

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : TECHNOLOGIE  
Filière : GENIE ELECTRIQUE  
Spécialité : ELECTROMECHANIQUE

Thème

Dimensionnement et conception mécanique d'un séchoir  
thermique rotative d'engrais

**Présenté Par :**

- 1) MEGUENNI MOHAMED AMIN
- 2) KORIDAK MOHAMED EL AMINE

**Devant les jurys composés de :**

<b>Nehari Driss</b>	<b>Pr C.U.B.B (Ain Témouchent)</b>	<b>Président</b>
<b>Oudad Wahid</b>	<b>Pr C.U.B.B (Ain Témouchent)</b>	<b>Encadrant</b>
<b>ATTOU</b>	<b>Dr C.U.B.B (Ain Témouchent)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Belhamiani Mohamed</b>	<b>Dr C.U.B.B (Ain Témouchent)</b>	<b>Examineur</b>

*Année universitaire 2019/2020*

## **REMERCIEMENTS :**

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin, de par leurs actes ou leurs conseils ont aidé à la réalisation de ce mémoire.

En particulier, nous adressons nos plus vifs remerciements à :

Monsieur : Pr Oudad wahid notre encadreur

Monsieur : Dr Belhamiani Mohamed

Monsieur : Meguenni khalil

Monsieur : Nadir abdefatah

Nos remerciements vont aussi à : nos familles

## **PREAMBULE**

Le PFE représente l'occasion de mettre en confrontation nos connaissances théoriques aux réalités professionnelles.

Ce projet de fin d'études intitulé « conception et réalisation d'un séchoir à cylindre rotatif des engrais » est le prolongement d'une étude qui n'a pas encore atteint le résultat escompté.

Il s'agit ici:

- de maîtriser les caractéristiques techniques du produit à sécher
- d'identifier certains types de séchoir
- de la recherche d'une meilleure alternative technologique de séchoir
- de dimensionner le séchoir (calculs, schéma de principes et plans)
- de dimensionner la chambre de production d'air chaud (calculs)
- d'évaluer financièrement le prototype

Ce mémoire essaiera donc de relater au mieux et de manière chronologique les différentes étapes de la conception d'un séchoir adéquat.

## Sommaire

REMERCIEMENTS : .....	2
PREAMBULE.....	3
Annexe : .....	9
Liste des figures : .....	10
Liste des tableaux : .....	12
Nomenclature : .....	13
I. Introduction générale.....	15
Chapitre I .....	17
Généralité sur les séchoirs Et leur accessoire .....	17
I. Introduction.....	17
II. Le séchage : .....	17
II.1. Historique .....	17
II.2. Domaines d'utilisations .....	18
II.2.1. Industrie agroalimentaire.....	18
II.2.2. Industrie papetière.....	18
II.2.3. Industrie du bois.....	18
II.2.4. Autres domaines.....	18
II.3. Objectif du séchage .....	19
II.4. Terminologie du séchage .....	19
• Humidité.....	19
• Taux d'humidité.....	19
• État de siccité : .....	19
• Taux d'humidité à l'équilibre.....	19
II.5. Modes de séchage.....	19
II.5.1. Séchage par entraînement : .....	20
II.5.2. Séchage par ébullition : .....	21
II.6. Procédés de séchage .....	21
II.6.1. Procédé à courant croisé : .....	21
II.6.2. Procédé à contre-courant : .....	22
II.6.3. Procédé à Co courant : .....	22
II.6.4. Systèmes Mixtes : .....	22
II.7. Les différents types de transfert de chaleur .....	23
II.7.1. Séchage par convection : .....	23

Généralités .....	23
Processus.....	23
II.7.2. Séchage par conduction .....	25
Processus.....	26
II.7.3. Séchage par rayonnement : .....	26
II.8. BILANS : .....	27
II.9. Les appareillages de chaque types de transfert de chaleur .....	29
II.9.1. Séchage par conduction .....	29
• Les sécheurs a tambour rotatif :.....	29
• Les sécheurs à cylindre.....	29
II.9.2. Séchage par convection.....	29
• Les sécheurs à tambour rotatif.....	29
• Les sécheurs à lits fluidisées.....	29
II.9.3. Séchage par rayonnement .....	30
• séchoir solaire direct : .....	30
• Séchoirs solaires indirect.....	31
• Séchoirs hybrides et séchoirs à gaz inventoriés .....	31
III. CARACTÉRISATIONS DES SOLIDES HUMIDES.....	32
III.1. Humidité d'un solide .....	32
III.2. Description du solide humide.....	32
III.3. Les différentes humidités d'un solide .....	33
III.4. Caractéristique de l'air humide : .....	33
IV. Alternatives technologiques.....	37
IV.1. Différents critères pour choisir l'appareil le mieux adapté au séchage d'une substance : .....	37
IV.2. Le séchage rotatif : .....	38
IV.3. La modélisation et le contrôle doit alors prendre en considération plusieurs aspects : .....	38
V. Les accessoires de notre séchoir .....	38
V.1. Le moteur électrique :.....	38
V.1.1. Généralités : .....	39
V.1.2. Description : .....	39
V.1.3. Fonctionnement de moteur : .....	41
• Fonctionnement en charge : .....	41
• Plaque signalétique du moteur : .....	41
• Schéma block d'un moteur a courant continue :.....	42

V.2.	Le convertisseur statique :	42
V.2.1.	Le redresseur :	43
V.2.2.	Domaines d'utilisation :	43
V.2.3.	Quelques applications usuelles :	43
V.2.4.	Les types de redresseur :	43
V.3.	Le thermocouple :	44
V.3.1.	Domain application :	44
V.3.2.	Constitution de thermocouple :	45
V.4.	La ventilateur :	45
V.5.	L'hygrométrie :	45
V.5.1.	Notions fondamentales de mesure de l'humidité :	45
V.5.2.	Capteurs numérique capacitifs d'humidité / température :	46
V.6.	Les capteurs de pesage :	47
V.6.1.	Le choix des capteurs dépend de l'application :	47
V.7.	Carte Arduino :	49
Chapitre 2		52
Les engrais et mode de séchage		52
I.	Introduction :	52
II.	Généralités sur les engrais :	52
II.1.	Définition des engrais :	52
II.2.	Rôle des principaux éléments constituant les engrais :	52
II.2.1.	Les différentes classes des éléments nécessaires à la croissance des végétaux sont :	52
II.2.2.	Catégorisation des engrais :	53
II.2.3.	Typologie des déjections de poulaillers :	53
III.	Les fientes :	53
III.1.	Composition Chimique des fientes :	53
III.2.	Procède de fabrication des engrais (fientes) :	54
IV.	Séchage :	54
IV.1.	Les technologies du séchage :	54
IV.2.	Méthodes de transfert de chaleur :	55
IV.3.	Procédés de séchage :	55
IV.3.1.	Procédé à courant croisé :	55
IV.3.2.	Procédé à contre-courant :	55
IV.3.3.	Procédé à Co courant :	55

IV.4. Appareillage :.....	56
V. Le séchage solaire.....	56
V.1. Types de capteurs solaires : .....	56
V.1.1. Capteurs solaires photovoltaïques :.....	56
V.1.2. Capteurs solaires thermiques :.....	57
VI. Aérovoltaïque :.....	59
VI.1. LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENT DE L’AÉROVOLTAÏQUE.....	59
VI.1.1. les avantages de l’Aérovoltaïque en 2020.....	59
• Production de chauffage .....	59
• <b>Rafrâichissement nocturne</b> .....	59
• <b>Ventilation</b> .....	60
VI.1.2. Les inconvénients de l’Aérovoltaïque .....	60
VII. MODES DE SECHAGE DES ENGRAIS :.....	60
VII.1. Séchage solaire :.....	60
VII.1.1. Le séchoir solaire direct :.....	61
VII.1.2. Le séchoir solaire indirect :.....	61
VII.1.3. Les séchoirs mixtes :.....	62
VII.2. Le séchage par gaz naturel :.....	63
VII.3. Le séchage par une résistance chauffante:.....	64
VII.4. Séchoirs Hybride :.....	64
VII.4.1. Avec un brûleur de biomasse .....	65
VII.4.2. Avec brûleur à gaz GPL.....	65
VII.4.3. Avec un chauffage électrique.....	66
VIII. Comment choisi le type de séchoir : .....	66
VIII.1. Performances thermiques.....	67
VIII.2. Qualité du produit séché.....	67
VIII.3. Coût du séchoir et période d’amortissement .....	67
IX. Quelques paramètres pouvant influencer sur les performances d’un séchoir solaire :.....	68
a) Uniformité du séchage:.....	68
b) Nécessité d’un espace plat:.....	68
c) Nécessité de techniciens et opérateurs qualifiés :.....	68
d) Facilité de construction nécessite et la Sécurité .....	68
Chapitre 3 : Prototypage et installation .....	70
Introduction :.....	70

I.	Séchoir a cylindre rotative :.....	70
I.1.	ETUDE TECHNIQUE DU SECHOIR.....	70
II.	Dimensionnement du cylindre :.....	72
II.1.	Déroulement : .....	72
II.1.1.	Détermination de la masse sèche : .....	72
II.1.2.	Calcul de la quantité de matière humide introduite dans le séchoir .....	73
II.1.3.	Calcul de la quantité d'eau à éliminer : .....	74
II.1.4.	Le volume d'air introduit dans le séchoir est: .....	75
II.1.5.	Le volume d'air évacué du séchoir est: .....	75
II.1.6.	La puissance nécessaire :.....	76
II.2.	Etude de la chambre de chauffage.....	76
II.2.1.	La puissance perdu entre sortie de bruleur et l'entrer du cylindre ( $P_1$ ).....	76
II.2.2.	La puissance perdu par l'évacuation de produit ( $P_2$ ).....	77
II.2.3.	La puissance perdu par les parois du séchoir ( $P_3$ ) .....	77
II.2.4.	la puissance utile de séchoir.....	78
II.2.5.	Le rendement : .....	78
II.2.6.	Calcul du taux de consommation de combustible .....	78
C :	le taux de consommation de combustible (normal $m^3/h$ ) ( $nm^3/h$ ).....	78
III.	Calcul des dimensions du séchoir :.....	80
III.1.	Calcul de la vitesse de rotation du séchoir :.....	80
III.2.	Dimensionnement du mécanisme d'entraînement : .....	82
III.2.1.	Calcul de la puissance motrice : .....	83
III.3.	La puissance de ventilateur : .....	83
III.3.1.	La puissance totale de surcuit : .....	84
IV.	Calcules des dimensions des panneaux : .....	85
V.	Les circuits électrique de source de puissance et de commande : k.....	89
VI.	Le contrôle de notre prototype :.....	90
	Conclusion générale : .....	91
	Références bibliographiques :.....	92



## **Annexe :**

- Vu d'ensemble de séchoir avec SolidWorks
- Mise en plan des pièces du séchoir dans SolidWorks

## Liste des figures :

<a href="#">Figure 1 : Transfère entre l'aire et la surface du produit</a> .....	20
<a href="#">Figure 2 : courant croisé [12]</a> .....	21
<a href="#">Figure 3 : contre courant[12]</a> .....	22
<a href="#">Figure 4 : 12</a> .....	22
<a href="#">Figure 5 : Diagramme represent la décroissance de l'humidité d'un produit</a> .....	24
<a href="#">Figure 6 : schéma reprisantons le bilan matière</a> .....	27
<a href="#">Figure 7 : tente</a> .....	30
<a href="#">Figure 8: la serre</a> .....	30
<a href="#">Figure 9 : Direct cupboard</a> .....	30
<a href="#">Figure 10 : Coquilla</a> .....	31
<a href="#">Figure 11 : Armoire indirecte</a> .....	31
<a href="#">Figure 12 : séchoir hybride</a> .....	31
<a href="#">Figure 13 : séchoir à gaz</a> .....	32
<a href="#">Figure 14 : Diagramme de défirent types de l'humidité</a> .....	33
<a href="#">Figure 15: moteur a courant continue [14]</a> .....	39
<a href="#">Figure 16 : L'inducteur</a> .....	40
<a href="#">Figure 17 : L'induit</a> .....	40
<a href="#">Figure 18 : Collecteur et balais</a> .....	40
<a href="#">Figure 19 : Fonctionnement en charge</a> .....	41
<a href="#">Figure 20 : Plaque signalétique du moteur [ 13 ]</a> .....	42
<a href="#">Figure 21 : Schéma block d'un moteur a courant continue</a> .....	42
<a href="#">Figure 22 : schéma d'un convertisseur statique</a> .....	42
<a href="#">Figure 23 : schéma d'un redresseur [15]</a> .....	43
<a href="#">Figure 24 : Constitution de thermocouple [15]</a> .....	45
<a href="#">Figure 25 : La ventilateur</a> .....	45
<a href="#">Figure 26 : capteur d'humidité / température</a> .....	46
<a href="#">Figure 27 : Capteur de pesage en compression</a> .....	48
<a href="#">Figure 28 : Capteur de pesage en flexion</a> .....	48
<a href="#">Figure 29 : Capteur de pesage à point d'appui central</a> .....	48
<a href="#">Figure 30 : Capteur de pesage en traction</a> .....	48
<a href="#">Figure 31 : Carte arduino UNO</a> .....	49
<a href="#">Figure 32 : Programmation en langage C</a> .....	49

<a href="#">Figure 33 : Programmation par blocs [22]</a> .....	50
<a href="#">Figure 34 : schéma descriptif du sécheur [2]</a> .....	54
<a href="#">Figure 35 : Panneaux photovoltaïque</a> .....	56
<a href="#">Figure 36: Représentation schématique d'un capteur plan à air</a> .....	58
<a href="#">Figure 37 : Représentation schématique d'un capteur à concentration.</a> ....	58
<a href="#">Figure 38 : Panneau aérovoltaique</a> .....	60
<a href="#">Figure 39:Les trois mode de séchage solaire [9]</a> .....	62
<a href="#">Figure 40 : une résistance chauffante</a> .....	64
<a href="#">Figure 41 : Séchoir solaire hybride</a> .....	65
<a href="#">Figure 42 : Diagramme d'un séchoir hybride à biomasse</a> .....	65
<a href="#">Figure 43 : Schéma d'un séchoir hybride à gaz GPL</a> .....	66
<a href="#">Figure 44 : Représentation schématique d'un séchoir solaire avec un réchauffeur électrique [24]</a> .....	66
<a href="#">Figure 45 : Schéma de principe du séchoir rotatif</a> .....	70
<a href="#">Figure 46 : Dessin d'ensemble du séchoir</a> .....	71
<a href="#">Figure 47 : Température de bulbe sec</a> .....	33
<a href="#">Figure 48 : Humidité absolue</a> .....	34
<a href="#">Figure 49 : Pression partielle</a> .....	34
<a href="#">Figure 50 : Température de rosée</a> .....	34
<a href="#">Figure 51 : Humidité relative</a> .....	34
<a href="#">Figure 52 : Enthalpie</a> .....	35
<a href="#">Figure 53 : Température de bulbe humide</a> .....	35
<a href="#">Figure 54 : Masse volumique</a> .....	35
<a href="#">Figure 55 : Le diagramme psychrométrique [26]</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<a href="#">Figure 56 : Courbe pression absorbé /débit</a> .....	84
<a href="#">Figure 57 : Courbe pression totale /débit</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<a href="#">Figure 58 : Courbe puissance absorbée / débit</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<a href="#">Figure 59 : référence de rendement [21]</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<a href="#">Figure 60 : table de pouvoir calorifique</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

### **Liste des tableaux :**

Tableau 1 :Composition Chimique des fientes [10 ] .....	54
Tableau 2 les avantages et les inconvénients .....	61
Tableau 3 : Désignation d'éléments du schéma de principe.....	70
Tableau 4: Désignation d'éléments du cylindre rotatif .....	72
Tableau 5 : relevé a partir de l'équation 2 .....	73

## Nomenclature :

### Lettres latines

b : largeur (m)

$C_p$ : chaleur spécifique à chaleur constante (J/kg.k )

$C_r$  : couple résistant (N .m)

D : diamètre (m)

e : épaisseur (m)

$E_{sp}$  : évaporation spécifique (kg.eau/m<sup>3</sup>.h)

F : force (N)

f: coefficient de frottement

G : débit horaire (kg/h)

$h_i$  : enthalpie spécifique (kcal/kg)

h : coefficient de convection de l'air (w/m<sup>2</sup>.°C)

L : longueur (m)

M : masse (kg)

n : vitesse de rotation (tr/mn)

P : puissance (watts)

$q_{as}$  : quantité d'air sec (kg/h)

Q : quantité de chaleur (kcal)

S : surface (m<sup>2</sup>)

t : temps (mn)

T : température (°C)

$U_e$  : quantité d'eau à éliminer (kg/h)

v : vitesse de rotation (rn/s)

V : volume (m<sup>3</sup>)

$V_i$ : volume d'air introduit (kg/h)

$V_e$  : volume d'air évacué (kg/h)

$V_s$  : volume spécifique (m<sup>3</sup>/kg)

x : titre de l'air (g/kg)

X : taux d'humidité (%)

$X_i$ : teneur en humidité (%)

$P_m$  : puissance de moteur

$P_v$  : puissance de ventilateur

$G_i$  : la quantité de matière humide introduite dans le séchoir

$G_f$  : débit du séchoir

$T_i$  : température initiale du produit

$T_r$  : température finale du produit

$E_v$  : énergie de ventilateur

$E_m$  : énergie de moteur

$P_g$  : puissance globale

$P_t$  : puissance totale(ventilateur moteur)

$n_b$  : nombre de batterie

$n$  : nombre de panneau

### **Lettres grecques**

$\Delta T$  : différence de température ( $^{\circ}C$ )

$\eta$  : rendement (%)

$\Phi$  : puissance thermique (Watts)

$\omega$  : vitesse angulaire (rad/s)

$\nu$  : angle d'inclinaison ( $^{\circ}C$ )

$\theta$  : angle d'enroulement ( $^{\circ}C$ )

$\rho$  : masse volumique ( $kg/m^3$ )

## **I. Introduction générale**

À l'heure actuelle, tous les peuples du monde cherchent à atteindre l'autosuffisance en nutrition, que ce soit au niveau local ou tente d'entrer en concurrence avec les marchés internationaux dans le domaine de la nutrition, mais il n'est pas évident pénétrer ce dernier car, bien sûr, il impose des lois et des procédures strictes en matière de qualité des produits, et cela pour gagner une bonne réputation.

Le produit agricole aujourd'hui dépend principalement de leur croissance sur les engrais, la qualité du produit est dépendue de type d'engrais utilisé, et maintenant le monde entier recherche un produit agricole naturel et cela pour ses bienfaits pour la santé des humains et de la nature. Dans le même contexte, les engrais ont également des contrôles et des normes telles que le rapport azote parce que c'est le critère majeur dans cette équation, lorsque les rapports azote sont élevés, nous devons le diminuer avec un certain type de procédure, il S'agit du séchage ; C'est l'objectifs de notre étude dans ce document.

