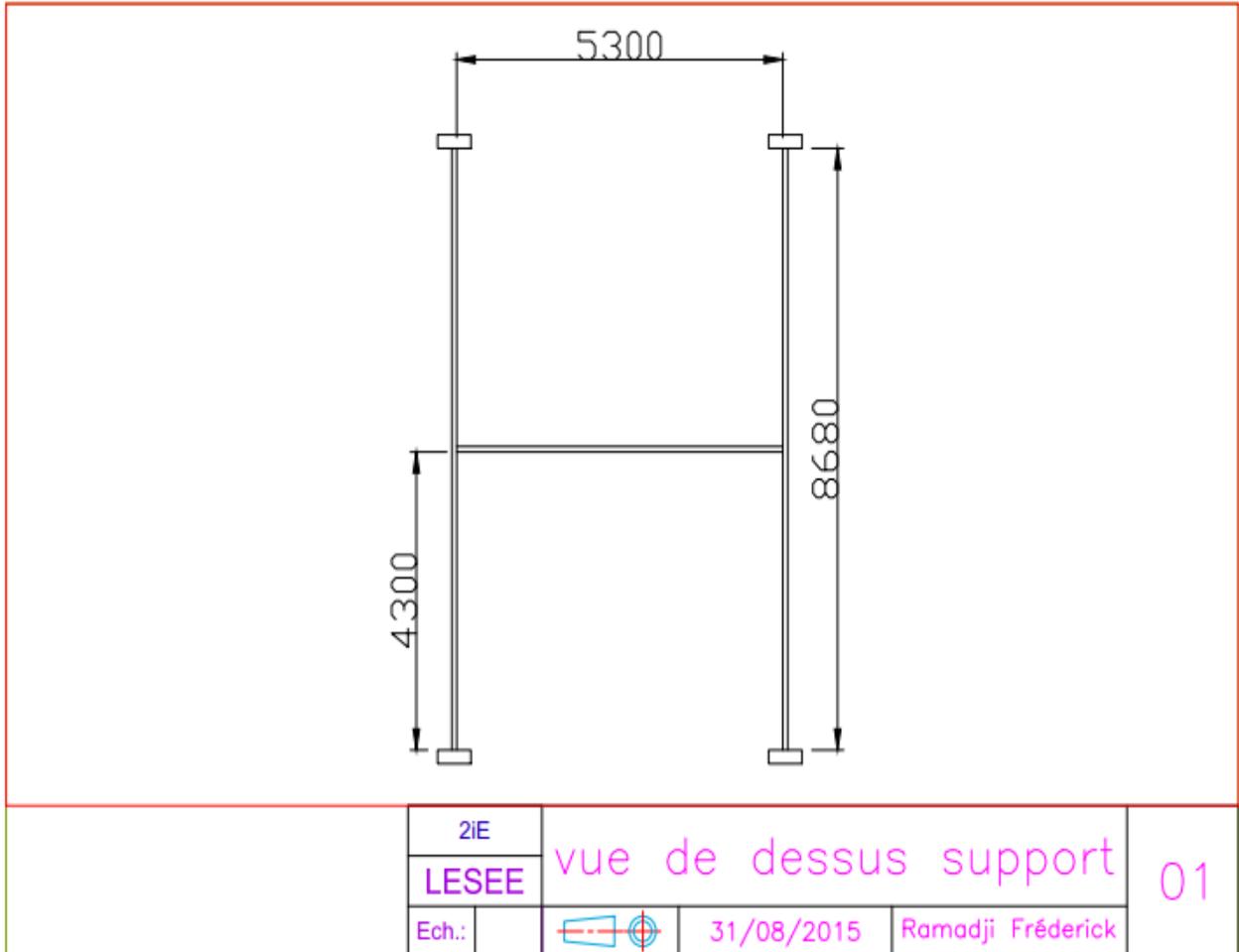
Annexe VIII Moment fléchissant appliqué au support



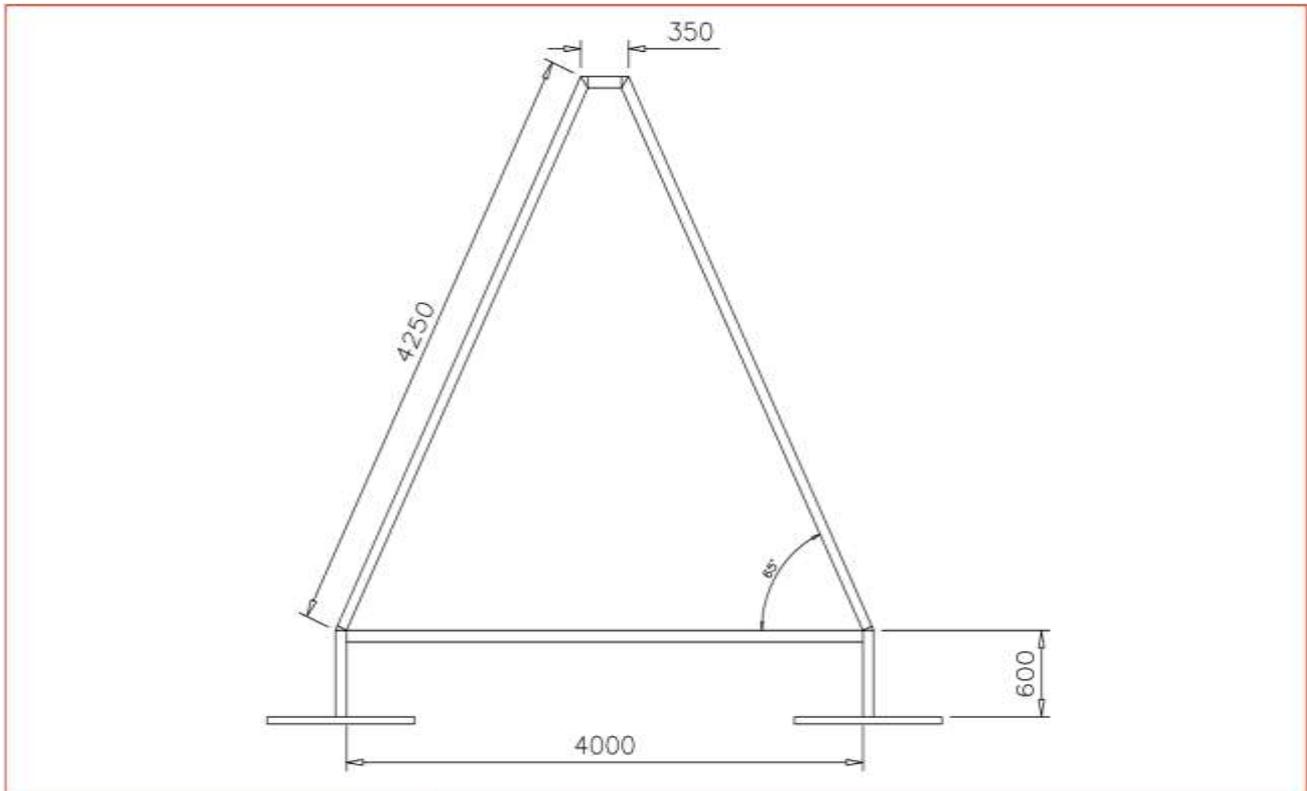
Annexe IX La déformée du support



Annexe X Le support vue de dessus

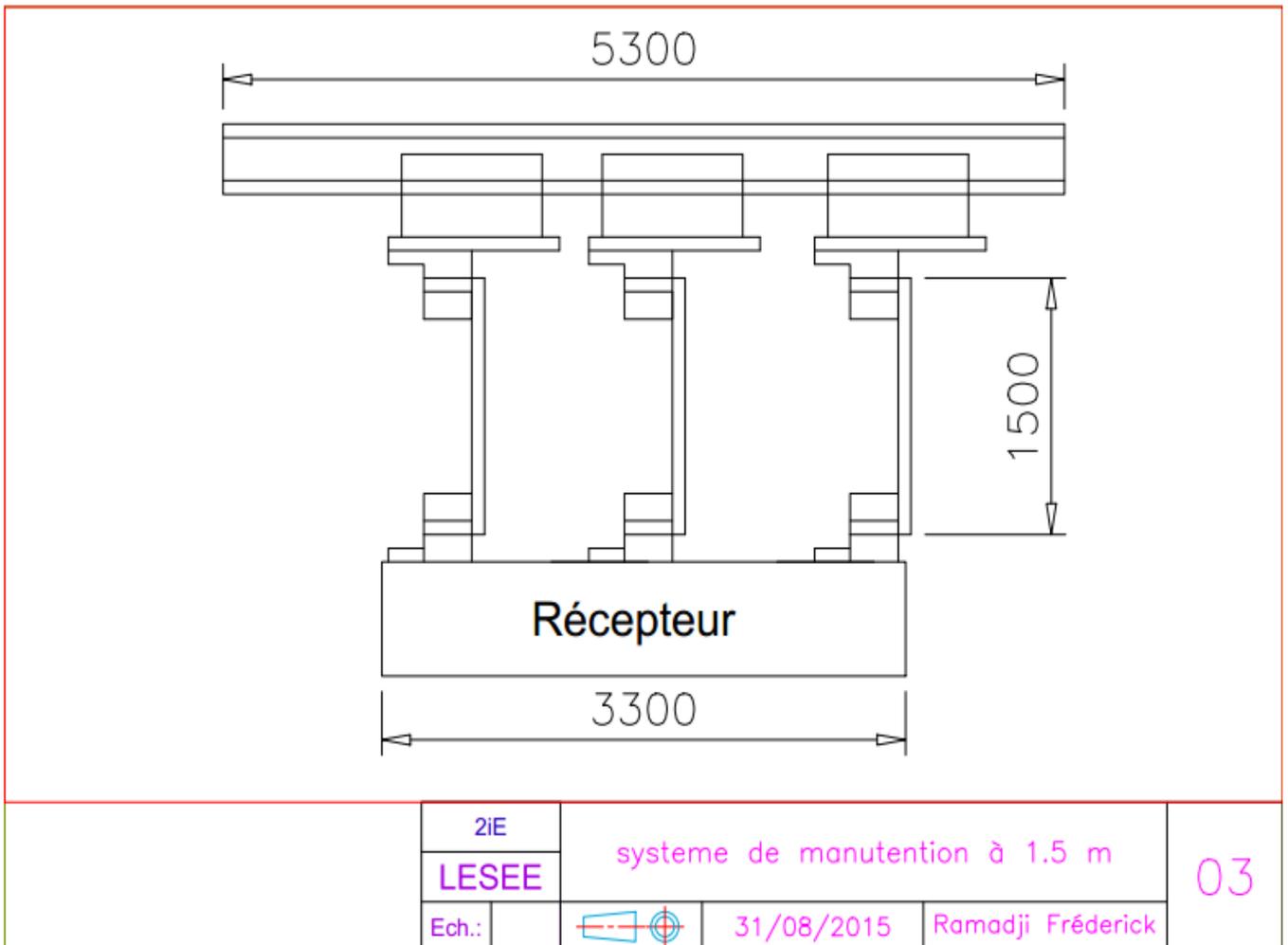


Annexe XI Le support vue face

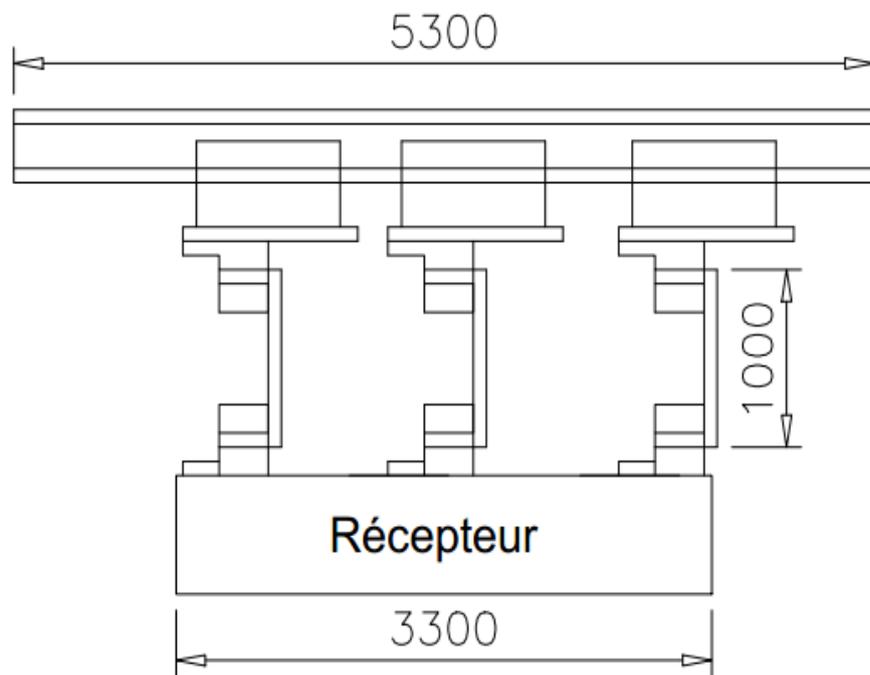


2iE	vue de face support		02
LESEE			
Ech.:		31/08/2015	Ramadji Frédérick

Annexe XII système de manutention à 1.5 m

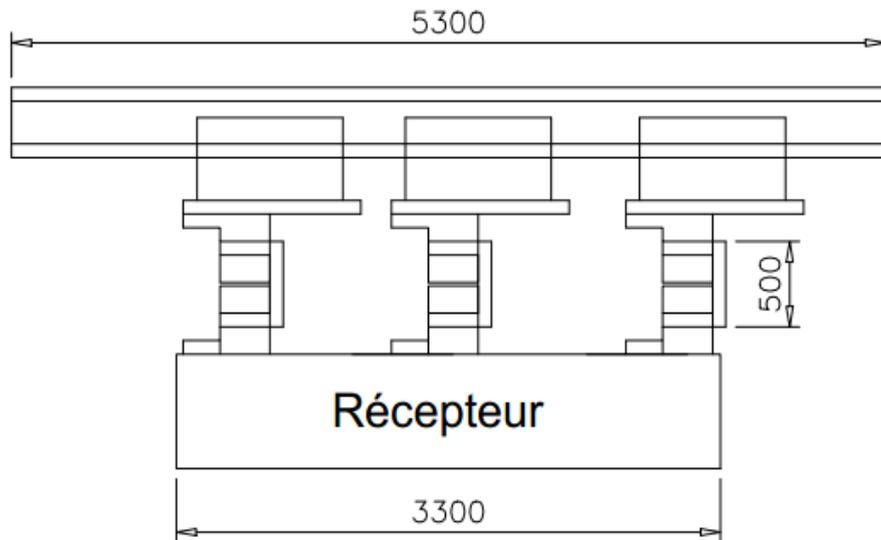