Dans notre travail, nous avons mené une étude théorique sur tous les aspects du séchoir, et ce dernier c'est un séchoir à tambour rotatif et tapis, notre étude consacré a savoir les caractéristiques techniques pour un bon rendement et un bon fractionnement telle que le débit d'air pénétré, la puissance du moteur et l'énergie nécessaire au fonctionnement de la machine, le manuscrit est structuré de trois chapitres :

Le premier Chapitre : présente une synthèse bibliographique comme la définition de séchage et les différentes modes de séchage ainsi que les domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre : présent des généralités sur les engrais agricoles ainsi que leur mode de séchage.

Le troisième chapitre : consacré complètement sure l'étude et le dimensionnement de notre séchoir telle que le billant thermique ainsi que le dimensionnement des panneaux solaires et à la fin une conclusion générales qui permet de mentionner les points forts de séchoir.

# Chapitre I

## Généralité sur les séchoirs et leurs accessoires



# Chapitre I

## Généralité sur les séchoirs Et leur accessoire

### I. Introduction

Le séchage est considéré comme l'opération unitaire qui consiste à éliminer par évaporation l'eau d'un corps humide (produit). Dans ce chapitre on va présenter les différents types de transfert de chaleur, les caractéristiques de séchage enfin une présentation des différents types de séchoir.

### II. Le séchage :

Nous appelons séchage, l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Le corps humide en jeu peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide, ce qui distingue le séchage de la concentration d'un liquide par évaporation, cas dans lequel le produit final est un liquide concentré. Au cours du séchage, l'eau contenue dans le matériau disparaît peu à peu dans l'air ambiant sous l'action de deux phénomènes : l'évaporation de l'eau et sa diffusion à l'intérieur du matériau. Ces phénomènes sont sous la dépendance des caractéristiques du gaz (air ou vapeur surchauffée) environnant à savoir :

- Sa température.
- Son humidité relative.
- Sa vitesse.
- Sa pression.
- Débit.

L'évaporation de l'eau est un phénomène qui nécessite de la chaleur et qui est d'autant plus intense que la température du matériau est élevée.

#### II.1. Historique

Le séchage est une technique très anciennement utilisée pour la conservation des produits agricoles et alimentaires (céréales, graines, fourrages, viandes et poissons séchés, jambons, figes, noix, tabac, etc.), ou pour l'élaboration des matériaux (briques de terre sèche, céramiques, poterie avant cuisson, bois,...), ou pour les textiles (lavage, teinture,...) et les peaux. Pour ces applications traditionnelles, on fait encore beaucoup appel au séchage par l'air ambiant dit « naturel », le séchage dit « artificiel » avec apport d'énergie, n'étant qu'une technique complémentaire apportant une plus grande régularité face aux aléas

climatiques, ou bien apportant de nouveaux services (lait sec ou café dits « instantanés », pâtes alimentaires sèches à longue conservation, etc.)[17]

## **II.2. Domaines d'utilisations**

### **II.2.1. Industrie agroalimentaire**

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage. Le séchage peut être une étape nécessaire à la production du produit ou un rôle dans la conservation de l'aliment.

Il existe moins de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire. On peut citer par exemple :

- les pâtes alimentaires
- le sucre cristallisé est obtenu par évaporation
- les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation
- le sel (gisement minier) est concassé, dissout, épuré avant d'être essoré et enfin séché jusqu'à devenir du sel raffiné.
- Certains produits en poudre : cacao, lait.

### **II.2.2. Industrie papetière**

Le papier est obtenu par séchage de la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

### **II.2.3. Industrie du bois**

Le bois qui vient d'être abattu et scié contient un fort degré d'humidité qui interdit son utilisation immédiate dans les conditions correctes, sinon on s'expose à des changements de taille et de forme du bois [17]

### **II.2.4. Autres domaines**

- séchage de produits chimiques solides, obtenus par des réactions en milieu liquide par précipitation ou par cristallisation ou par concentration
- séchage de boues d'épuration, et de sous-produits ;
- séchage de textiles, lavage, teinture,...
- mise en forme de poudre, granulation (engrais, lessives,...).

### II.3. Objectif du séchage

L'objectif du séchage est très divers selon la filière envisagée, comme :

- la stabilisation du produit (bois) ;
- la réduction du volume et la facilité du transport du produit ;
- la mise en forme du produit (granulés, spaghetti)

### II.4. Terminologie du séchage

- **Humidité** : Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide, et devant être éliminé au cours du séchage
- **Taux d'humidité** : C'est la masse de liquide contenue par unité de masse de matière à sécher. Bien qu'il soit fait très souvent référence à la matière humide, il est préférable d'exprimer le taux d'humidité par rapport à la matière anhydre.
- **État de siccité** :
  - Un corps anhydre est un corps dont le taux d'humidité est nul.
  - Un corps sec ou séché correspond plus généralement au produit tel qu'il est obtenu à la sortie du sécheur. Dans ce dernier cas, le taux d'humidité n'est pas forcément nul.
- **Taux d'humidité à l'équilibre** : Un corps humide, placé dans une enceinte de volume important où l'humidité relative et la température sont constantes, voit son taux d'humidité se stabiliser à une valeur dite d'équilibre qui dépend de la nature de l'humidité et de celle du produit qui en est imprégné, mais aussi de la pression partielle et de la température.[4]

### II.5. Modes de séchage

Deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour évaporer l'eau d'un produit : l'ébullition ou l'entraînement. L'idée la plus simple consiste à porter le produit à la température d'ébullition de l'eau, qui alors se vaporise. Mais pour obtenir une élimination poussée de l'eau sans altération excessive de la qualité des produits, on préfère bien souvent opérer à température plus basse en utilisant l'air comme gaz d'entraînement. Quel que soit le mode de séchage, c'est la pression de vapeur d'eau dans le produit qui détermine les échanges entre l'air et le produit.

### II.5.1. Séchage par entraînement :

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que :

- le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation;
- l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau. La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et est ensuite entraînée par le gaz.

Le produit se met spontanément à une température telle que les transferts de chaleur permettent l'évaporation d'un débit d'eau égal à celui capable de traverser la couche limite (compte tenu de ce qu'une petite partie de la chaleur est utilisée à échauffer le produit). Il est important de souligner que la température de surface du produit reste toujours inférieure ou égale à celle de l'air et donc nettement inférieure à la température d'ébullition de l'eau.

Dans le cas où toute l'énergie est apportée au produit par convection à partir de l'air chaud et où il n'y a pas de perte de chaleur, le séchage est dit « isenthalpique » : l'énergie nécessaire à la vaporisation est exactement celle apportée par l'air chaud. La température à laquelle se met le produit ne dépend que des caractéristiques de l'air et de l'activité de l'eau ( $a_w$ ) de la surface du produit.

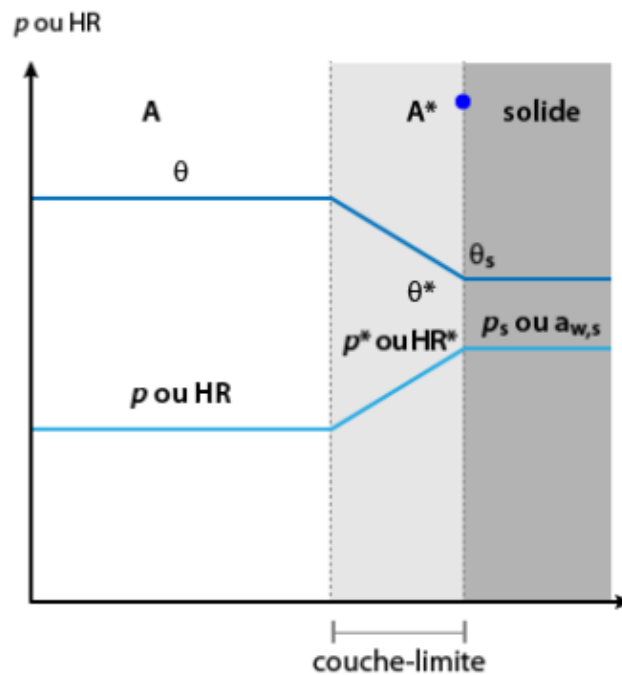


Figure 1 : Transfère entre l'aire et la surface du produit

### II.5.2. Séchage par ébullition :

L'ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée (par conduction sur une surface chaude, par rayonnement, par de la vapeur d'eau surchauffée, par immersion dans de l'huile chaude) à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale à la pression totale ambiante :

$$p = p_t$$

Il découle de cette définition que :

la température d'ébullition dépend de la pression totale (elle est plus basse sous vide qu'à pression atmosphérique) et de l'activité de l'eau du produit (elle augmente lorsque ( $a_w$ ) diminue), selon la formule

$$p = a_w p_{\theta'} = p_t$$

$p_{\theta'}$  : étant la pression de vapeur saturante de l'eau pure à la température  $\theta$ . [8]

Ce mode de séchage utilisé pour :

- séchage par contact à fort flux
- séchage par vapeur d'eau surchauffée
- flux de rayonnement est élevé.

## II.6. Procédés de séchage

Les procédés de séchage se distinguent par la manière dont est réalisé le contact entre la matière et l'air de séchage :

### II.6.1. Procédé à courant croisé :

L'air de séchage se déplace perpendiculairement à la direction du mouvement du produit, ce mouvement est assuré, soit par système mécanique (godet, wagon, bande perforée, sole perforée vibrante), soit par fluidisation du produit au moyen de l'air de séchage, ce procédé est utilisé dans le cas où les produits ont une faible résistance mécanique.

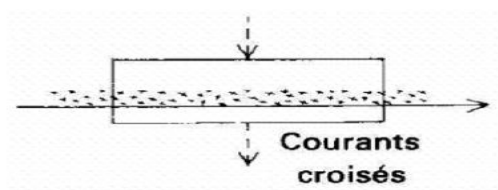


Figure 2 : courant croisé [12]

### II.6.2. Procédé à contre-courant :

Le produit humide entrant vient en contact d'un gaz refroidi et chargé d'humidité, le gaz chaud vient au contact de produit séché. Il peut arriver que le point de rosée soit atteint sur la surface du produit, ce procédé s'applique dans le cas où le produit humide ne supporterait pas la chaleur.

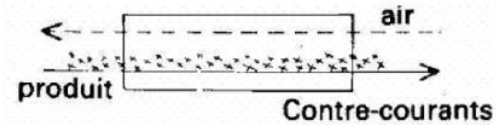


Figure 3 : contre-courant [12]

### II.6.3. Procédé à Co courant :

Les gaz chauds rencontrent le produit humide a son entrée dans le sécheur .la différence de température permet une évaporation rapide a l'entrée du sécheur. La température des gaz diminue, ce type de séchage est recommandé pour les produits :

- Résistant au contact des gaz
- Sensible à la température

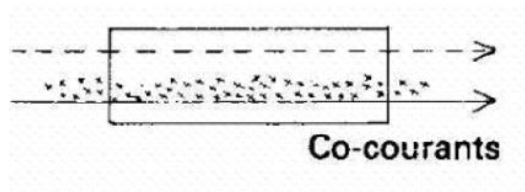


Figure 4 : co-courants [12]

### II.6.4. Systèmes Mixtes :

Les systèmes mixtes sont des sections à **co-courant** + **contrecourant** avec des recyclages partiel d'air sur le séchoir.[12]

## II.7. Les différents types de transfert de chaleur

### II.7.1. Séchage par convection :

#### Généralités

C'est le mode de séchage le plus fréquent dans l'industrie chimique : on envoie sur la matière à sécher un courant gazeux chaud (le plus sec possible) qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et entraîne la vapeur formée. La température du gaz diminue entre l'entrée et la sortie alors que c'est le contraire pour le solide.

Dans un procédé en continu deux sens de circulation sont possibles pour le gaz et le solide à sécher. La circulation à contre-courant est toujours la plus efficace et permet un séchage plus poussé. L'inconvénient est par contre de mettre en présence à une extrémité du sécheur le gaz à sa température la plus élevée (le moins humide) avec du solide ayant l'humidité la plus faible. Le risque de détérioration du produit est donc important pour un produit thermosensible. Par contre pour un séchage à co-courant le séchage est le plus intense quand le gaz chaud est en contact avec le solide ayant l'humidité la plus forte: le risque d'altération du produit diminue alors fortement.

#### Processus

Si on considère un solide humide placé dans un courant d'air gazeux on observe au cours de l'opération de séchage trois périodes distinctes:

- une phase de mise en température du solide
- une phase de séchage à vitesse constante
- une phase de séchage à vitesse décroissante

L'étude de la phase à vitesse constante montre que cette phase est comparable à ce que serait l'évaporation d'eau si aucun solide n'était présent : on se trouve dans le cas où soit il y a beaucoup d'eau à la surface du solide soit la diffusion de l'eau de l'intérieur du solide vers la surface est suffisamment rapide.

Durant cette phase on considère que le séchage s'effectue de manière adiabatique car il n'y a aucun échange de chaleur avec l'extérieur. La chaleur latente de vaporisation de l'eau est entièrement fournie par le refroidissement de l'air chaud. Le processus s'effectue donc à enthalpie constante. L'air chaud dans le diagramme de l'air humide va donc évoluer sur une isenthalpe (droite de saturation adiabatique): la chaleur perdue par refroidissement est entièrement compensée par l'apport de l'enthalpie de la vapeur d'eau composée d'un terme dû à sa formation par évaporation et d'un terme beaucoup plus faible dû à son

réchauffement (l'échauffement du solide est négligeable dans cette phase si les températures de l'air ne sont pas trop élevées).

Pendant cette période la température du solide reste constante et égale à la température humide de l'air.

Remarque: On montre que dans le cas de l'eau, la température humide est égale à la température de saturation adiabatique de l'air.[5 ]

Les facteurs qui augmentent la cinétique sont :

- la diminution de l'humidité absolue de l'air de séchage
- l'élévation de la température de l'air de séchage
- l'augmentation du coefficient de transfert thermique par une augmentation de la vitesse de circulation de l'air
- l'augmentation de la surface spécifique du solide ce qui entraîne une augmentation de la surface d'échange

Pendant cette période la nature du solide et sa structure interne (pores, interstices) n'interviennent pas.

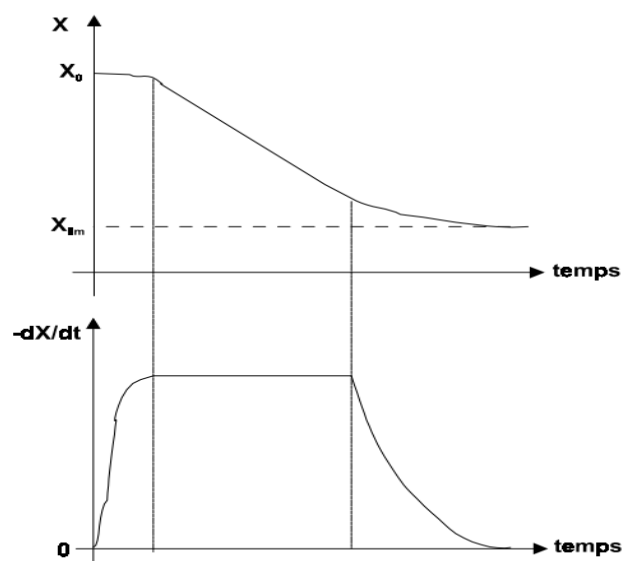


Figure 5 : Diagramme représente la décroissance de l'humidité d'un produit

En fait l'air n'atteint jamais la température de saturation adiabatique puisque la vitesse commence à décroître à partir d'une humidité  $X_c$  (humidité critique) et finit par tendre vers une vitesse nulle. Pendant cette période la tension de vapeur du liquide imprégnant le solide est inférieure à celle existant pour un liquide seul présent.



L'humidité superficielle n'est plus renouvelée assez rapidement car le séchage progressant, il faut alors éliminer l'eau provenant de l'intérieur du solide : le trajet de la vapeur d'eau vers la surface devient de plus en plus long et les phénomènes de diffusion deviennent cette fois limitant. Cette diffusion devient d'autant plus lente qu'un phénomène de croûtage apparaît parfois en surface. La vitesse s'annule quand l'humidité du solide devient égale à  $X_{lim}$  ce qui correspond à une valeur d'équilibre pour l'air de séchage utilisé.

Pendant cette phase les conditions opératoires liées à l'air perdent de leur importance. On assiste à un échauffement du solide. [5 ]

Dans tous les cas, le mouvement du fluide favorise l'intensité du transfert. La loi fondamentale de la convection est la loi de Menton

$$d\Phi = h ds(T_{chaud} - T_{froid})$$

h est le coefficient superficiel d'échange thermique.

h a pour unité ( $w/m^2 \text{ } ^\circ k$ ) ou ( $kcal/hm^2 \text{ } ^\circ c$ ) ou ( $Btu/hrft^2 \text{ } ^\circ F$ ).

Remarque : h n'est pas une entité mesurable en soit même c'est l'aboutissement d'un calcul au préalable.  
[6]

### **II.7.2. Séchage par conduction**

Le produit à sécher se trouve en contact avec une paroi solide portée à une température élevée par chauffage (fumées, vapeurs d'eau...). La conduction à travers la paroi et la matière entraîne une augmentation de la température du composé à sécher: le liquide se vaporise donc par évaporation ou par ébullition si il atteint sa température d'ébullition.

Les vapeurs formées sont soit aspirées (cas du séchage sous pression réduite qui abaisse la température d'ébullition), soit entraînées par un gaz de balayage dont le débit est très faible par rapport à celui utilisé dans le cas d'un chauffage par convection. La couche de solide en contact avec la paroi est d'abord séchée puis il y a ensuite une augmentation de l'épaisseur de la couche sèche en cours d'opération.

Ce type de séchage est intéressant quand on souhaite récupérer le solvant évaporé pour le récupérer (pour le recycler ou pour éviter le rejet d'effluents polluants). En effet la condensation d'un solvant est toujours beaucoup plus facile quand il n'est pas mélangé à un gaz.

Le séchage sous pression réduite permet de traiter des produits facilement oxydables à une température élevée. Il est aussi très intéressant pour le séchage des substances thermosensibles qui ne supporteraient pas longtemps une température élevée.

### Processus

On retrouve comme pour le séchage par convection deux périodes dans le cas d'un séchage discontinu:

- dans un premier période la vitesse de séchage est constante; la transmission de chaleur par conduction est alors suffisamment rapide pour compenser la chaleur perdue par la vaporisation du liquide.
- dans une seconde période la vitesse de séchage ralentit. Le séchage ayant progressé, l'humidité du solide diminue ce qui provoque aussi une diminution de la tension de vapeur du liquide imprégnant le solide (elle devient inférieure à celle de l'air saturé). Dans ces conditions la température d'ébullition augmente ce qui diminue la vitesse de séchage pour un apport de chaleur constant par conduction. De plus le coefficient de transfert dans le solide devient de plus en plus faible car l'épaisseur de la couche sèche augmente.[5 ]

- **Loi de Fourier :**

$$d\Phi = -\lambda s \frac{dT}{dl} \rightarrow dq = -\lambda \frac{dT}{dl}$$

Et plus généralement la densité du flux donne par :

$$\text{flux}_D = -\lambda \text{grad } T$$

Le signe (-) : la propagation de la chaleur s'effectue dans le sens opposé du gradient de température.