Annexe XIII Système de manutention à 1 m



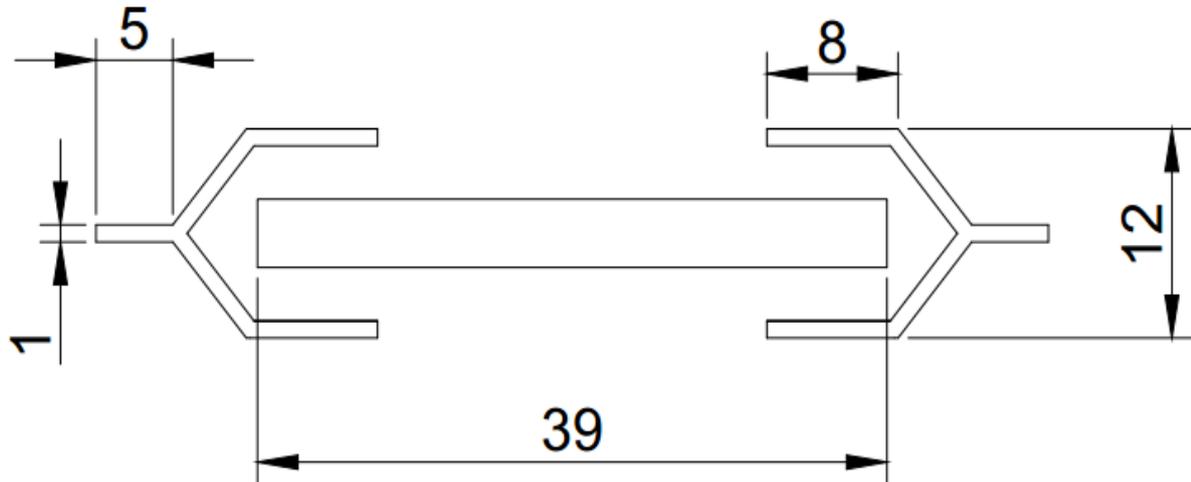
	2iE	Système de manutention à 1 m		04
	LESEE			
Ech.:			31/08/2.15	Ramadji Frédérick

Annexe XIV Système de manutention à 0.5 m



	2iE	Système de manutention à 0.5 m		05
	LESEE			
Ech.:			31/08/2015	Ramadji Frédéric

Annexe XVI Système de fixation de réflecteur secondaire



	2iE	Systeme de fixation miroir		08
	Cycle Bachelor Semestre 3			
Ech.:			31/08/2015	Ramadji Frédérick

Annexe XVII Calcul de la masse du récepteur

Tubes absorbeurs

Désignation	Quantité	rayon extérieur (mm)	rayon intérieur (mm)	Surface (m2)	Longueur (mm)	Volume m3	masse volumique kg/m3	masse totale (kg)
tube en cuivre	7	0,008	0,007	3,14159E-06	3300	1,03673E-05	8952	0,649653715
tube en aluminium	7	0,008	0,007	3,14159E-06	3300	1,03673E-05	2707	0,196449129

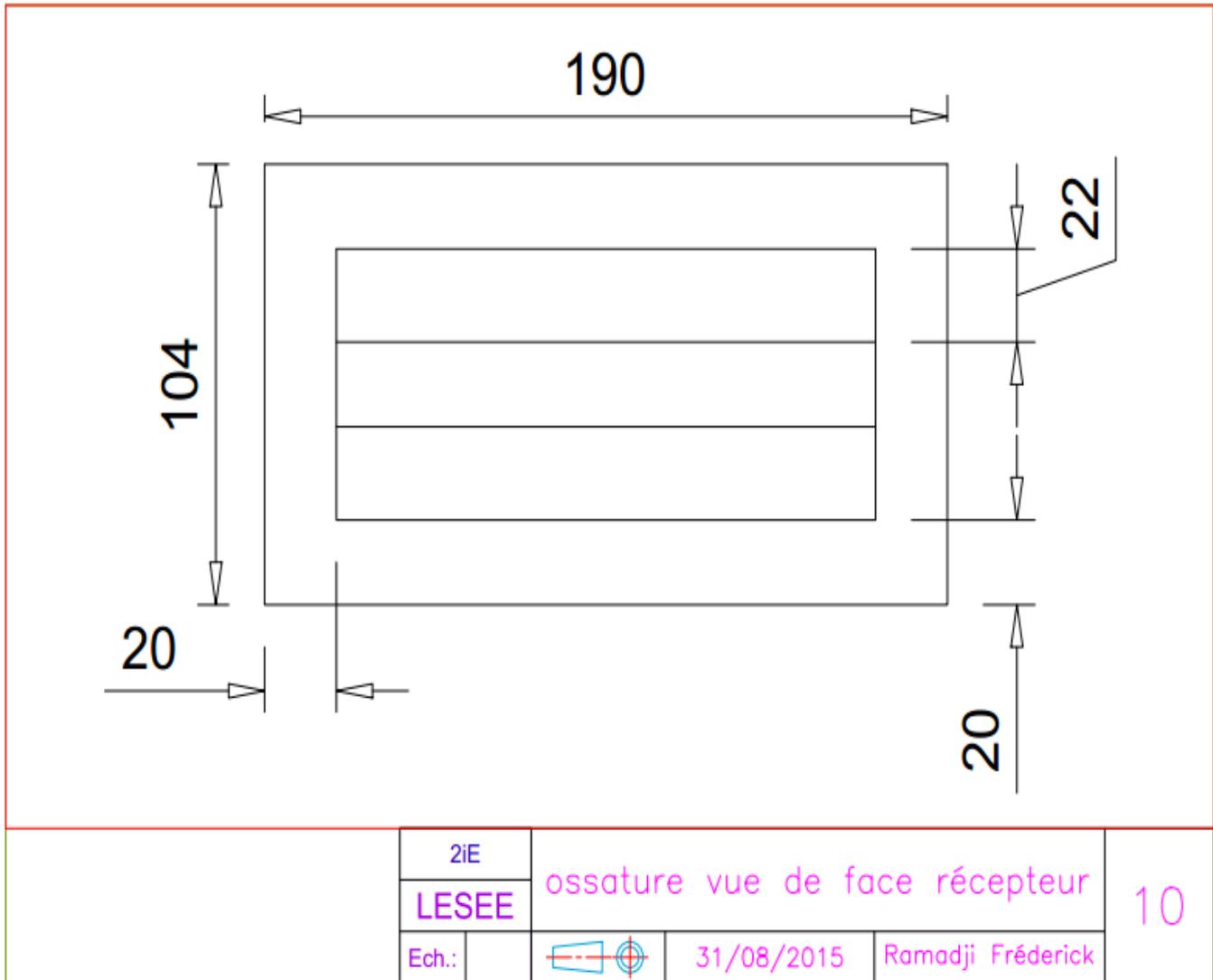
Tôle et isolant

Désignation	Quantité	longueur(m)	largeur(m)	épaisseur(m)	Volume (m ³)	masse volumique (Kg/m ³)	masse totale (kg)
Miroir	2	3,3	0,039	0,003	0,0003861	24560	18,965232
Tole1 (acier inox)	1	3,3	0,19	0,005	0,003135	7816	24,50316
tole2 (acier inox)	2	3,3	0,113	0,005	0,0018645	7816	29,145864
Vitre	1	3,3	0,19	0,002	0,001254	2457,6	3,0818304
Isolant					0,025773	40	1,03092
tole3 (acier inox)	2	3,3	0,094	0,005	0,001551	7816	24,245232
tole4 (acier inox)	2	0,19	0,094	0,005	0,0000893	7816	1,3959376