$\lambda$  : est la conductivité thermique. ( $\lambda$  en  $\text{w/m } ^\circ\text{K}$  ou  $\text{kcal/hm } ^\circ\text{c}$  ou  $\text{Btu/hrft } ^\circ\text{F}$ .) [6]

### II.7.3. Séchage par rayonnement :

Ce mode de séchage convient aux produits en plaques ou en films, donc de faible épaisseur. L'apport d'énergie s'effectue par ondes électromagnétiques 11 générées soit par des dispositifs électroniques (micro-ondes) soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge.

En infrarouge le chauffage se manifeste sur des épaisseurs très faibles (500  $\mu\text{m}$ ). Avec des micro-ondes on peut sécher à des épaisseurs plus importantes. Le champ électromagnétique véhiculé par ces fréquences excite les molécules d'eau: l'agitation moléculaire qui en résulte provoque des chocs intermoléculaires. Cela entraîne un échauffement du produit et donc la vaporisation des molécules d'eau.

Le séchage par micro-ondes est encore peu fréquent dans l'industrie chimique: il présente les avantages d'être propre et facile à réguler. De même son action s'effectue sur le volume du solide ce qui diminue les risques de croûtage en surface.

- **La loi fondamentale du rayonnement est la loi de Stephan Boltzman.**

$$d\Phi_{emis} = \Sigma \sigma T^4 ds$$

$\sigma$  : est la constante de Stephan Boltzman.

$$\sigma = 4.92 * 10^{-8} \text{kcal/hm}^2 \text{k}^4$$

$\Sigma$  : l'émissivité de la surface.

T : sa température en °k

Et dS est la surface à travers laquelle s'effectue l'échange. [6]

## II.8. BILANS :

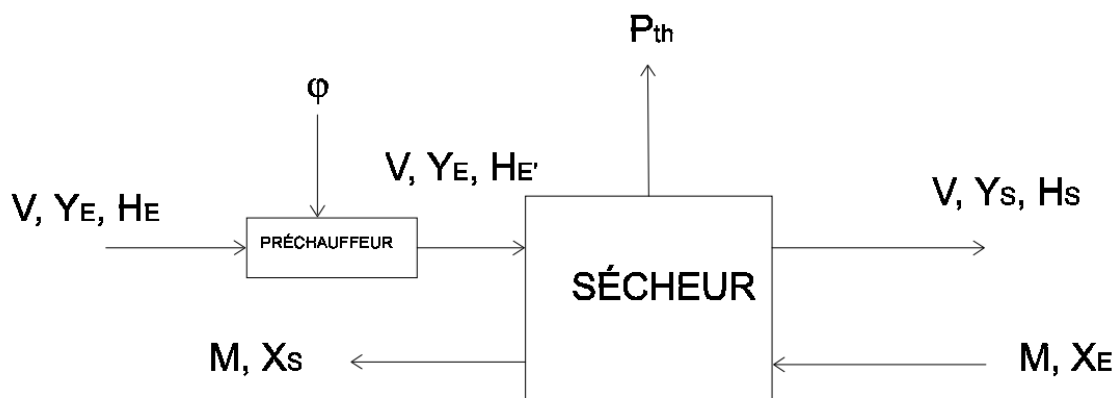


Figure 6: schéma reprisantons le bilan matière

Les notations suivantes sont utilisées :

- V: débit massique de gaz sec
- M: débit massique de solide sec
- X : humidité du solide
- Y: humidité absolue de l'air
- H: enthalpie de l'air humide

On considère un procédé continu par convection où un produit d'humidité  $X_E$  à l'entrée du sécheur est séché par un air d'humidité absolue  $Y_E$  à l'entrée du préchauffeur. Le préchauffeur sert à augmenter la température de l'air avant son entrée dans le sécheur. Il faut remarquer que ce préchauffage ne modifie pas l'humidité absolue de l'air.

Le bilan matière sur l'eau permet notamment de déterminer le débit d'air sec permettant d'éliminer 1 kg d'eau :

$$M * X_e + V * Y_e = M * X_s + V * Y_s$$

donc si on note  $W$  le débit massique d'eau évaporée, on obtient:

$$M * (X_e - X_s) = V * (Y_s - Y_e) = W$$

Ceci revient à dire que l'eau enlevée à la matière à sécher a été éliminée par l'air.

D'où pour éliminer 1 kg d'eau, il faut utiliser  $\frac{1}{Y_s - Y_e}$  kg d'air sec et 1 kg d'air sec permet l'élimination de  $Y_s - Y_e$  kg d'eau

Le bilan thermique est plus délicat et nécessite l'utilisation des enthalpies; on considère dans ce cas comme système le préchauffeur et le sécheur. On prend en compte comme "débits enthalpiques" d'entrée les enthalpies relatives aux entrées du solide "humide" et du gaz "sec", la puissance thermique fournie par le préchauffeur  $\phi$  et comme "débits enthalpiques" de sortie les enthalpies relatives aux sorties du solide "sec" et du gaz "humide", la puissance thermique dissipée par pertes thermiques  $P_{th}$ .

Un cas d'étude intéressant concerne le séchage par convection dans la phase de vitesse constante. Si on se place dans l'hypothèse d'un processus adiabatique, on admet alors qu'il n'y a pas de pertes thermiques et que le solide ne subit aucune variation de température entre l'entrée et la sortie du sécheur. Dans ce cas, la phase dans le sécheur proprement dit est adiabatique et le seul apport d'énergie est la puissance thermique au préchauffeur  $\phi$  qui permet la vaporisation d'un débit massique d'eau  $W$ . L'air humide "évoluant" sur une isenthalpe pendant ce séchage, on a:

$$H_S = H_{E'}$$

On en déduit:

$$\phi = V(H_{E'} - H_E)$$

Dans ce cas la chaleur à fournir au préchauffeur pour vaporiser 1 kg d'eau est:

$$\Phi = \frac{HE' - HE}{YS - YE} \quad [5]$$

## II.9. Les appareillages de chaque types de transfert de chaleur

### II.9.1. Séchage par conduction

Les étuves constituent un exemple de sécheurs en discontinue : elles conviennent pour de faibles quantités ou pour des produits couteux exigeant des conditions de séchage très particulières.

On peut donner deux exemples de sécheurs continus :

- **Les sécheurs a tambour rotatif** : Ils sont constitués par un long cylindre légèrement incliné tournant à l'intérieur d'une enceinte chauffée par des gaz de combustion d'un bruleur. le solide descend sous l'action de la gravité et de l'entraînement. le mouvement de rotation permet le renouvellement du solide au niveau des surfaces chauffantes. ils sont très appropriés pour des produits minéraux supportant des températures élevées.
- **Les sécheurs à cylindre** : Ils sont constitués de cylindres creux animés d'un lent mouvement de rotation et chauffés à l'intérieur par un fluide caloporteur. la matière à sécher s'écoule entre les cylindres. ils conviennent pour les produits sous forme de films (textiles, papier, matières plastiques)

### II.9.2. Séchage par convection

On distingue pour les sécheurs discontinus ceux fonctionnant par léchage (courant de gaz parallèles a la matière) et ceux fonctionnant par traversée (courant de gaz perpendiculaires à la matière) Deux exemples importants de sécheurs continus peuvent être indiqués :

- **Les sécheurs à tambour rotatif** : Ils présentent de grandes analogies avec les sécheurs du même type fonctionnant par conduction, mais ici l'air chaud est directement en contact avec le produit .ce séchoir est adapté aux produits pulvérulents non collants.
- **Les sécheurs à lits fluidisées** : Ce séchoir convient pour des poudres divisées qui sont placées sur un support poreux. Un courant d'air chaud est soufflé sous la couche de matière et un lit fluidisé s'établit, les échanges thermiques sont alors intenses et l'efficacité du séchage est très grande.

### II.9.3. Séchage par rayonnement

les rayons du soleil jouent le rôle de chambre de combustion on en déduit deux types de séchage direct et indirect

- séchoir solaire direct :

- a - la tente :

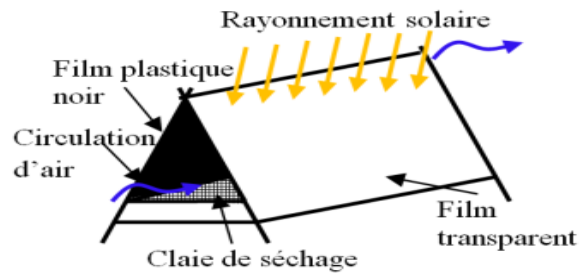


Figure 7 : tente

- b- la serre :

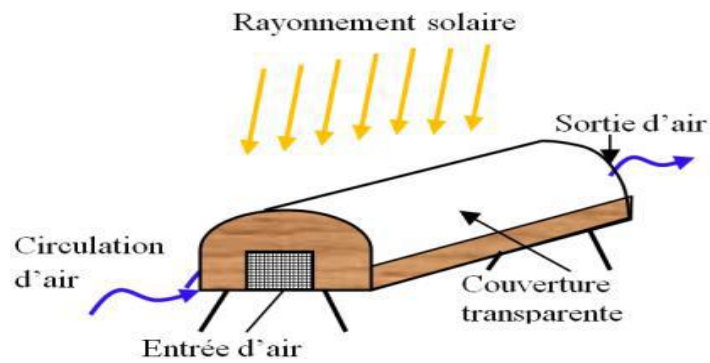


Figure 8: la serre

### C - Direct cupboard :

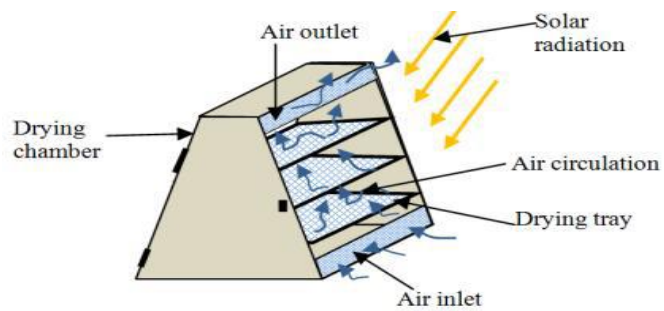


Figure 9 : Direct cupboard

- Séchoirs solaires indirect :

- a- Coquilla

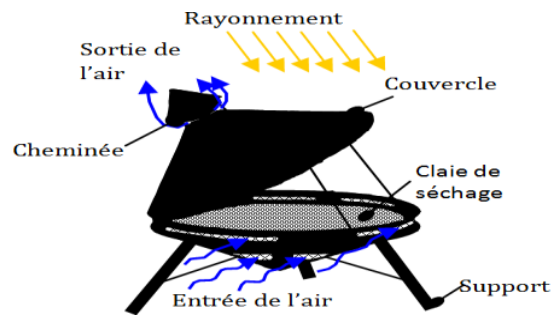


Figure 10 : Coquilla

- b- Armoire indirecte

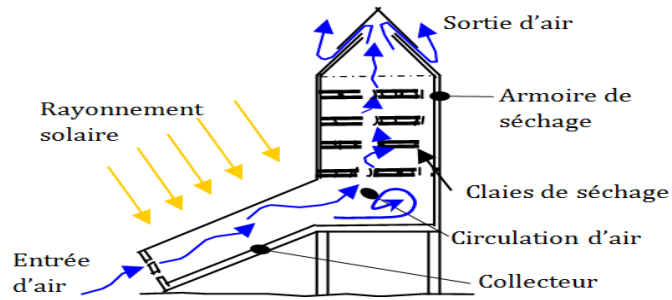


Figure 11 : Armoire indirecte

- Séchoirs hybrides et séchoirs à gaz inventoriés :

- a- séchoir hybride :

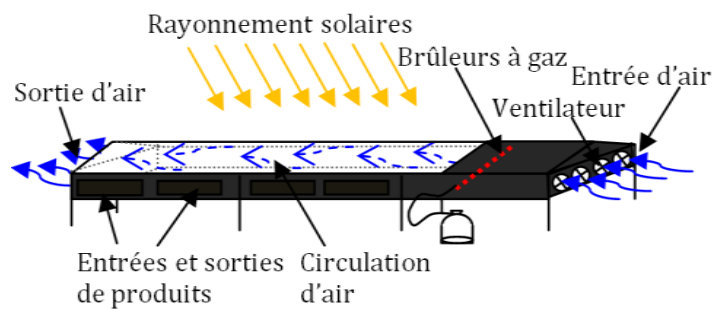


Figure 12 : séchoir hybride

## b- séchoir à gaz :

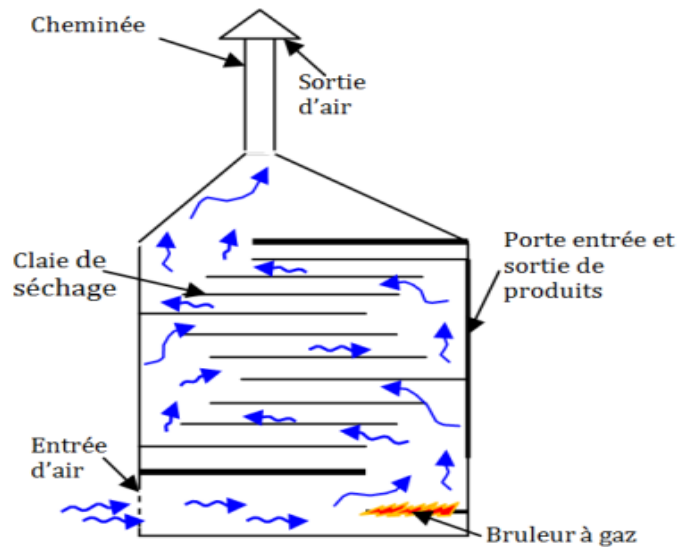


Figure 13 : séchoir à gaz

## III. CARACTÉRISATIONS DES SOLIDES HUMIDES

### III.1. Humidité d'un solide

On définit l'humidité d'un solide comme la masse d'eau en kg associée à 1 kg de solide sec (c'est en fait l'expression d'un rapport massique). On utilise fréquemment des pourcentages.

### III.2. Description du solide humide

Avant le séchage un solide humide peut se représenter schématiquement comme sur la figure suivante. Le solide a un film d'eau adhérent à sa surface externe par des forces superficielles. Une couche limite à la périphérie du solide est constituée par de l'air saturé en eau, c'est à dire de l'air contenant de la vapeur d'eau à une pression partielle égale à la tension de vapeur d'une eau qui serait seule présente dans une enceinte, à la même température. C'est la valeur maximale que peut prendre la tension de vapeur de l'eau à cette température.

L'eau peut aussi se retrouver localisée à la surface ou au fond des pores: les forces qui la retiennent sont alors beaucoup plus fortes et ont trait à des phénomènes complexes de capillarité. Plus les pores sont de petites tailles, plus ces forces sont intenses.



### III.3. Les différentes humidités d'un solide

Si un solide d'humidité  $X' > X^*$  est soumis à un courant gazeux constant d'humidité relative  $i$ , il perd de l'eau jusqu'à ce que son humidité devienne égale à  $X^*$  (humidité du solide correspondant à l'équilibre avec l'air). Même en prolongeant le passage du courant gazeux on ne peut sécher plus et descendre en dessous de  $X^*$ . L'intervalle  $X' - X^*$  correspond à l'**humidité libre** c'est à dire à l'humidité susceptible d'être enlevée au solide placé dans de l'air d'humidité relative  $i$ .

On distingue l'humidité liée ( $X < X_c$ ) et l'humidité non liée ( $X > X_c$ ) : l'humidité liée correspond au domaine hygroscopique du solide.

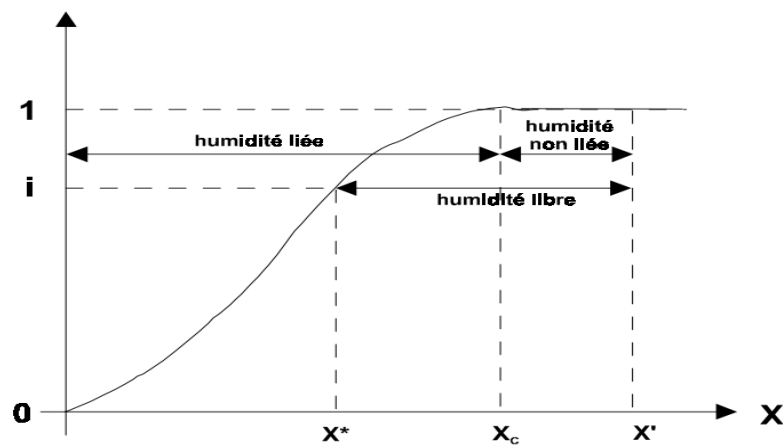


Figure 14 : Diagramme de différents types de l'humidité

### III.4. Caractéristique de l'air humide :

Pour faciliter la représentation des transformations de l'air et le calcul des différents éléments de l'installation de climatisation on utilise le "**diagramme psychométrique**" de l'air humide.