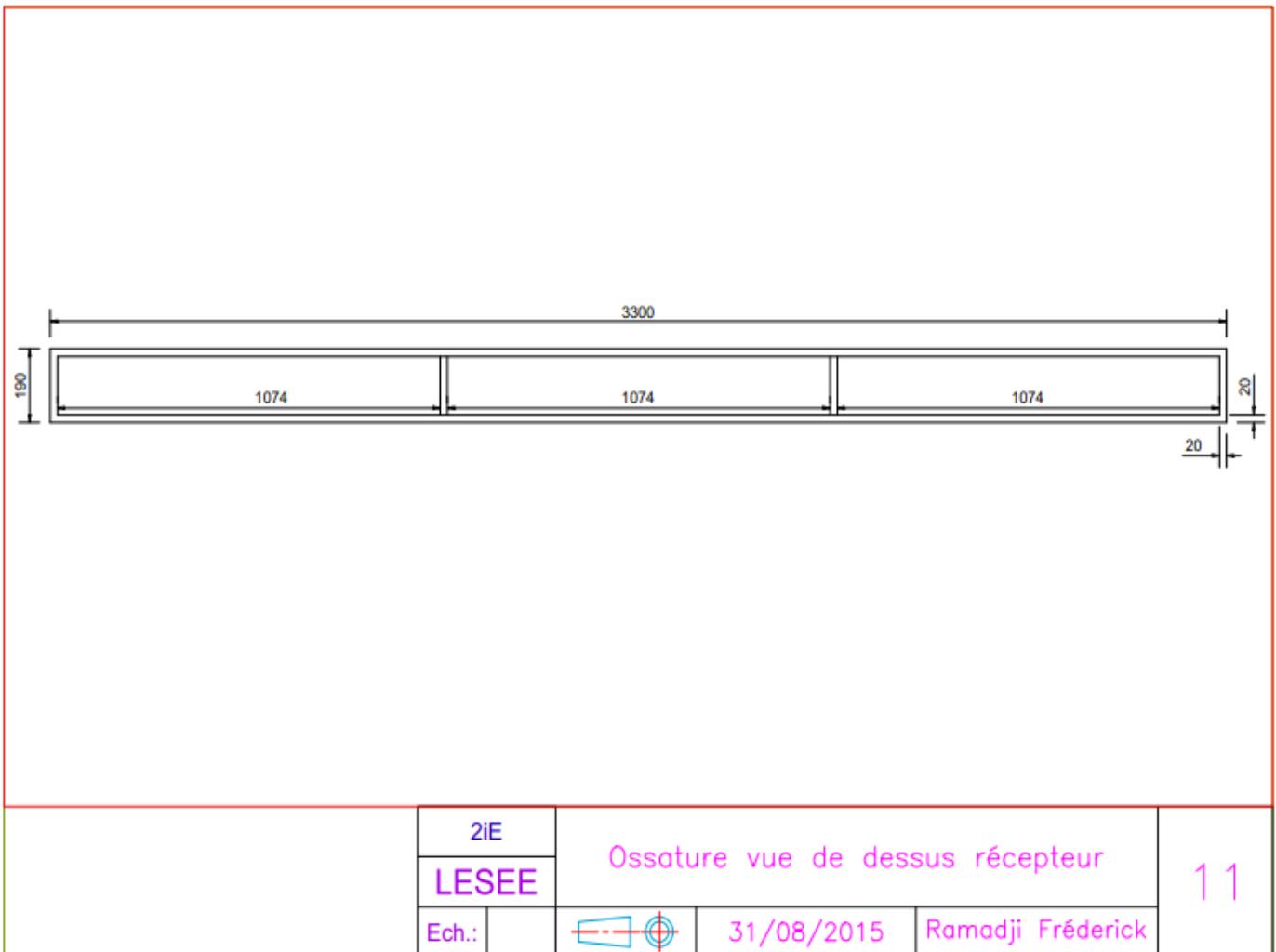
Masse totale

	masse totale (kg)	gravité N/kg	force linéaire appliquée N	q (kN)
Cuivre	103,0178297	10	1030,178297	1,0301783
Aluminium	102,5646251	10	1025,646251	1,02564625