Un tel diagramme précise, pour tous les états que peut occuper l'air humide, ses caractéristiques physiques :

#### Température de bulbe sec

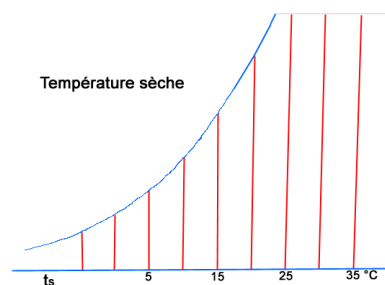


Figure 15 : Température de bulbe sec

## Humidité absolue

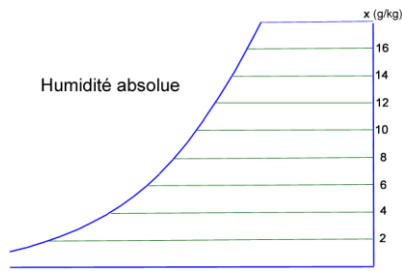


Figure 16 : Humidité absolue

## Pression partielle

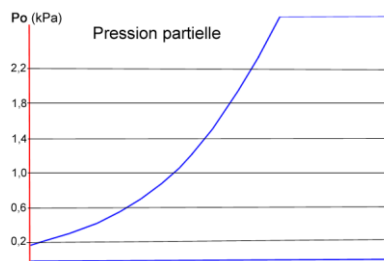


Figure 17 : Pression partielle

## Température de rosée

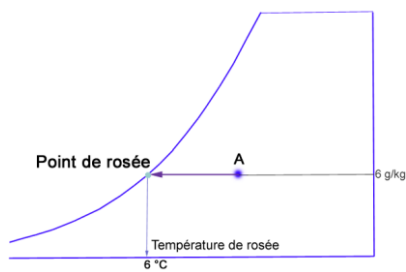


Figure 18 : Température de rosée

## Humidité relative

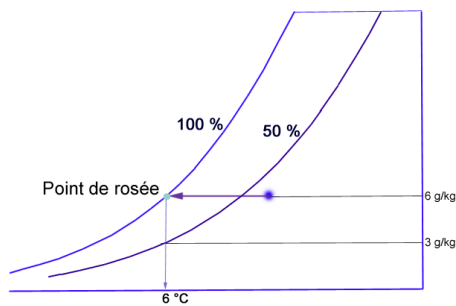


Figure 19 : Humidité relative

**Enthalpie**

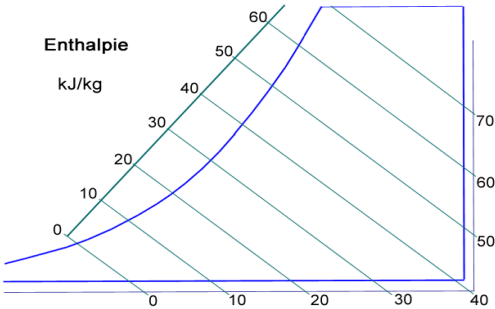


Figure 20 : Enthalpie

**Température de bulbe humide**

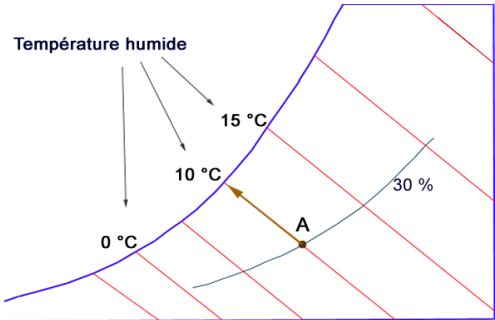


Figure 21 : Température de bulbe humide

**Masse volumique**

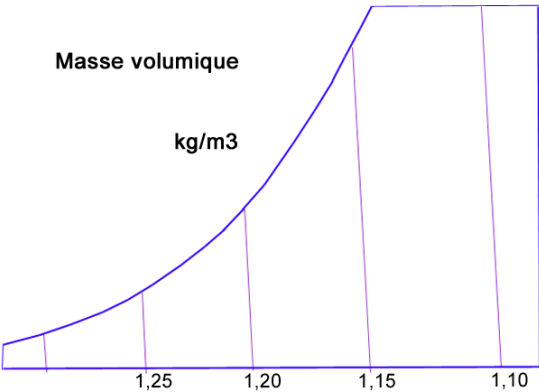
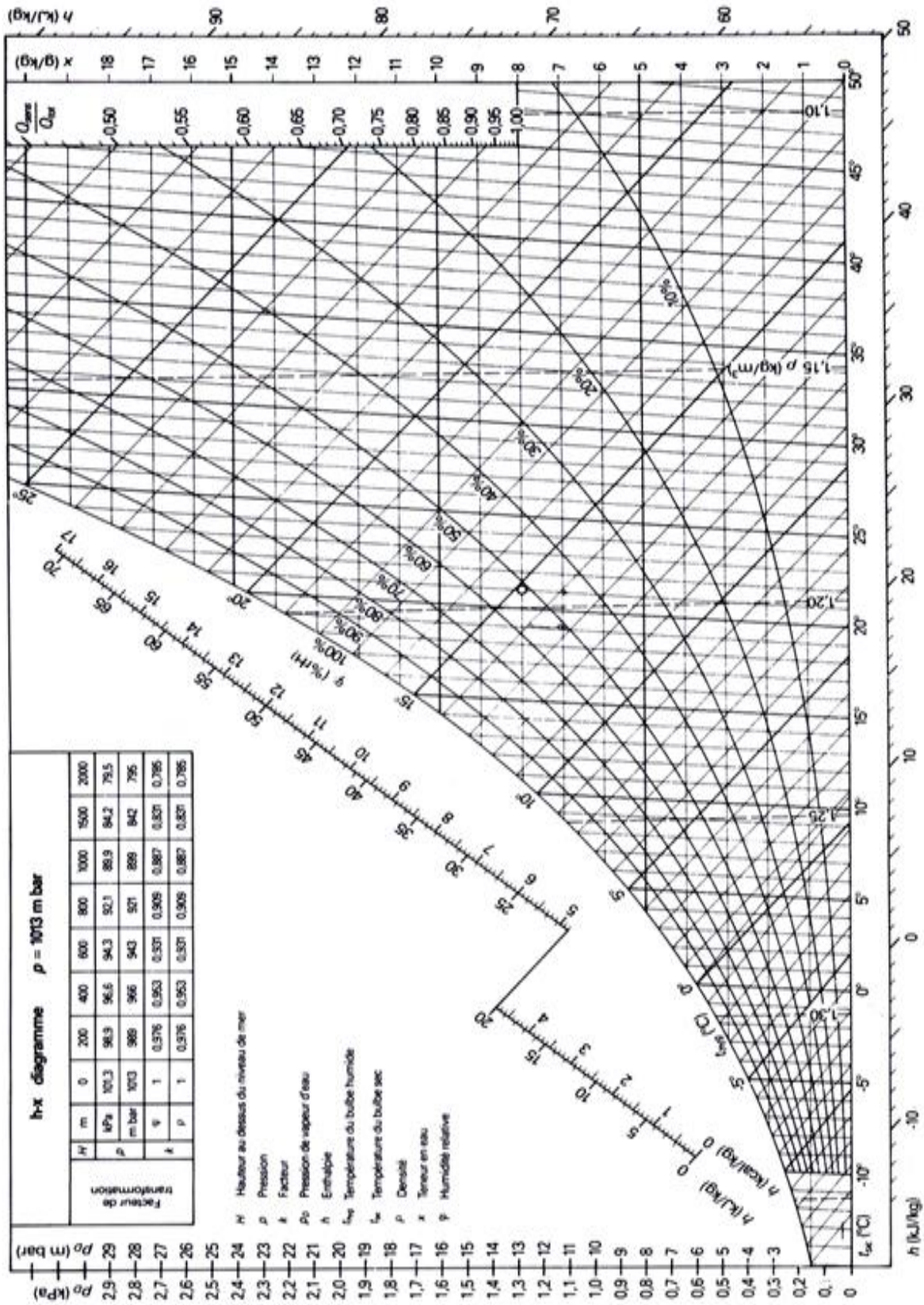


Figure 22 : Masse volumique

Le diagramme psychrométrique :



## IV. Alternatives technologiques

Aucun de ces types de séchoirs présentés ne répond exactement aux critères que nous nous sommes fixés pour mettre en exergue les contraintes et les exigences du milieu telles que:

- les engrais de consommation de masse dont le prix d'achat est un facteur de vente déterminant, il doit donc être suffisamment attractif des entreprises dont la capacité d'appropriation technique sont encore limitées pour la plupart. La mutation technique doit donc être accompagnée et suivie avec les opérateurs pour éviter le parachutage.

Une évolution des capacités de production assez variable, selon les entrepreneurs, mais qui correspondent à des moyens techniques restant du domaine artisanal ou semi industriel.

Des ressources financières encore limitées obligent à réfléchir à des séchoirs constructibles localement.

Le potentiel technologique (compétences et pièces détachées de la sous région) est à ce titre un facteur majeur pour travailler sur des séchoirs adaptés à notre environnement. C'est la raison pour laquelle, nous nous proposons d'approfondir nos travaux de recherche sur un modèle de séchoir à cylindre rotatif.

Les séchoirs à cylindre rotatif ne datent pas d'aujourd'hui. Les tambours rotatifs sont essentiellement constitués par un tambour cylindrique ou conique, chauffé extérieurement et dans lequel la matière est mise continuellement en mouvement soit par rotation du tambour, soit par des palettes propulsives, soit par des mouvements combinés des tambours et des palettes, celles-ci pouvant tourner en sens inverse du tambour ou dans le même sens que lui. Dans les tambours coniques, il y a progression de la matière par l'inclinaison des parois. Dans ces séchoirs, la matière est non seulement remuée, mais elle progresse d'une extrémité à l'autre du tambour. Leur application était essentiellement basée sur le séchage des argiles des cailloux etc.

### IV.1. Différents critères pour choisir l'appareil le mieux adapté au séchage d'une substance :

- Le mode de fonctionnement de l'appareil.
- La nature et la qualité du produit à sécher.
- La source de chaleur et le mode de transmission.
- La consommation d'énergie.
- Le coût de séchage [2]

## **IV.2. Le séchage rotatif :**

Le séchage rotatif est sans doute une des plus anciennes et plus communes des opérations unitaires dans les processus industriels. Les sécheurs rotatifs sont fiables mais ils sont caractérisés par leur faible rendement sur le plan énergétique, ceci à une grande influence du point de vue financier et écologique. Le développement d'un système de contrôle pour le sécheur rotatif peut permettre une utilisation plus efficace du sécheur avec un grand rendement. La compréhension approfondie du processus de séchage rotatif est difficile car c'est un processus très complexe qui inclut le mouvement du solide dans le cylindre en plus du séchage thermique du produit, on doit donc modéliser et contrôler les mouvements physiques (déplacement du produit le long du sécheur) et les réactions chimiques (séchage de la matière) qui ont lieu simultanément dans le sécheur.

## **IV.3. La modélisation et le contrôle doit alors prendre en considération**

### **plusieurs aspects :**

- Le sécheur n'est qu'une partie d'une longue chaîne de production.
- Le séchage ne doit jamais influencer les caractéristiques internes de la matière à sécher.
- Le séchage rotatif doit respecter les mesures de sécurité du personnel et de l'environnement car d'habitude le type d'énergie utilisé est très dangereux (gaz naturel, méthane...).

Dans l'étude menée dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes consacrés à établir un modèle du processus de séchage rotatif en vue de concevoir un contrôleur efficace.[3]

## **V. Les accessoires de notre séchoir**

### **V.1. Le moteur électrique :**

Le moteur électrique est un élément principal dans notre projet car on va l'utiliser pour faire tourner notre séchoir. Donc on a choisi un moteur à courant continu.

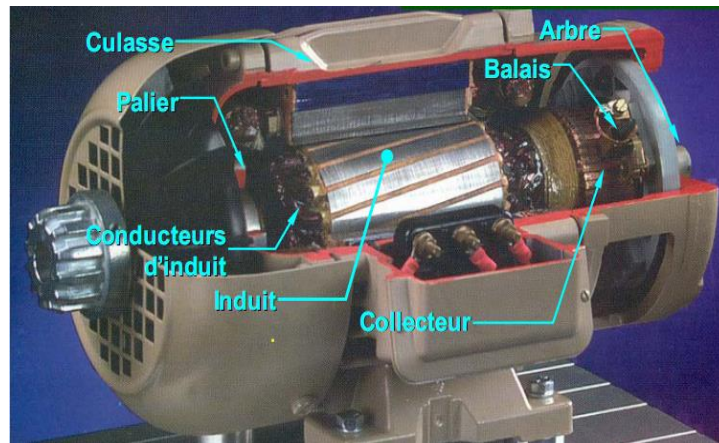


Figure 23: moteur a courant continue [14]

### V.1.1. Généralités :

La machine a courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut Fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en Génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans les deux cas un champ Magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique.

### V.1.2. Description :

- **Vue d'ensemble :**

La machine a courant continu comporte les parties principales suivantes :

- Une partie fixe appelée STATOR qui aura le role d'inducteur.
- Une partie mobile appelée ROTOR qui aura le role d'induit.
- Une liaison rotor – éléments extérieurs a la machine appelée COLLECTEUR.

- **L'inducteur :**

Il est forme soit d'aimants permanents en ferrite soit de bobines placées autour des noyaux polaires.

Lorsque les bobines sont parcourues par un courant continu, elles créent un champ magnétique dans le Circuit magnétique de la machine notamment dans l'entrefer, espace se parant la partie fixe et la partie Mobile, ou se situent les conducteurs. Ce flux et ce champ sont orientes du pole Nord vers le pole Sud.

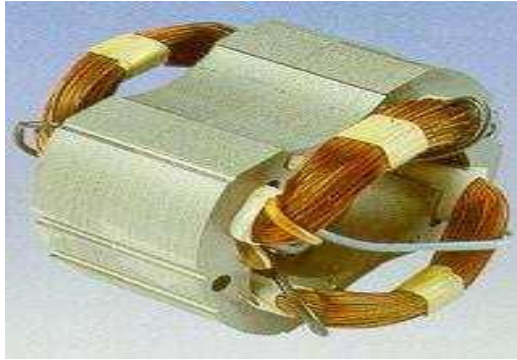


Figure 24 : L'inducteur

- **L'induit :**

Le noyau d'induit est en fer pour canaliser les lignes de champ, les conducteurs sont logés dans des encoches sur le rotor, deux conducteurs forment une spire.

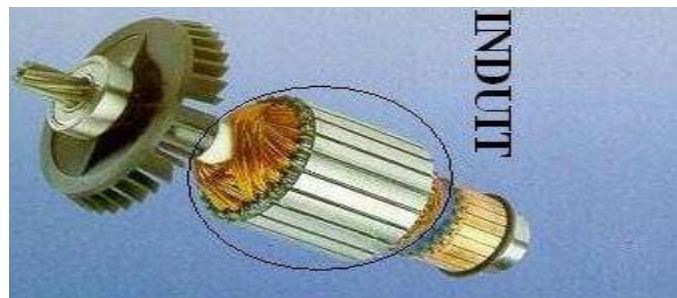


Figure 25 : L'induit

- **Collecteur et balais :**

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre isolées, disposées sur l'extrémité du rotor, les balais portés par le stator frottent sur le collecteur.

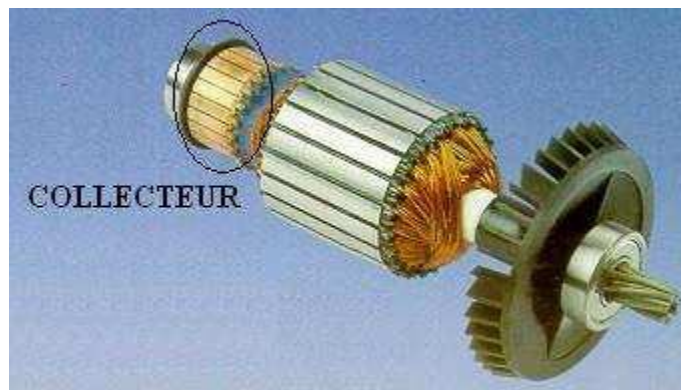


Figure 26 : Collecteur et balais



### V.1.3. Fonctionnement de moteur :

- **Fonctionnement en charge :**

L'induit du moteur est alimenté par une seconde source de tension continue, il entraîne une charge mécanique à la fréquence de rotation  $N$ . [13]

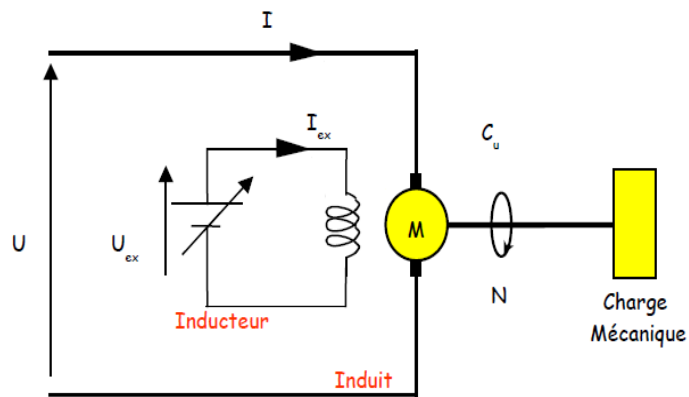


Figure 27 : Fonctionnement en charge

- **Plaque signalétique du moteur :**

La plaque signalétique d'un moteur donne de précieux renseignements, ils concernent le fonctionnement le mieux approprié, c'est-à-dire celui qui permet un très bon rendement, pas forcément le plus élevé, mais qui assure une très bonne longévité de la machine. Les valeurs mentionnées pour l'induit, sont appelées les valeurs nominales, elles ne doivent pas être dépassées de plus de 1,25 fois, elles se décomposent ainsi :

- $U$  Tension nominale appliquée aux bornes de l'induit.
- $I$  Intensité nominale du courant dans l'induit
- $N$  Fréquence de rotation nominale du rotor
- $P_u$  Puissance utile nominale, d'origine mécanique délivrée par le moteur. [13]

<b>ABB</b>		<b>CE</b>		GLEICHSTROMMASCHINE MACHINE À COURANT CONTINU DIRECT CURRENT MACHINE	
No. HM 2352120	1998-08	Typ. DMA+ 315 S 62 V			
P 400	kW	m <sub>rot</sub> 595	kg	m <sub>tot</sub> 2010	kg
n 1373	1/min	J 9.54	kg m <sup>2</sup>	IC 06	
U 420	V	U <sub>e</sub> 260	v	IM 1001	
I 1009	A	I <sub>e</sub> 11.2	A	IP 23	
Duty S1		El. IEC 34-1		Cl. H / F	
2880 M.N.N	Δp 18.0	mbar	V 0.94	m <sup>3</sup> /s	t 38 °C
<b>MOTOR</b>					

Figure 28 : Plaque signalétique du moteur[ 13 ]

- **Schéma block d'un moteur a courant continue :**

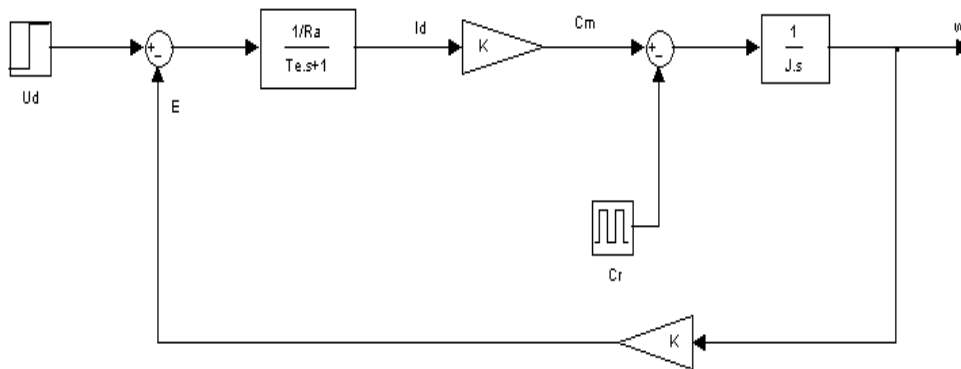


Figure 29 : Schéma block d'un moteur a courant continue

## V.2. Le convertisseur statique :

Un convertisseur statique est un montage utilisant des interrupteurs à semi-conducteurs permettant par une commande convenable de ces derniers de régler un transfert d'énergie entre une source d'entrée et une source de sortie comme le montre la figure

La source d'entrée peut être un générateur ou récepteur.[7]

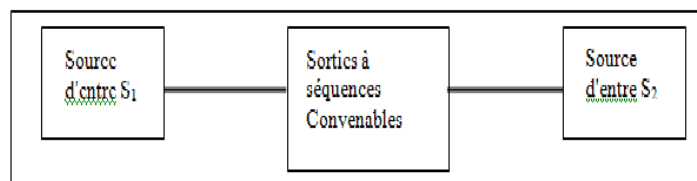


Figure 30 : schéma d'un convertisseur statique

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs électroniques de puissance qui sont capables de modifier la tension, pour réaliser des inversions de la marche rapide avec contrôle du freinage.