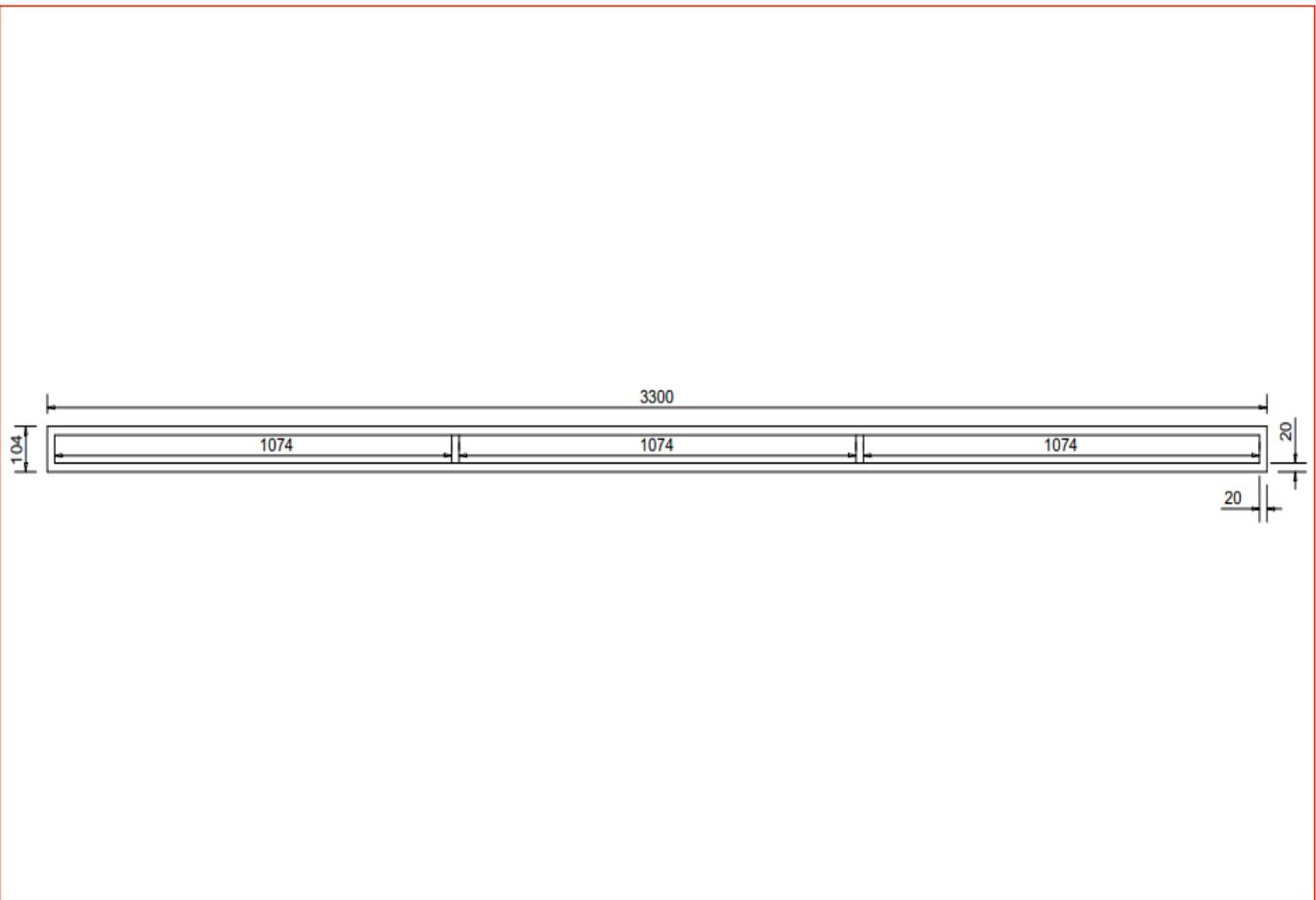
Annexe XVIII Ossature du récepteur vue de face



Annexe XIX Ossature récepteur vue de dessus

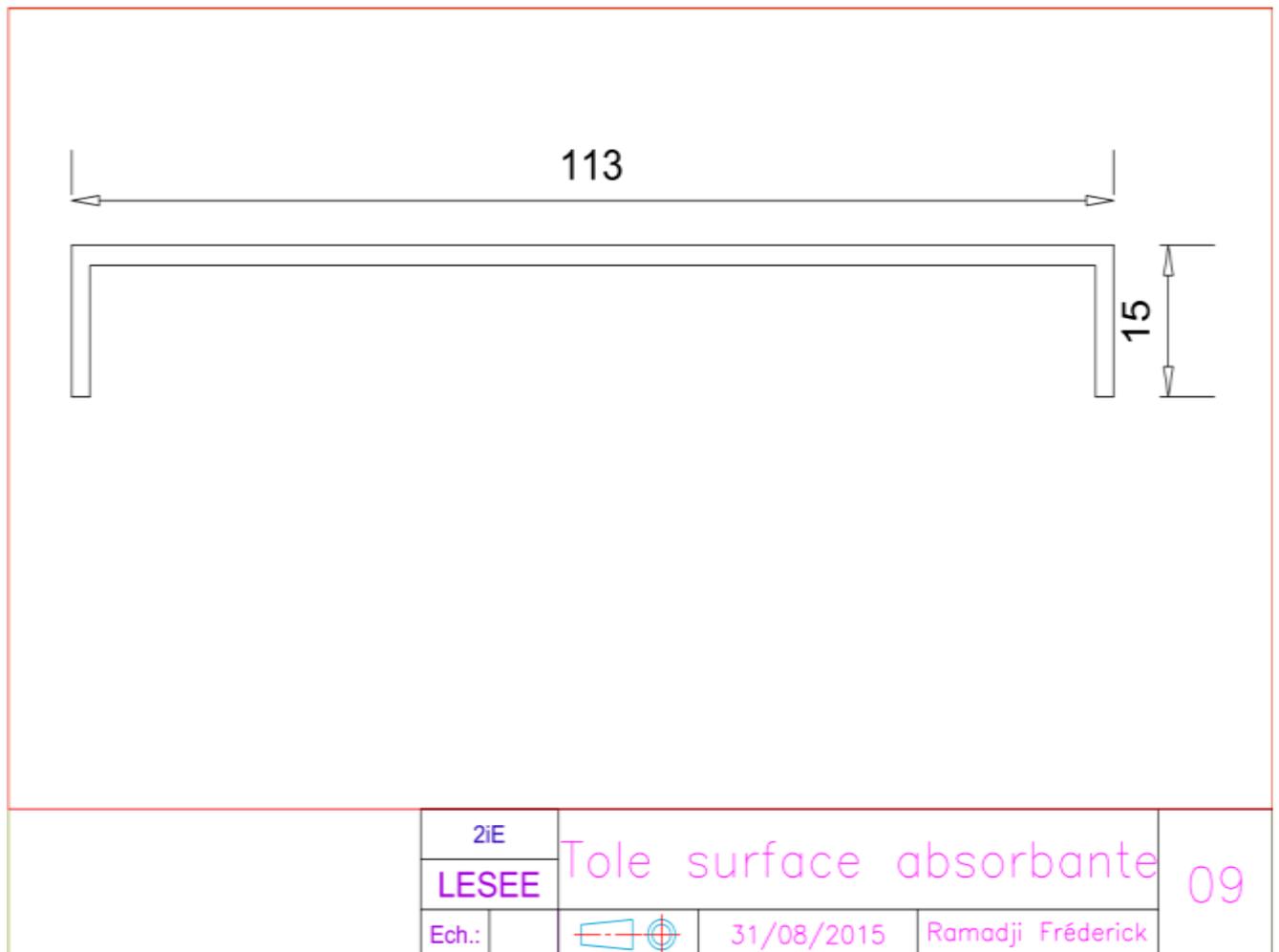


Annexe XX Ossature récepteur vue de droite



	2iE	Ossature vue de droite récepteur			12
	LESEE				
Ech.:			31/08/2015	Ramadji Frédérick	

Annexe XXI Tôle de la surface absorbante



Annexe XXII Propriétés thermo physique des matériaux

Nature	T	ρ	c_p	λ	Nature	T	ρ	c_p	λ
	°C	kg	J kg ⁻¹	W m ⁻¹		°C	kg	J kg ⁻¹	W m ⁻¹
Métaux, alliages et céramiques					Matériaux de construction				
Acier au carbone	20	7833	465	54	Ardoise	20	2400	879	2,2
	200			48	Basalte	20	2850	881	1,6
	600			35	Béton caverneux	20	1900	879	1,4
Acier inox 15%Cr,	20	7864	460	20	Béton plein	20	2300	878	1,75
Acier inox 18%Cr, 8%Ni	20	7816	460	16,3	Bitume (cartonné)	20	1050	1305	0,23
	600			22	Bois feuillus légers	20	525	3143	0,15
Acier inox 25%Cr,	20	7864	460	13	Bois feuillus mi-	20	675	3156	0,23
Alumine	20			29	Bois feuillus très	20	375	3147	0,12
Aluminium	20	2707	896	204	Bois résineux légers	20	375	3147	0,12
	400			249	Bois résineux mi-	20	500	3160	0,15
Argent	20	1052	234	407	Bois résineux très	20	375	3147	0,12
Bronze 75%Cu, 25%Sn	20	8666	343	26	Brique terre cuite	20	1800	878	1,15
Carbone	20			147	Calcaire dur	20	2450	882	2,4
Carbure de silicium	20			13	Calcaire tendre	20	1650	879	1
Chrome	20	2118	7160	449	Carrelage	20	2400	875	2,4
Constantan 60% Cu,	20	8922	410	22,7	Contre-plaqué	20	400	3000	0,12
Cuivre	20	8954	383,1	386	Contre-plaqué pin	20	500	3000	0,15
	400			363	Granite	20	2600	881	3
Duralumin	20	2787	883	164	Gravier (vrac)	20	1800	889	0,7
Etain	20	7304	226	64	Grès	20	2500	880	2,6
Fer	20	7870	452	73	Lave	20	2350	881	1,1
Fonte	20	7849	460	59	Marbre	20	2700	881	2,9
Laiton 70%Cu, 30%Zn	20	8522	385	111	Parquet	20	700	3143	0,2
	400			147	Plâtre	20			0,48
Magnésie	38	270		0,067	Schiste	20	2400	879	2,2
Or	20	1336	19300	129	Matériaux isolants				
Platine	20			72	Balsa	20	85		0,054
Plomb	20	1137	130	35	Copeaux bois	23			0,059
Sodium liquide	100			81,5	Coton	20	80	1300	0,06
Titane	20			16	Kapok	30			0,035
Tungstène	20	1935	134	163	Laine de roche	20	20	880	0,047
Zinc	20	7144	384	112		20	55	880	0,038
Zircone	20			4		20	135	880	0,041