Dans notre cas on va travailler avec un convertisseur statique qui s'appelle un redresseur

### V.2.1. Le redresseur :

Sert à convertir des tensions alternatives en des tensions continues

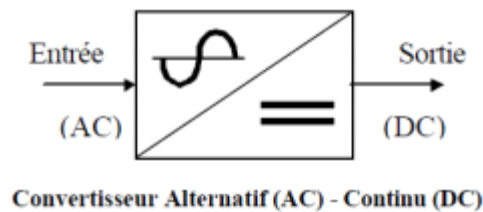


Figure 31 : schéma d'un redresseur [15]

### V.2.2. Domaines d'utilisation :

La conversion alternative / continue est utilisée dans une très large plage de puissance :

- De quelques mW (milliwatts) pour les alimentations de petits ensembles électroniques (chargeur de téléphone portable),
- A plusieurs GW (gigawatts) pour l'interconnexion des réseaux de distribution d'énergie électrique de phases différentes.

### V.2.3. Quelques applications usuelles :

- Alimentation des structures électroniques sous tension continue de bas niveau (3,3 à 15V) à partir du réseau 50Hz en HIFI, télévision, électroménager..
- Recharge des accumulateurs d'appareils nomades (téléphone, ordinateur portable...).
- Entraînement de machines à courant continu à vitesse variable.
- Electrolyse en industrie électrochimique.

### V.2.4. Les types de redresseur :

Rappelons la différence entre alternatif et continu : une tension alternative change de signe, ce qui veut dire que ce dernier passe régulièrement du positif vers le négatif, alors qu'une tension continue reste en permanence dans le positif (ou le négatif) et ne change pas de signe. Pour convertir de l'alternatif en continu, il existe plusieurs méthodes, selon ce qu'on fait des tensions ayant le signe qu'on veut éliminer. Les redresseurs les plus simples se

contentent de supprimer les tensions négatives (ou positives), alors que d'autres les transforment en tensions de signe contraire. On distingue ainsi :

	Redresseur simple alternance	Redresseur double alternance
Redresseur positif	<p><b>Redresseurs simple alternance positifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ils annulent les tensions négatives.</li> </ul>	<p><b>Redresseurs double alternance positifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ils transforment les tensions négatives en tensions positives.</li> </ul>
Redresseur négatif	<p><b>Redresseurs simple alternance négatifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ils annulent les tensions positives.</li> </ul>	<p><b>Redresseurs double alternance négatifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ils transforment les tensions positives en tensions négatives.</li> </ul>

### V.3. Le thermocouple :

Un thermocouple est un capteur servant à mesurer la température. Il se compose de deux métaux de natures différentes reliés à une extrémité. Quand la jonction des métaux est chauffée ou réfrigérée, une tension variable est produite, qui peut être ensuite transcrite en température.

#### V.3.1. Domain application :

Les thermocouples sont utilisés pour de nombreuses applications, du thermocouple à usage industriel au thermocouple standard pour les appareils et les équipements domestiques

### V.3.2. Constitution de thermocouple :

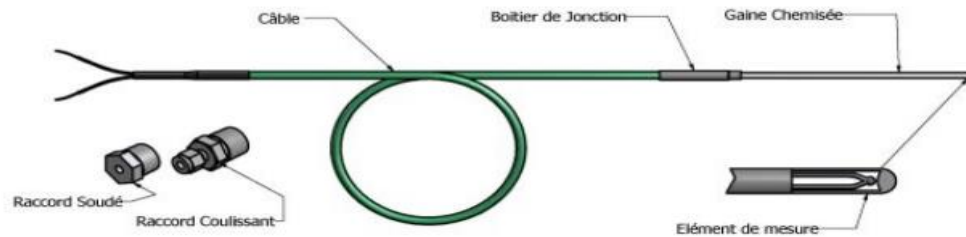


Figure 32 : Constitution de thermocouple [15]

### V.4. La ventilateur :

Le ventilateur doit débiter un certain volume d'air sous une certaine pression (dépendante de la résistance du circuit). Le débit délivré par un ventilateur est à la fois fonction de ses caractéristiques propres et de la perte de charge rencontrée dans le circuit. On choisira un ventilateur en rapport avec la perte de charge maximale pouvant exister dans l'installation.[17]



Figure 33 : La ventilateur

### V.5. L'hygrométrie :

#### V.5.1. Notions fondamentales de mesure de l'humidité :

Dans l'atmosphère, l'humidité est toujours présente sous forme de vapeur d'eau. La proportion de vapeur d'eau peut avoir des niveaux très différents. c'est pourquoi pour chaque température il existe une quantité maximum de vapeur d'eau pouvant être contenue dans un volume d'air.

Notre appareillage (l'**hygromètre**) peuvent indiqués soit en humidité absolue (le taux de vapeur d'eau) soit en humidité relative (pression partielle /vapeur d'eau) et ces deux types en déjà nous les avons mentionnés .

## V.5.2. Capteurs numérique capacitifs d'humidité / température :

- **Principe de mesure :**

les signaux analogique d'un capteur d'humidité capacitif polymère et d'une sonde de température sont traite par une puce possédant des fonction étendues, Selon la version ,ce capteur intègre la conversion analogique /numérique ,un microcontrôleur pour la linéarisation ,la compensation da température et les fonctions de calcules (point rosée)ainsi qu'une interface série numérique en sortie ,chaque individuelle est étalonné sure une référence ultra-précise (par exemple hygromètre a miroir de point de rosée )les écarter de valeurs de mesures déterminees servent de valeur d'ajustage et sont mémorisées dans la puce de capteur.

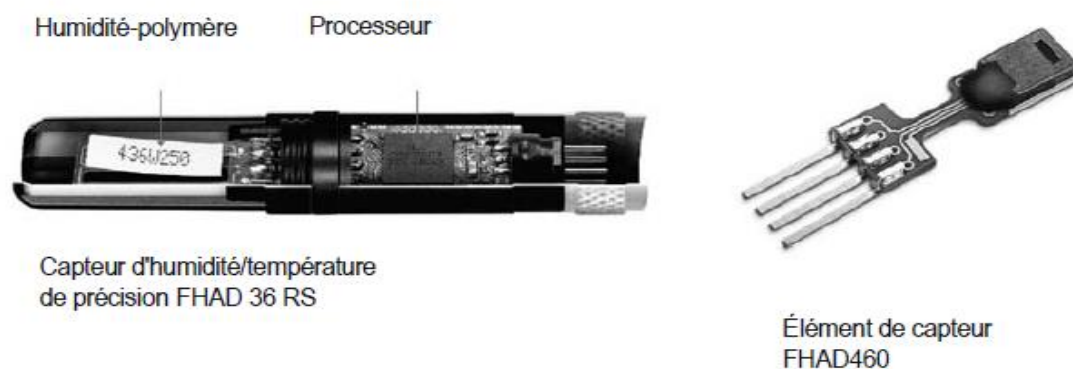


Figure 34 : capteur d'humidité / température

### Exemple : Capteur d'humidité/température FHAD 36 RS :

- **description générale :**
  - un capteur avec une grande précision et a grande plage de température d'utilisation(-50 a 100 c)
- **Domaine d'application :**
  - mesure climatique. ,
  - le domaine du chauffage et climatisation. ,
  - dans le secteur de la santé(les hôpitaux et l'laboratoire d'analyse du Song)
  - dans l'industrie (papier, textile).
- **Les avantages :**
  - technique simple et économique même en ambiance salle c'est facile a nettoyer.

- aucune erreur supplémentaire du fait de la conversion numérique-analogique.
  - grande stabilité a long terme.
  - facile a remplacé sans perte de précision.
- **Les inconvénients :**
    - précision limité.
    - plage de mesure peut réduit.
    - peu cher
    - comme toute pièce électronique le risque d'endommagement existe.[25]

## **V.6. Les capteurs de pesage**

Sont bien évidemment utilisés pour mesurer le poids. Ils font partie de notre vie quotidienne. «Dans votre voiture ou dans les balances poids/prix des supermarchés destinées par exemple à peser votre fromage, nous trouvons des capteurs. Ils sont partout » explique Stefan Schmidt - Product Manager chez HBM. Naturellement, ils ne sont pas toujours et immédiatement reconnaissables, parce bien souvent ils sont cachés à l'intérieur de la balance.

Les capteurs de pesage se composent généralement d'un corps d'épreuve (élément sensible) sur lequel ont été appliquées des jauges de contraintes. Ce corps d'épreuve est habituellement construit en acier ou aluminium. Le capteur est à la fois robuste mais il présente également un comportement élastique minimum. Grâce à cette élasticité, le corps d'épreuve se déforme légèrement lorsqu'il est soumis à une charge et reviens dans sa position initiale quand cette charge est retirée. Ces déformations extrêmement faibles peuvent être acquises avec des jauges de contrainte (abréviation SG pour Strain Gage). En final, les jauges se déforment aussi et le signal correspondant est traité par l'électronique associé au capteur qui indique ainsi le poids à l'opérateur.

### **V.6.1. Le choix des capteurs dépend de l'application**

Il existe différents types de capteurs de pesage pour différentes applications. Les principaux modèles sont :

A point d'appui central : Un seul de ces capteurs se place sous une plate-forme sur laquelle la charge est déposée.

En flexion : Plusieurs capteurs de ce genre sont montés sous une structure métallique et mesurent ainsi le poids appliqué dessus..

Compression : Plusieurs capteurs de grande capacité sont placés sous la structure (ponts bascule) qui reçoit la charge.

Traction : Le poids est suspendu sous un ou plusieurs capteurs.[19]

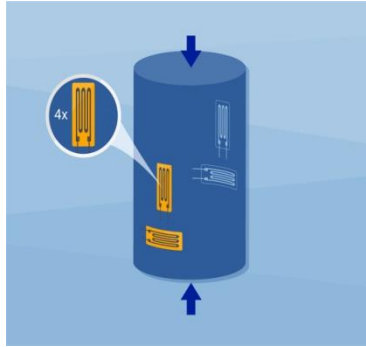


Figure 35 : Capteur de pesage en compression

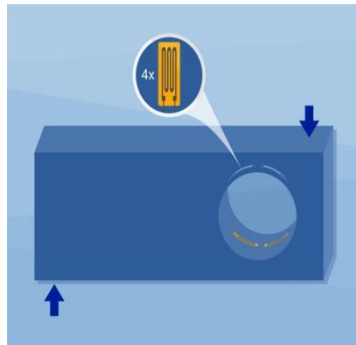


Figure 36 : Capteur de pesage en flexion

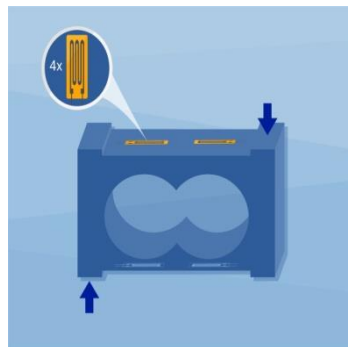


Figure 37 : Capteur de pesage à point d'appui central

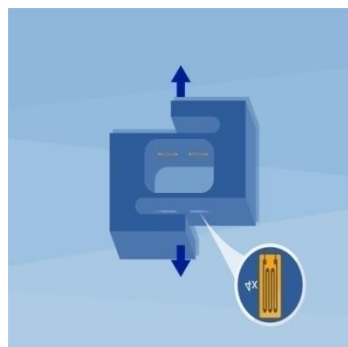


Figure 38 : Capteur de pesage en traction



## V.7. Carte Arduino :

Une carte Arduino est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un micro-contrôleur. Le micro-contrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable.



Figure 39 : Carte Arduino UNO

Il est possible de programmer le comportement de la carte Arduino de deux manières différentes :

```
void setup()
{
  pinMode(1, INPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
}
void loop()
{
  if (digitalRead(1)) {
    digitalWrite(12, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(12, LOW);
    delay(1000);
  } else {
    digitalWrite(12, LOW);
  }
}
```

Figure 40 : Programmation en langage C

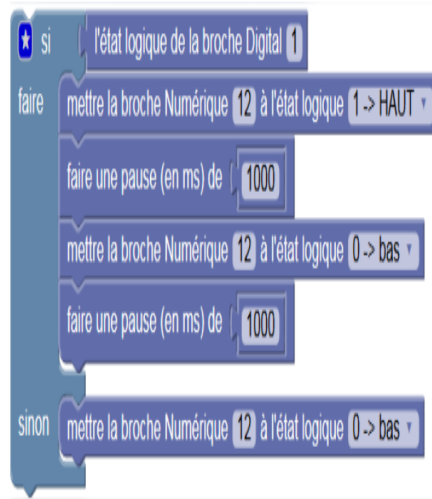


Figure 41 : Programmation par blocs [22]

# Chapitre 2 :

Les engrais et mode de séchage

## Chapitre 2

# Les engrais et mode de séchage

### I. Introduction :

Dans ce chapitre en vas étudier le séchage d'un produit nommé : " les engrais ", en vas l'étude de séchage avec un séchoir relatif et avec trois sources de chaleur (gaz naturel, résistance électrique, system solaire). Tout d'abord en vas défini notre produit et aussi la cause de sécher notre produit "engrais".

### II. Généralités sur les engrais :

#### II.1. Définition des engrais :

Les engrais sont des composés chimiques qui donnent au sol les éléments fertilisants dont il a besoin.

Ces éléments peuvent exister naturellement dans le sol ou y sont apportés artificiellement sous différentes Forme :

- Sous une forme stable dans la solution du sol. Ces engrais sont presque

Immédiatement utilisés par la plante.

- Sous forme de cations ou d'anions échangeables. fixés par le complexe adsorbant du

Sol. Ces ions sont progressivement mis à la disposition de la plante. [2]

#### II.2. Rôle des principaux éléments constituant les engrais

##### II.2.1. Les différentes classes des éléments nécessaires à la croissance des végétaux sont :

- Éléments fertilisants secondaires : Le calcium, le magnésium, le soufre et le sodium.
- Oligo-éléments : bore, chlore, cuivre, magnésium, molybdène et le zinc.

Les oligo-éléments : Ils participent à faible dose à la nutrition des végétaux (quelques Centaines de grammes à quelques kilogrammes par hectare). Au-delà d'une certaine Concentration, ils deviennent toxiques pour les plantes.

- Éléments fertilisants majeurs : L'azote le phosphore et le potassium :
- L'azote est l'élément fondamental de la matière vivante qui est également l'un Des principaux constituants d la chlorophylle.
- Le phosphore favorise la croissance et le développement de la plante, ainsi quela rigidité des tissus et la résistance aux maladies.
- Le potassium participe à la synthèse des protéines et accroît la résistance de la plante aux parasites.[2]

### **II.2.2. Catégorisation des engrais :**

Plusieurs types de déchets sont communément produits dans les différentes localités du Cameroun. Ceux-ci, peuvent être classés suivant leur origine ou suivant la nature du danger auquel ils exposent l'homme ou son environnement.

### **II.2.3. Typologie des déjections de poulaillers :**

- **Nature**

Les déjections de poulaillers sont généralement de quatre natures : lisier, fumier, purin et fiente.

- **Lisier**

On distingue ici les lisiers liquides qui sont un mélange liquide d'urines, d'eaux d'élevages avec quelques déchets de litière. C'est un mélange homogène. Sa teneur en matière sèche (MS) est inférieure à 13 %. De plus on a aussi des lisiers pailleux qui sont un mélange liquide et solide hétérogène, de même composition que le lisier liquide mais la paille est présente en grande quantité. Sa teneur en MS varie de 10 % à 20 %.

- **Purin**

Le purin est un exsudat liquide provenant du stockage des fumiers. C'est un mélange homogène, ayant un taux de MS inférieur à 3 %

- **Fientes**

Les fientes sont les déjections avicoles constituées de fèces, d'urines, de plumes, d'œufs ou coquilles, et de litière. C'est un mélange hétérogène.

L'aspect des fientes varie en fonction de leur humidité ; de 15% à 20% d'humidité, elles sont sèches poussiéreuses, gris clair, elles sont volontiers appelées « fumier », et concernent les volailles de chair. A 70% d'humidité, elles sont visqueuses, magmatiques, et très foncées, on parle alors de fientes de poules pondeuses.

## **III. Les fientes :**

### **III.1. Composition Chimique des fientes**

La composition chimique des fientes est très variable. Cependant, on peut donner des valeurs moyennes (Tableau I). En moyenne, on admet que 60% à 70% d'azote, 80% à 85% de phosphore et 95% de potassium ingérés se retrouvent dans les déjections. Les facteurs de dilution peuvent aussi modifier la composition des fientes (Anonyme, 2010).

**Tableau.** Composition des différentes déjections de poulaillers semi-solides.

Produit	Type d'élevage	Azote ( unités/ t )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( unités/ t )	K <sub>2</sub> O( unités/ t )	MgO ( unités/ t )
Fumier	Volailles	11	14	8	2
Lisier	Volailles	11 à 30	11 à 29	6.5 à 7.5	5
Purin	Volailles	1 à 5	0.2	3 à 7	1

Tableau 1 :Composition Chimique des fientes [10 ]

### III.2. Procède de fabrication des engrais (fientes) :

La fabrication de l'engrais (**fientes**) se fait en six étapes principales

- La neutralisation (Réactions d'ammonisation).
- La granulation.
- **Le séchage.**
- La classification granulométrique.
- Le conditionnement du produit (refroidissement + enrobage).
- Assainissement et lavage des gaz.

Donc qui nous intéresse c'est la troisième étape " Le séchage ".

### IV.Séchage :

L'opération de séchage consiste à débarrasser le produit d'une partie de son eau, grâce à une masse d'air chaude que l'on fait passer au-dessus du produit granulé. Cette étape permet d'éviter les phénomènes de colmatage des appareils de broyage, criblage et conditionnement ainsi que la prise en masse au cours du stockage de l'engrais et aussi de démunie le pourcentage de l'azote et ça le but de notre projet.

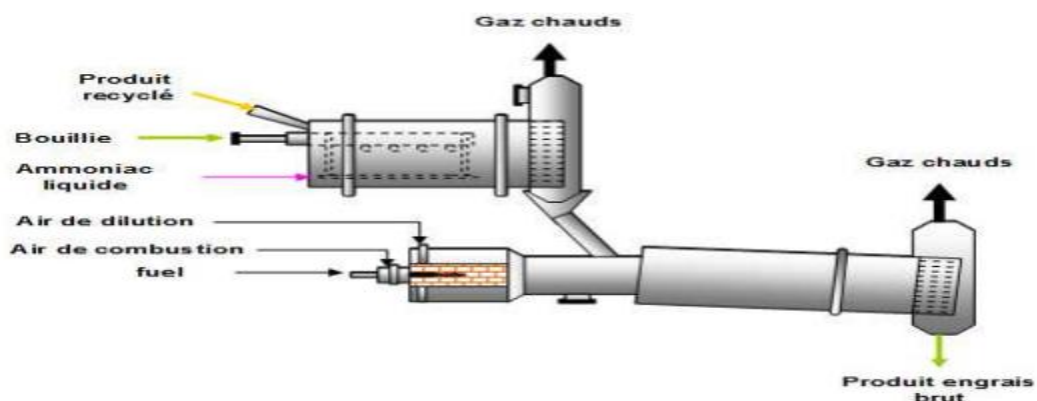


Figure 42 : schéma descriptif du sécheur [2]

### IV.1. Les technologies du séchage :

L'opération de séchage est une étape importante dans la chaîne de la fabrication des engrais elle permet de réduire l'humidité du produit fini à la valeur imposée par les spécifications commercialisées et en parallèle elle permet aussi de réduire le pourcentage d'azote dans les engrais

## **IV.2. Méthodes de transfert de chaleur :**

Comme on a ciblé dans le premier chapitre on a trois types de transfert de chaleur :

- Par convection
- Par conduction
- Par rayonnement

## **IV.3. Procédés de séchage :**

Les procédés de séchage se distinguent par la manière dont est réalisé le contact entre la matière et l'air de séchage :

### **IV.3.1. Procédé à courant croisé :**

L'air de séchage se déplace perpendiculairement à la direction du mouvement du produit, ce mouvement est assuré, soit par système mécanique (godet, wagon, bande perforée, sole perforée vibrante), soit par fluidisation du produit au moyen de l'air de séchage, ce procédé est utilisé dans le cas où les produits ont une faible résistance mécanique.

### **IV.3.2. Procédé à contre-courant :**

Le produit humide entrant vient en contact d'un gaz refroidi et chargé d'humidité, le gaz chaud vient au contact de produit séché. Il peut arriver que le point de rosée soit atteint sur la surface du produit, ce procédé s'applique dans le cas où le produit humide ne supporterait pas la chaleur.

### **IV.3.3. Procédé à Co courant :**

Les gaz chauds rencontrent le produit humide à son entrée dans le sécheur. La différence de température permet une évaporation rapide à l'entrée du sécheur. La température des gaz diminue, ce type de séchage est recommandé pour les produits :

- Résistant au contact des gaz
- Sensible à la température [2]

**Nous avons choisi la procédé a contre courant car c'est la plus fiable procédé parmi les autres.**

#### IV.4. Appareillage :

La classification des appareils peut s'effectuer suivant le procédé (continu, discontinu), le mode des échange (convection, conduction, rayonnement,), ou le type de produits traités (solides en blocs, poudre, pâte, pulpe, film...)

On signalera que l'utilisation d'un procédé continu se fera préférentiellement dans le cas d'une Fabrication importante. Les sécheurs discontinus présentent l'inconvénient majeur d'entraîner un cout énergétique supplémentaire à chaque fin de cycle. [2]

On va faire notre étude sur le types de séchoir le plus robuste "séchoir acylindre rotative " et avec les trois types de source d'énergie " solaire ", " gaz naturel ", " résistance électrique "

### V. Le séchage solaire

Le séchage solaire est un moyen de transformation de certains produits. Il est utilisé à la fois dans le monde rural, dans le monde industriel à travers l'industrie, l'agroalimentaire, le textile, etc. Avec des outils et des matériaux localement disponibles, les séchoirs solaires sont faciles à construire, et peuvent fonctionner par convection naturelle ou forcée. Evidemment, l'ensoleillement, l'humidité, le vent et la température affecteront les performances du séchoir. A nos jours, le séchage d'un ensemble de produits tels que le bois ou les produits agricoles comme les dattes, les tomates, la menthe, etc. de natures hygroscopiques, connaît une évolution importante. Un produit est dit hygroscopique lorsqu'il est susceptible de perdre ou de reprendre de l'humidité en fonction des caractéristiques de l'air [9]

#### V.1. Types de capteurs solaires :

Principalement il y a 3 types de capteurs solaires.

##### V.1.1. Capteurs solaires photovoltaïques :

Qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

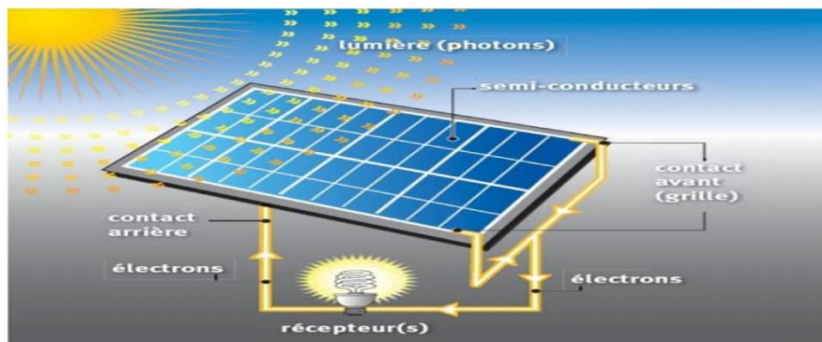


Figure 43 : Panneaux photovoltaïque



### V.1.2. Capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires thermiques sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre. Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- les capteurs plans.
- Les capteurs par concentration.

- **Capteurs plans :**

Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte en noir et munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Lorsqu'il traverse les conduits, sa température (liquide ou air) augmente en raison de la chaleur reçue par la plaque absorbante. Comme une serre, les capteurs plans sont munis d'un vitrage transparent, qui piège le rayonnement calorifique s'échappant de la plaque absorbante. Ils peuvent chauffer les fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80°C, avec un rendement variant entre 40 et 80%.

Dans l'hémisphère nord ils sont orientés vers le sud, et dans l'hémisphère sud, vers le nord. L'efficacité des capteurs dépend de l'angle qu'ils forment avec le plan horizontal. Leur inclinaison optimale varie selon la latitude de l'installation. Les principaux composants des capteurs solaires sont :

- **La vitre** : la matière la plus utilisée est le verre.
- **L'absorbeur** : C'est une plaque noire qui absorbe le rayonnement solaire et le transforme en chaleur thermique ; cette plaque doit avoir les caractéristiques suivantes :
  - Une bonne conductivité thermique ;
  - Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité ;

Les matériaux utilisés comme absorbeur sont : le cuivre, les aciers, l'aluminium ...etc.

- **L'isolant** : L'isolant a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques. Les matériaux utilisés comme isolant sont le bois, les cendres de végétaux, la laine de verre et ...
- **Le fluide caloporteur** : Le fluide caloporteur est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail. Les fluides caloporteurs utilisés sont :

- **L'air** : C'est un fluide gratuit mais il possède une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau.
- **L'eau** : Elle possède les avantages suivants : une grande chaleur massique, et une faible viscosité.[17]

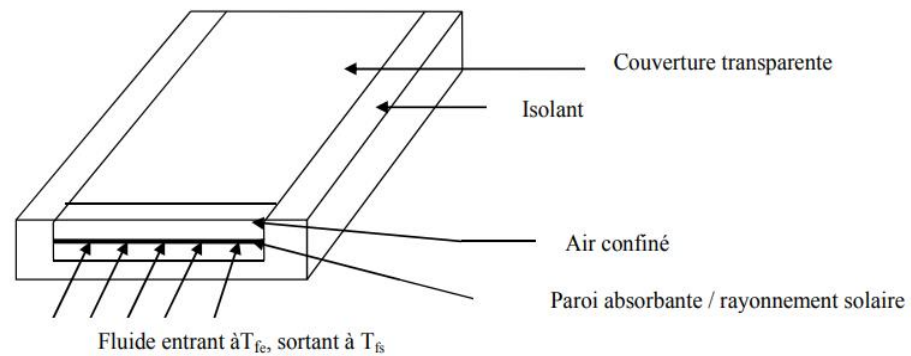


Figure 44: Représentation schématique d'un capteur plan à air

- **Capteurs par concentration :**

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes et plus onéreux.

Il s'agit de réflecteurs en demi-cercle qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau où circule un fluide caloporteur. Cette concentration entraîne une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible) peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius.[17]

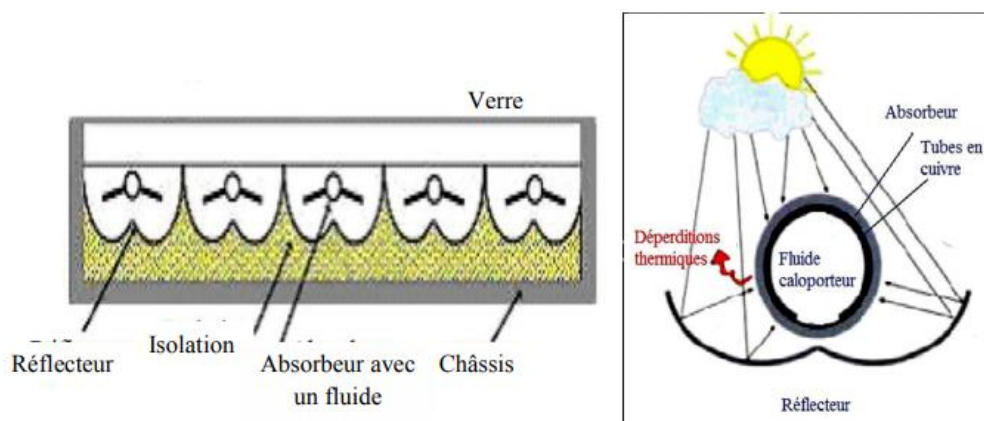


Figure 45 : Représentation schématique d'un capteur à concentration.

## VI. Aérovoltaïque :

L'Aérovoltaïque est un mixte de panneaux solaires photovoltaïque qui produisent de l'électricité et de panneaux solaires thermique pour chauffer l'habitation (panneaux solaires 2 en 1)

- la face du panneau exposée au soleil produit donc de l'électricité (comme les panneaux photovoltaïques classiques).
- l'autre face intérieure récupère l'air chauffé pour chauffer l'habitation.

Une centrale Aérovoltaïque permet donc de **produire de l'électricité** (sachant qu'un panneau photovoltaïque classique produit 3 fois plus de chaleur que d'électricité), la nouveauté est de récupérer **cette énergie thermique** et l'utiliser pour chauffer une habitation. ( avec un système ventilé qui récupère la chaleur sous les panneaux et l'insuffle dans l'habitation grâce à une VMC pour chauffer en hiver, ou la fraîcheur de la nuit pour rafraîchir en été.

### VI.1. LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENT DE L'AÉROVOLTAÏQUE

#### VI.1.1. les avantages de l'Aérovoltaïque en 2020

En utilisant les 2 faces d'un panneau solaire, l'Aérovoltaïque apporte **4 fonctions au lieu d'une pour le photovoltaïque basique** :

- **Production d'électricité**
  - Production d'électricité et climatisation (appoint)
  - Performance (Le système de refroidissement des panneaux photovoltaïque permet d'augmenter la production d'électricité de 10% par rapport à des panneaux photovoltaïques classiques.
- **Production de chauffage**
  - Jusqu'à 50 % d'économie de chauffage
  - Récupérer de la chaleur normalement perdue sous les panneaux
  - Réduction de votre facture énergétique
  - Profiter de la gratuité de l'air ambiant
- **Rafraîchissement nocturne**
  - Chaleur en hiver...
  - Rafraîchissement en été
  - Équipement combinant les deux fonctions

- **Ventilation**

- Ventilation par insufflation
- Qualité de l'air
- Un apport massif d'air neuf et purifié

### **VI.1.2. Les inconvénients de l'Aérovoltaique**

- L'Aérovoltaique est un produit pas très ancien, nous disposons donc de peu de retour d'expérience de particuliers qui ont installé un système Aérovoltaique avec beaucoup de questions à se poser... (chauffage d'appoint, efficacité, besoin de combles, rafraîchissement ...).
- Un produit vendu souvent beaucoup trop.[27]

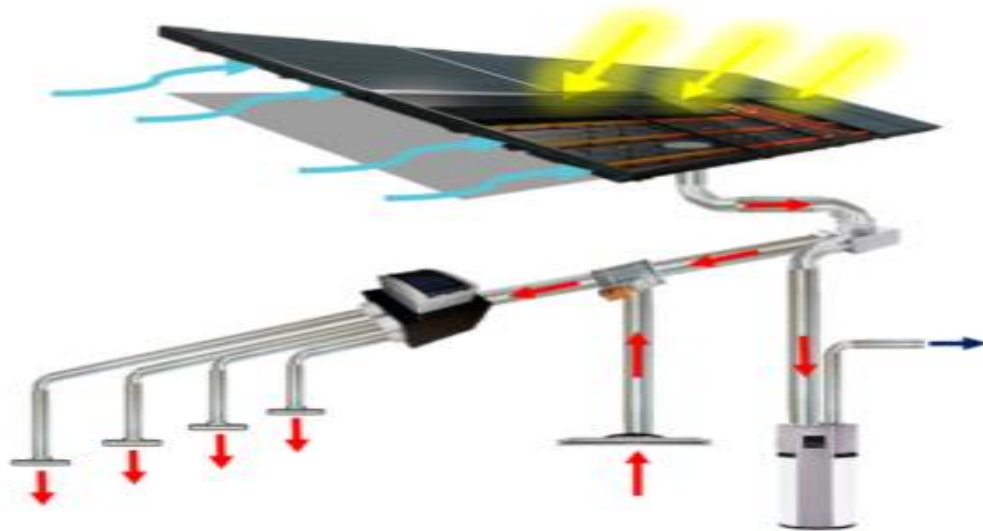


Figure 46 : Panneau Aérovoltaique

## **VII. MODES DE SECHAGE DES ENGRAIS :**

### **VII.1. Séchage solaire :**

Le séchage solaire est un mode intermédiaire entre le séchage artificiel et le séchage naturel. On peut atteindre avec ce mode de séchage une humidité finale plus basse que le séchage à l'air libre, mais relativement plus haute que le séchage artificiel. Les paramètres de séchage sont plus contrôlés que le séchage à l'air libre, mais restent moins précis que le séchage artificiel. La source d'énergie est le soleil qui émet des rayons solaires dont les longueurs d'onde sont essentiellement comprises entre 0,25  $\mu\text{m}$  et 2,5  $\mu\text{m}$ . Ces rayons sont par la suite transformés en chaleur par l'absorbeur qui, à son tour, transmet des radiations dans le domaine de l'infrarouge (Bargach M.N., 2000). Le tableau ci-dessous décline les principaux avantages et inconvénients du séchage solaire

Avantages	Inconvénients
Maîtrise de la teneur en eau finale désirée.	Investissement initial important.
Obtention de produit de qualité (moins de pertes).	Consommation électrique (si ventilateur).
Source d'énergie « gratuite ».	Conduite du séchoir
Permet la gestion de la conduite de séchage.	
Pas de risque d'attaque par insectes ou champignons.	
Coût faible à moyen.	

Tableau 2 les avantages et les inconvénients

### VII.1.1. Le séchoir solaire direct :

Le séchage solaire direct, de conception simple, utilise les rayons directs du soleil pour sécher les produits. Il est simple à réaliser. Se sont en général des constructions simples et robustes d'un châssis vitré où le vitrage sert à augmenter l'effet de serre. La circulation d'air se fait à travers le séchoir par tirage naturel dû au réchauffement (effet cheminée) ou par action du vent sur les ouvertures, ou à l'aide d'un ventilateur, du fait de la simplicité des modèles.

- **avantage :**

- les produits sont mieux protégés de l'attaque des mouches et autres insectes ;
- ils sont soumis à un effet de serre au même titre qu'un absorbeur de capteur plan, d'où une amélioration du bilan radiatif et une élévation de la température du produit à sécher, ce qui permet de diminuer notablement les temps de séchage par rapport aux systèmes traditionnels.

- **Inconvénients**

- Dégradation de la qualité par exposition directe au soleil, destruction de la vitamine A et C, décoloration.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

### VII.1.2. Le séchoir solaire indirect :

Les produits à sécher ne sont pas exposés directement au rayonnement solaire. Ils sont disposés sur des claies à l'intérieur d'une enceinte ou d'un local en rapport avec l'importance des quantités de produits à sécher. L'air neuf est admis dans l'enceinte de séchage après passage dans des capteurs à air ou autre préchauffeur qui le réchauffent en fonction du débit utilisé.

Ce type de séchoir est souvent plus compliqué et plus coûteux à construire que le séchoir direct. Il peut être réalisé à des échelles diverses, et il est surtout employé pour des produits très sensibles au rayonnement solaire ou dont le niveau de température doit être contrôlé, tel que les produits à vocation agricole comme les fruits et les légumes dont l'aspect, la couleur et la qualité nutritive et gustative doivent être mieux préservés.

Comme principe de fonctionnement, ce type de séchoir se compose généralement de deux parties : un collecteur qui converti le rayonnement solaire en chaleur, et une chambre de séchage qui contient le produit à sécher. L'air pénètre dans le collecteur qui s'échauffe ; sa température augmente et, par effet de convection naturelle, l'air chauffé monte à la chambre de séchage pour sécher le produit. La durée du séchage reste très variable selon les conditions météorologiques et la ventilation du séchoir.

- **Avantage :**

Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive.

Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles.

- **Inconvénients :**

- Coût important.
- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir

### VII.1.3. Les séchoirs mixtes :

Dans ce type de séchoirs, la chaleur nécessaire au séchage est fournie par l'action combinée du rayonnement solaire touchant directement les produits et de l'air préchauffé dans des capteurs.

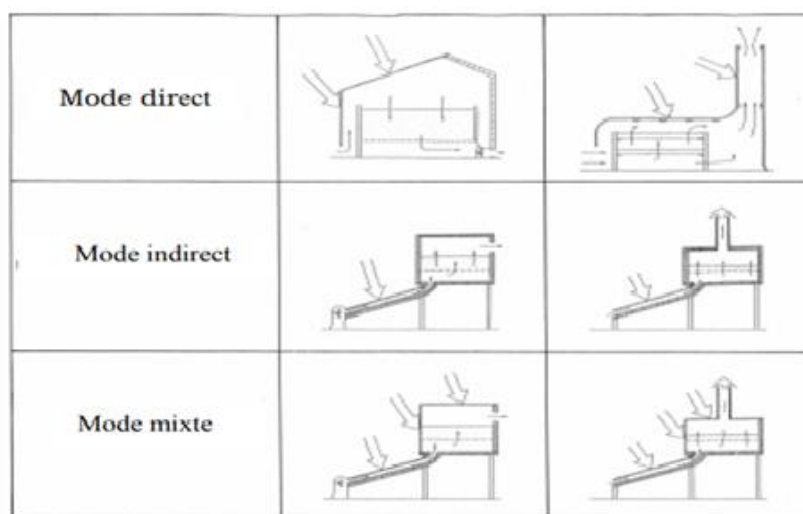


Figure 47: Les trois mode de séchage solaire [9]

## VII.2. Le séchage par gaz naturel :

Le séchage favorise la qualité du produit en diminuant de façon progressive son taux d'humidité ainsi que son volume. Il permet de rendre les produits moins lourds et moins encombrants. Le gaz est particulièrement adapté aux séchages des céréales (maïs...), du tabac, de fruits et légumes (prunes...), de bois. **L'utilisation du gaz a considérablement amélioré les techniques de séchage.** Grâce à la propreté de combustion des gaz. Le séchage est plus propre et plus économique [16]

- **Les avantages de gaz naturel :**

- **Économie d'énergie** : en moyenne, la transformation d'une alimentation en fioul par du gaz permet de doubler la capacité de séchage. La consommation thermique du séchoir à air surrégénéré est également diminuée, passant de 1,4 à 0,9 kWh par kg d'eau évaporée.
- **Énergie propre** : grâce au gaz, il est possible de fonctionner en chauffage direct avec des brûleurs à veine d'air par mélange des gaz de combustion (butane ou gaz), et ce sans aucun risque de pollution. Vous limitez ainsi l'encrassement de vos installations et réduisez vos coûts de maintenance grâce à une énergie ne rejetant pas de particules.
- **Énergie disponible** même dans les endroits les plus isolés, grâce au service de livraison performant d'Antargaz
- **Amélioration de la qualité** : la surrégénération, grâce à un séchage progressif en trois étapes, permet d'éviter les problèmes de surchauffe entraînant la détérioration de l'amidon du grain. Elle améliore la qualité de la production.
- **Augmentation du rendement** : l'utilisation du gaz double le rendement et la vitesse du séchage. Cet atout apporte une solution au problème du stockage des céréales en amont : le séchage se caractérise en effet par une période de pointe d'un mois environ, pendant laquelle le séchoir fonctionne en permanence. Pour ces besoins d'énergie considérables, le gaz assure autonomie, absence de souci d'approvisionnement et débit optimal.
- **Sécurisation de votre exploitation** grâce à une installation énergétique répondant aux normes de sécurité les plus strictes et régulièrement vérifiées par nos équipes. [16]

- **Les inconvénients :**

- Ils sont plus chers à l'achat mais, en tenant compte des primes énergie, le surcoût est récupéré en moins de 2 ans
- Par ailleurs, il faut prévoir une conduite d'évacuation en métal (alu, inox) : les buses en plastique ne conviennent pas.
- Les séchoirs au gaz ne disposent pas de label énergétique [18]

### VII.3. Le séchage par une résistance chauffante:

La résistance chauffante dans ce qua remplace la source de chaleur

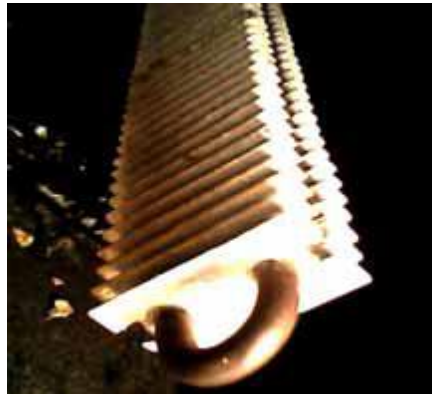


Figure 48 : une résistance chauffante

Une résistance chauffante est constituée d'un matériau conducteur à base de métal présentant une résistance électrique au passage d'un courant qui la porte à une température donnée par effet joule et dans les séchoirs à base d'une résistance chauffante transfère la chaleur générée aux produits à sécher grâce à des ventilateurs.

- **L'avantage des résistances chauffantes :**
  - Installation très simple
  - Sain, propre et écologique
  - Un tarif réglementé et modulable
  - Entretien facile
  - Une installation sûre
  - Facile à réguler
  
- **Les inconvénients de la résistance chauffante :**
  - Le problème majeur de ce type de sècheurs est bien évidemment la consommation d'électricité ce qui assure que le producteur préfère les autres sècheurs à celle solaire et par gaz naturel.

### VII.4. Séchoirs Hybride :

Avec une unité de stockage thermique Tiwari & al ont évalué expérimentalement un séchoir solaire avec un chauffe-eau et un stockage de roche sècheuse. Sur la base de ses résultats analytiques, le temps de séchage est sensiblement réduit du fait de l'augmentation de l'énergie thermique sur le collecteur par le réflecteur.



Le système peut être utilisé pour fournir de l'eau chaude dans le cas où le système de séchage n'est pas en fonctionnement.

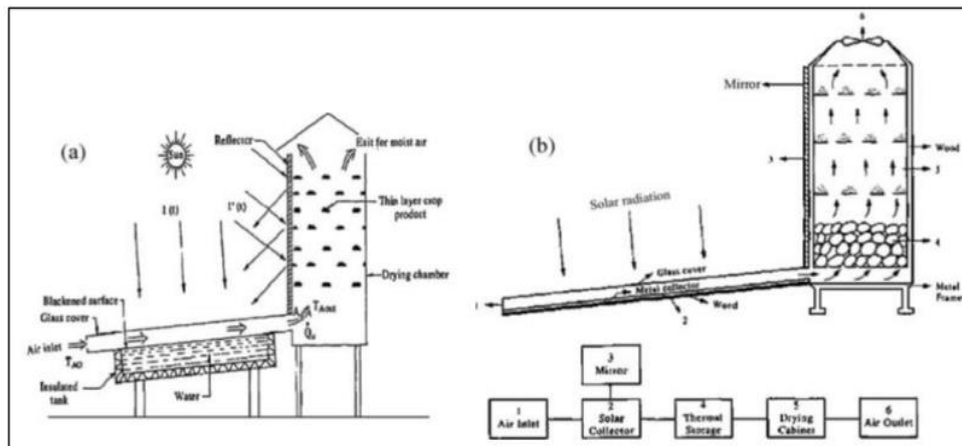


Figure 49 : Séchoir solaire hybride

#### VII.4.1. Avec un brûleur de biomasse

Prasad & al ont développé un séchoir solaire à convection naturelle de type direct intégré à un simple brûleur à biomasse. Le système est prédestiné pour être appliqué sur les petites exploitations des agricultures dans les pays en développement en raison de son faible investissement.

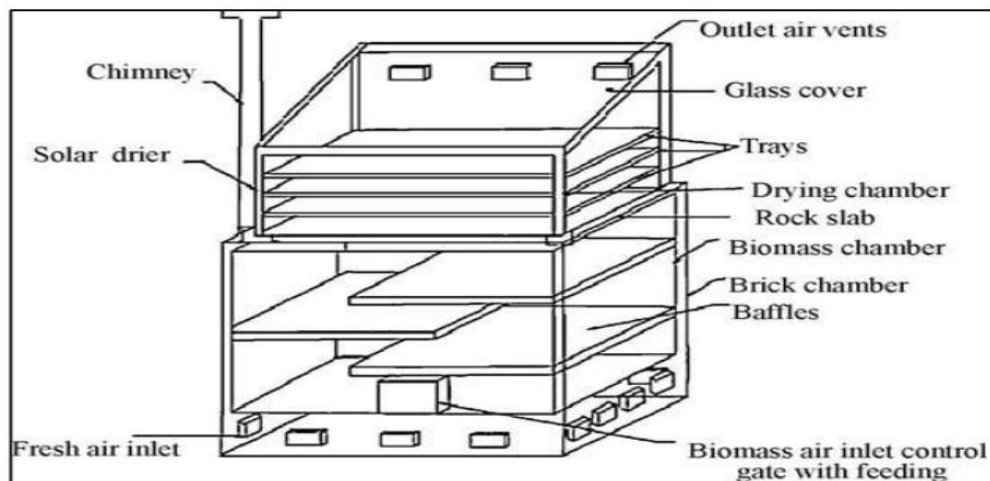


Figure 50 : Diagramme d'un séchoir hybride à biomasse

#### VII.4.2. Avec brûleur à gaz GPL

La figure montre le prototype expérimental de séchoir solaire hybride direct, avec une capacité de chargement d'une 1 tonne de feuilles fraîches du tabac durcis. Le GPL a été utilisé directement comme combustible auxiliaire de chauffage

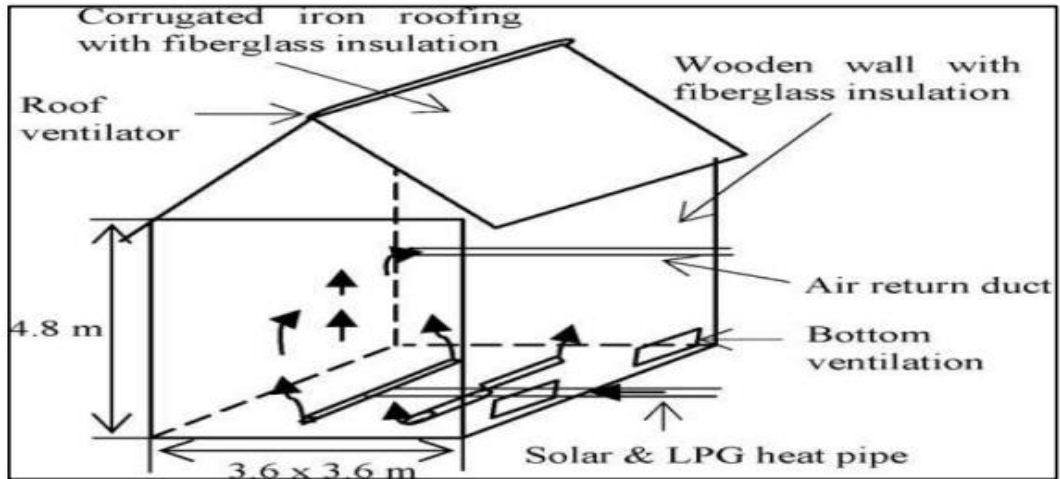


Figure 51 : Schéma d'un séchoir hybride à gaz GPL

#### VII.4.3. Avec un chauffage électrique

Tiris et al ; a étudié et développé un séchoir solaire à l'université d'Ege en Turquie . Le séchage se compose du capteur solaire, une chambre de séchage, une roche de stockage, un ventilateur et du chauffage électrique comme source auxiliaire.

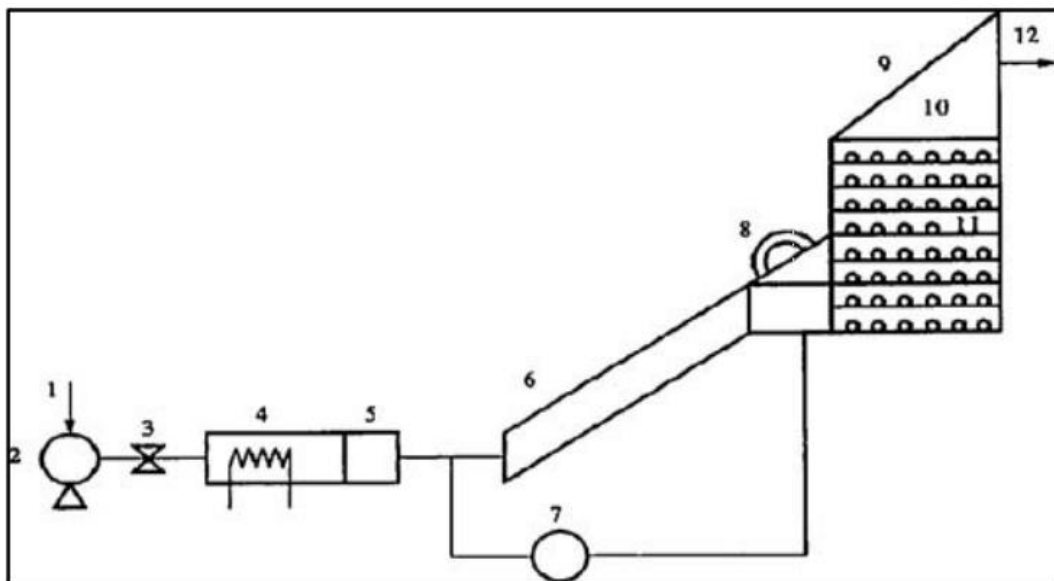


Figure 52 : Représentation schématique d'un séchoir solaire avec un réchauffeur électrique [24]

### VIII. Comment choisi le type de séchoir :

Les séchoirs solaires sont classés généralement, selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement en plusieurs catégories :

- Les séchoirs solaires directs.
- Les séchoirs solaires indirects.
- Les séchoirs solaires hybrides.
- Les séchoirs solaires mixtes.

D'après Nonhebel, la sélection d'un séchoir représente un compromis entre le coût du séchoir, la qualité du produit, mesure de sécurité et commodité d'installation. Dans l'évaluation d'un séchoir solaire, les paramètres généralement mesurés et reportés peuvent être catégorisés comme suit: Caractéristiques physiques du séchoir

- Type, taille, forme.
- Capacité de séchage.
- Surface des tiroirs et leur nombre.
- Modalité de chargement et de déchargement.

### **VIII.1. Performances thermiques**

- Temps de séchage/taux de séchage.
- Température de l'air sécheur et l'humidité relative.
- Débit d'air.
- Efficacité du séchage.

### **VIII.2. Qualité du produit séché**

- Qualité sensorielle (couleur, saveur, goût, texture, arôme).
- Propriétés nutritive.
- Capacité de réhydratation.

### **VIII.3. Coût du séchoir et période d'amortissement**

Dans un premier temps, on s'est basé sur la qualité du produit, pour cela nous avons opté pour les séchoirs solaires hybrides qui sont plus performants que les séchoirs directs, car ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment à savoir; sa couleur, son aspect et sa valeur nutritive. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaire.

## **IX. Quelques paramètres pouvant influencer sur les performances d'un séchoir solaire :**

Il y a d'autres aspects qui doivent être pris en considération par les utilisateurs et qui sont utiles dans l'évaluation des séchoirs solaires, à savoir :

### **a) Uniformité du séchage:**

Dans les séchoirs avec une longue chambre de séchage, l'air sécheur fait un trajet considérable avant de sortir de la chambre, et le produit près de la sortie se sèche plus lentement que celui qui se trouve près de l'entrée. Donc dans ce cas, on doit s'assurer de l'uniformité du séchage.

### **b) Nécessité d'un espace plat:**

Dans certains endroits, spécialement dans les terrains montagneux, il est difficile de trouver une plateforme pour installer le séchoir

### **c) Nécessité de techniciens et opérateurs qualifiés :**

Ceci peut être très important dans certains cas (tel que: solaire – biomasse, séchoir hybride), où le contrôle et le fonctionnement du système de séchage peut exiger quelques expertises.

### **d) Facilité de construction nécessite et la Sécurité**

Une grande importance dans les villages éloignés. [23]

# Chapitre 3 :

## Prototypage et installation

## Chapitre 3 : Prototypage et installation

### Introduction :

Dans cette étude on va s'intéresser du " Séchoir a cylindre rotative " et on va essayer de dimensionné ce type de séchoir, sa largeur, sa longueur, son volume, la vitesse de rotation etc. Ce séchoir a pour but de sécher la fiente de poulet afin de répondre aux normes internationales des consommateur (ISO 11261 :1995 - Qualité du sol — Dosage de l'azote total — Méthode de Kjeldahl modifiée) et de garder un taux d'azote entre 35 % et 20 %.

### I. Séchoir a cylindre rotative :

#### I.1. ETUDE TECHNIQUE DU SECHOIR

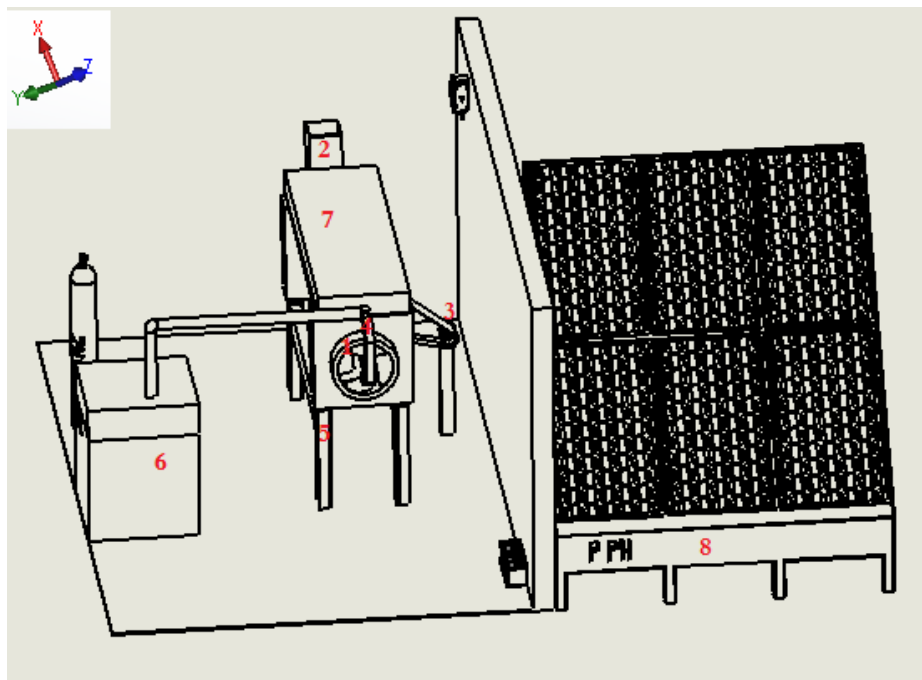


Figure 53 : Schéma de principe du séchoir rotatif

Numérotation	1	2	3	4	5	6	7	8
Désignation	Cylindre rotatif	trémie	poulie	ventilateur	support	Chambre de combustion	Panneau thermique	Panneau photovoltaïque

Tableau 3 : Désignation d'éléments du schéma de principe

- **Principe de fonctionnement :**

- **Le séchoir travail avec un combustible gazeux**

L'air aspiré par le ventilateur (4), traverse la chambre de combustion (6) où il s'échauffe avant d' arriver dans le cylindre rotatif (1).

La trémie (2) permet d'alimenter le cylindre rotatif en produit.

L'entraînement en rotation du cylindre est assuré par la poulie (3) qui est reliée à un moteur.

- **1<sup>er</sup> cas :** la station travail avec le réseau électrique nationale (SONELGAZ)
- **2<sup>eme</sup> cas :** le séchoir travail avec le panneau solaire

L'air aspiré par le ventilateur (4), traverse la chambre de combustion (6) où il s'échauffe avant d' arriver dans le cylindre rotatif (1).

La trémie (2) permet d'alimenter le cylindre rotatif en produit.

L'entraînement en rotation du cylindre est assuré par la poulie (3) qui est reliée à un moteur est alimenter par le panneau photovoltaïque.

- **Cylindre rotatif :**

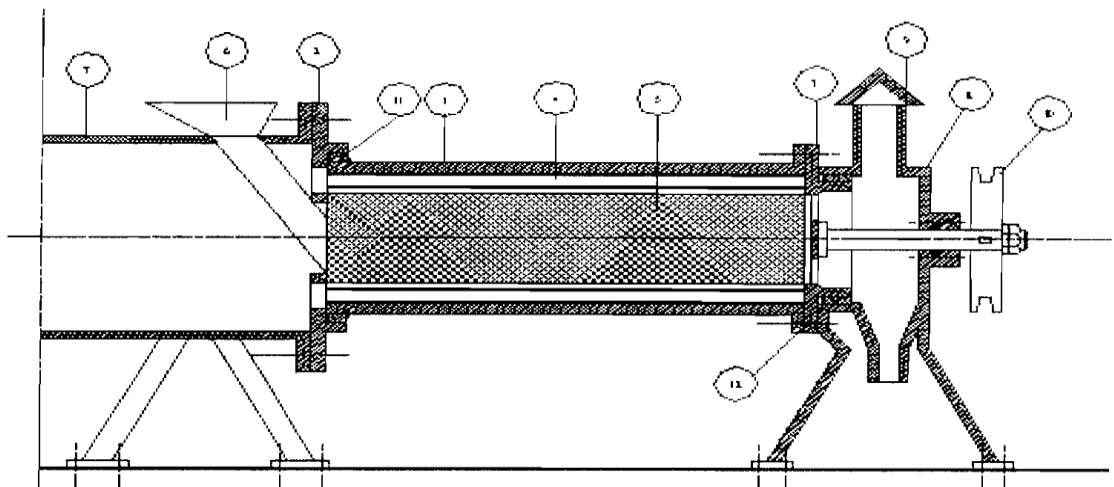


Figure 54 : Dessin d'ensemble du séchoir

Numérotation	Désignation
1	Cylindre rotatif
2	couvercle
3	Couvercle déversoir
4	Chicanes à air
5	Cylindre grillagé
6	trémie
7	Chambre de ventilation
8	Chambre de récupération
9	cheminée
10	poulie
11	Bague en bronze
12	Bague en bronze

Tableau 4: Désignation d'éléments du cylindre rotatif

## II. Dimensionnement du cylindre :

On soumet au séchage un d'engrais avec les caractéristiques suivantes.

- teneur initiale en humidité  $X_i = 70\%$
- teneur finale en humidité  $X_f = 15\%$
- température admissible du produit  $70^\circ\text{C}$
- débit du séchoir (matériau sec)  $G_f = 50 \text{ Kg/h}$
- température initiale du produit  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- température finale du produit  $T_f = 40^\circ\text{C}$
- température de l'air chaud à  $80^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{air chaud}}$ )

### II.1. Déroulement :

Pour 5 kg grammes de produit (fientes), il faut déterminer la quantité d'eau à extraire pour une durée optimale de séchage. Comme on a encore une connaissance limitée des mécanismes de séchage, il est essentiel d'expérimenter à petite échelle. Il faut peser un échantillon à intervalle de temps sans interrompre le procédé de mesurage, en s'assurant que les données représentent le mieux possible les conditions qui seront utilisées dans la réalité.

#### II.1.1. Détermination de la masse sèche :

On pose des teneurs en humidité décroissante pour calculer la masse sèche utilisons la formule suivante :

$$X = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (1)$$



x : taux d'humidité d'engrais

M<sub>h</sub> : masse du produit humide

M<sub>s</sub> : masse du produit séché

A partir de l'équation 1 on a :

$$M_s = \frac{M_h}{1+X} \quad (1-2)$$

- **La courbe de séchage :**

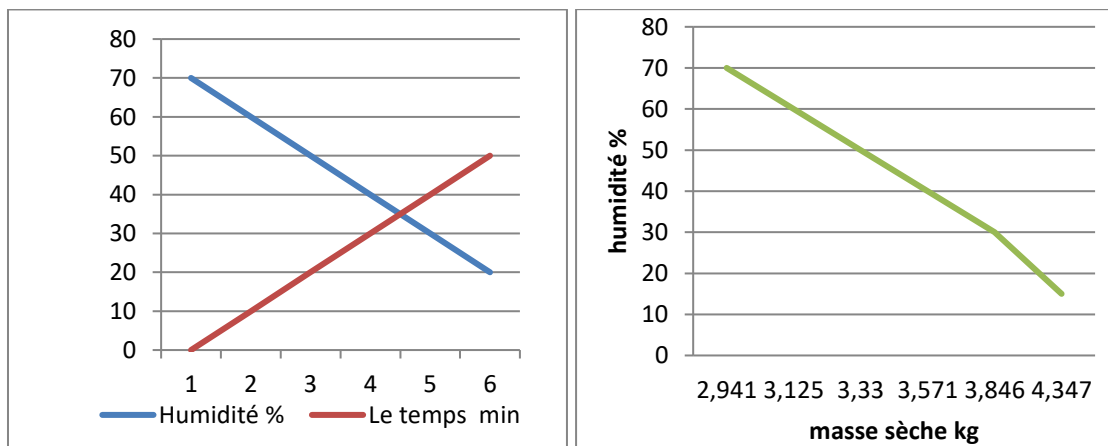
Les courbes de séchage sont obtenues en portant en ordonnées les teneurs en humidité du produit en cours de séchage et en abscisses les moments dans le temps où sont réalisés ces taux. Il en résulte que ces courbes donnent la diminution de la perte d'eau par le corps en fonction du temps.

- **Résultats théoriques :**

Masse sèche kg	2.941	3.125	3.33	3.571	3.846	4.347
Humidité %	70	60	50	40	30	15
Le temps min	0	10	20	30	40	50

Tableau 5 : relevé a partir de l'équation 2

**la courbe de séchage :**



L' Allure de l'humidité est décroissante suite au séchage au cours du temps

### II.1.2. Calcul de la quantité de matière humide introduite dans le séchoir

$$G_i = G_f \frac{1-X_f}{1-X_i} \quad (3)$$

$$\text{AN : } G_i = 50 \cdot \frac{1-0.15}{1-0.7} = 141,67 \text{ Kg/h}$$

### II.1.3. Calcul de la quantité d'eau à éliminer :

$$U_e = G_i \frac{X_i - X_f}{1 - X_f} \quad (4)$$

$$\text{AN : } U_e = 141,67 \frac{0.7-0.15}{1-0.15} = 91,67 \text{ Kg/h}$$

La mesure de l'humidité relative de l'air et le relevé des valeurs des thermomètres sec et humide nous donnent les valeurs suivantes [7]:

$\omega = 60\%$  humidité relative

température sec  $T_{as} = 28^\circ\text{C}$

température humide  $T_{ah} = 22^\circ\text{C}$

L'air à une humidité relative de 60% et à la température de  $28^\circ\text{C}$  permet de lire sur le diagramme de Mollier le titre et l'enthalpie spécifique:

$$X_i = 14 \text{ g/kg}$$

$$h_i = 15,25 \text{ kcal/kg air sec}$$

$$V_s = 1 / \rho = 1 / 1.162 = 0.860 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Pour l'enthalpie spécifique de l'air sec, avec la chaleur massique de  $0,24 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$h_{as} = C_p * T_{as} \quad (5)$$

$$0,24 * 28 = 6,72 \text{ kcal/kg air sec}$$

Et pour l'humidité de l'air

$$h_{ah}(28) = h_i - h_{as} \quad (5-1)$$

$$15,25 - 6,72 = 8,53 \text{ kcal/kg air sec}$$

Suite à la lecture du diagramme psychrométrique on tire les données suivantes :

Cet air est chauffé selon une isotitre à une température de  $80^\circ\text{C}$

Le titre se conserve  $X_2 = X_1 = 14 \text{ g/kg air sec}$

L'humidité relative devient  $\omega_2 = 0,04$

L'enthalpie spécifique  $h_2 = 28 \text{ kcal/kg}$

Donc :

$$h_{ach} = C_p * T_{ach} \quad (6)$$

$$0,24 * 80 = 19,2 \text{ kcal/kg air sec}$$

et pour l'humidité de l'air:

$$h_{ach}(80^{\circ}C) = h_2 - h_{ach} \quad (6-1)$$

$$28 - 19,2 = 8,8 \text{ kcal/kg air sec}$$

Cet air à 80°C doit emprunter un circuit qui impose des déperditions thermiques se traduisent par une chute de température de 10°C avant d'arriver à 70°C sur le produit. L'air à 70°C entre en contact avec l'engrais et doit sortir du séchoir à 60% d'humidité relative afin d'éviter la condensation de l'air chaud au contact de l'air atmosphérique, nous optons de faire sortir cet air à une humidité relative de 70%. Dans ces conditions de sortie nous avons:

$$h' = h_2 = 28 \text{ kcal/kg} \quad (7)$$

$$\varphi = 70\%$$

Ces données permettent de lire sur le diagramme de Mollier:

Le titre  $X_3 = 30 \text{ g/kg air sec}$

Température  $T_3 = 38^{\circ}C$

Volume spécifique  $V_3 = 0,883 \text{ m}^3/\text{kg}$

De la chaleur totale  $h_3$  on déduit enthalpie de l'air :

$$h_3 = Cp * T$$

$$0,24 * 38 = 9,12 \text{ kcal/kg}$$

Pour l'air et une enthalpie :

$$h'_3 = h_3 - h' \quad (8)$$

$$h'_3 = 18,88 \text{ kcal/kg air sec}$$

De ces données, il en résulte que l'air chauffé évacue une quantité d'humidité égale à la différence :

$$x_2 = x_3 - x_1 \quad (9)$$

$$x_2 = 16 \text{ g/kg-air sec}$$

Les 91.24 kg/h d'humidité nécessitent donc une quantité d'air:

$$Q_{as} = Ue/x_2 \quad (10)$$

$$91.67/0.016 = 5729.38 \text{ kg / h - air - sec}$$

#### II.1.4. Le volume d'air introduit dans le séchoir est:

$$V_i = Q_{as}(1 + x_i) V_s \quad (11)$$

$$\text{AN: } V_i = 5729.38 (1 + 0,014) 0,860 = 4927.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### II.1.5. Le volume d'air évacué du séchoir est:

$$v_e = Q_{as}(1 + X_2) V_s \quad (12)$$

$$\text{AN: } V_e = 5729.38x (1 + 0,016) x 0,839 = 4883.9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v_e = 4883.9 \text{ m}^3/\text{h}$$

### II.1.6. La puissance nécessaire :

$$P_n = \rho * (H_s - H_a) * V_i \quad (13)$$

Telle que

$\rho$  : masse volumique de l'air ambiante (à 28 de la masse volumique égal 1.164 kg/m<sup>3</sup>)

$H_s$  : enthalpie massique d'air sec chaud (Kj/kg air sec)

$H_a$  : enthalpie massique d'air sec ambiante (kj/kg air sec)

$V_i$  : volume d'air introduit dans le séchoir (m<sup>3</sup>/h)

- **Application numérique :**

D'abord il faut convertir les unités de (Kcal/kg air sec) à (Kj/kg air sec)

$$H_a = 15.25 \text{ Kcal/kg air sec} \longrightarrow H_a = 63.8 \text{ Kj/kg air sec}$$

$$H_s = 28 \text{ kcal/kg air sec} \longrightarrow H_s = 117.15 \text{ Kj/kg air sec}$$

$$P_n = (1.162 * (117.15 - 63.8) * 4927.28) / 3600$$

$$P_n = 84.85 \text{ KW}$$

## II.2. Etude de la chambre de chauffage

### II.2.1. La puissance perdue entre sortie de brûleur et l'entrée du cylindre ( $P_1$ )

D'abord en calculant la quantité de chaleur ( $Q_1$ ) entre la sortie de brûleur et l'entrée de cylindre

$$Q_1 = c_p (T_{sb} - T_{ec}) * Q_{as} \quad (14)$$

$T_{sb} = 80^\circ\text{C}$  : la température de l'air à la sortie de brûleur

$T_{ec} = 70^\circ\text{C}$  : la température de l'air à l'entrée de cylindre

$Q_{as} = 5705 \text{ kg/h}$  : débit de l'air sec

AN :

$$Q_1 = 0.24(70 - 80) * 5705$$

$$Q_1 = -13692 \text{ kcal/h}$$

$$P_1 = (Q_1 * 4.184) / 3600$$

$$P_1 = (13692 * 4.184) / 3600$$

$$P_1 = 15.91 \text{ kW}$$

### II.2.2. La puissance perdue par l'évacuation de produit (P<sub>2</sub>)

On va calculer la quantité de chaleur (Q<sub>2</sub>) perdue par l'évacuation de produit

$$Q_2 = 1000 \text{ cpm} (T_c - T_i) \quad (15)$$

Cpm : chaleur massique du produit (fient) étant de 0,4 kcal/kg.°c par estimation

T<sub>c</sub> = 40°C : température de produit évacué

T<sub>i</sub> = 25°C : température initial du produit

$$\text{AN:} \quad Q_2 = 1000 * 0.4(40 - 25)$$

$$Q_2 = 6000 \text{ kcal/h}$$

$$P_2 = (Q_2 * 4.184) / 3600$$

$$\text{AN:} \quad P_2 = (6000 * 4.184) / 3600$$

$$P_2 = 6.97 \text{ kW}$$

### II.2.3. La puissance perdue par les parois du séchoir (P<sub>3</sub>)

Si on prend un isolant de 6 cm d'épaisseur et une perte de 40 kcal/m<sup>2</sup>

La quantité de chaleur (Q<sub>3</sub>) représente les pertes par les parois de cylindre

$$Q_3 = 40 * \pi * D_e * L \quad (16)$$

D<sub>e</sub> : diamètre extérieure du cylindre = 0,6 m

L : la longueur de cylindre

$$\text{AN:} \quad Q_3 = 40 * 3.14 * 0.6 * 2.89$$

$$Q_3 = 217.8 \text{ kcal/h}$$

$$P_3 = (Q_3 * 4.184)/3600$$

$$P_3 = (217.8 * 4.184)/3600$$

$$P_3=0.253 \text{ KW}$$

#### II.2.4. la puissance utile de séchoir

$$P_{\text{util}} = P_n - P_{\text{perdu}} \quad (17)$$

$P_n = 84.85 \text{ kW}$  : la puissance nécessaire pour le fonctionnement de séchoir

$$P_{\text{perdu}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_{\text{perdu}} = 15.91 + 6.97 + 0.253$$

$$P_{\text{perdu}}=23.13 \text{ kW}$$

$$P_{\text{util}} = P_n - P_{\text{perdu}}$$

$$P_{\text{util}} = 84.85 - 23.13$$

$$P_{\text{util}}=61.72 \text{ kW}$$

#### II.2.5. Le rendement :

$$\eta = P_{\text{util}}/P_n \quad (18)$$

AN :  $\eta = 61.72/84.85$

$$\eta=73\%$$

#### II.2.6. Calcul du taux de consommation de combustible

$$C = (P_n/PCI) * 3600 \quad (19)$$

C : le taux de consommation de combustible (normal  $\text{m}^3/\text{h}$ ) ( $\text{nm}^3/\text{h}$ )

PCI: le pouvoir calorifique inférieure du combustible, il s'agit de la quantité totale de chaleur dégagée par la combustion, l'unité et en ( $\text{kJ}/\text{nm}^3$ ) dans notre cas il ya trois possibilité soit par le **propane** ou **butane** ou **méthane**.

POUVOIR CALORIFIQUE		
GAZ (KJ/Nm3)	Valeurs PCI	Valeurs PCS
Hydrogène - H2	12750	12760
Monoxyde de carbone - CO	12660	12660
Hydrogène sulfuré - H2S	24000	25940
Méthane - CH4	35880	39890
Ethane - C2H6	64430	70560
Propane - C3H8	93640	101920
n-Butane - C4H10	12380	134200
Iso-butane - (CH3)2-CH-CH3	12600	135600
Ethylène - C2H4	59450	63400
Propylène - C3H6	87700	36690
Acétylène - C2H2	56500	58470
LIQUIDES (thermies/tonne)	Valeurs PCI	Valeurs PCS
Hexane - C6H14	10780	11630
Octane	10705	11535
Benzène - C6H6	9700	10105
Styrène	9780	10190

Figure 55 : table de pouvoire calorifique

- Pour le propane : PCI=93640 kj/nm<sup>3</sup>

$$C = (84.85/93640) * 3600$$

$$C=3.26 \text{ nm}^3/\text{h}$$

- Pour le butane : PCI=12380 kj/nm<sup>3</sup>

$$C = (84.85/12380) * 3600$$

$$C=24.67 \text{ nm}^3/\text{h}$$

- Pour méthane: pci=35880 kj/nm<sup>3</sup>

$$C = (84.85/35880) * 3600$$

$$C=8.51 \text{ nm}^3/\text{h}$$

### III. Calcul des dimensions du séchoir :

Pour établir les données de construction du séchoir, il faut connaître expérimentalement : soit la durée de séchage de la matière, soit l'évaporation spécifique. Pour la construction d'un prototype pour cette étude, nous nous fixons à priori une durée de séchage de 40mn. L'expérience permettra de corriger ce paramètre dans les limites des températures d'entrée et de sortie du produit respectivement 25°C et 40°C. La durée de séchage ainsi fixée nous permet de calculer le volume du cylindre :

$$V = \frac{G_i * t}{\rho * \beta} \quad (20)$$

V : volume du cylindre en m<sup>3</sup>

G<sub>i</sub> : la quantité de produit introduite dans le séchoir en kg/h

t, la durée du séchage en heure

ρ : La masse volumique moyenne du matériau, en kg/m<sup>3</sup>

β : le degré de remplissage du cylindre, en %

G<sub>i</sub> = 141.67 kg/h

t = 40 mn = 0.67 h

ρ = 382.86 kg/m<sup>3</sup>

β = 30%

$$AN : V_{\text{cylindre}} = \frac{141.67 * 0.67}{382.86 * 0.3} = 0.826 \text{ m}^3$$

#### III.1. Calcul de la vitesse de rotation du séchoir :

##### Un réducteur de vitesse :

Pour de très petites vitesses de rotation du cylindre et pour avoir une transmission élastique, on relie le moteur au réducteur par des courroies trapézoïdales, ce qui permet une position indépendante du moteur.

On considère que la durée du séchage est au maximum 40 mn :

Le temps de passage du matériau à travers le cylindre est déterminé par :

$$t = K \frac{L}{n * \text{tg} \alpha * D} \quad (21)$$

Dans laquelle:

K est un coefficient complexe, pratiquement égale à 0,5

n, est la vitesse de rotation du cylindre, en tour/min:



$$\tan\alpha = \frac{\sin\nu}{\sin\omega}$$

$\nu$  étant l'angle d'inclinaison du cylindre (1 à 6°C) et,  $\omega$  l'angle de glissement de la matière (fiente).

$D_i$  : le diamètre intérieur du cylindre ( en mètre).

Pour les matières en morceau ou granulé (plus ou moins gros) on peut utilise la relation (notre cas)

$$t = 0.205 \frac{L}{n * \text{tg}\nu * D_i} \quad (21-1)$$

Alors la vitesse de rotation du cylindre est déterminée par:

$$n = 0.205 \frac{L}{t * \text{tg}\nu * D_i} \quad (21-2)$$

Les donné d'après les calcul :  $M_{s1}=2.941 \text{ kg}$  ,  $M_{s2}=3.125 \text{ kg}$  ,  $G_i=141.67 \text{ kg/h}$  ,  $U_e=91.67 \text{ kg/h}$

Le volume de cylindre  $V=0.826 \text{ m}^3$ , et pour  $\nu = 1^\circ$ , diamètre intérieure  $D_i = 0.5 \text{ m}$

La vitesse de rotation :

$$n = 0.205 \frac{L}{t * \text{tg}\nu * D_i} \quad (21-2)$$

- **Calculons la longueur L:**

$$V = s * L \quad D_{ex} = 0.6 \text{ m}$$

$$L = \frac{V}{s} = 4 \frac{V}{\pi * D_{ex}^2} ,$$

$$\text{AN : } L = 4 \frac{0.826}{\pi * 0.6^2} = 2.92 \text{ m} .$$

$$\mathbf{L = 2.92m}$$

- **Hypothèses**

$$\nu = 1^\circ$$

$D_i$ , étant le diamètre du cylindre grillagé

$$D_i = 0,5 \text{ m}$$

$$n = 0.205 \frac{AN}{40 \cdot \text{tg} 1^{0.5}} = 1,72 \text{ tr/mn}$$

### III.2. Dimensionnement du mécanisme d'entraînement :

$$\text{Le couple résistant : } C_r = n \cdot r$$

$n$  : une force par une loi  $n = f \cdot P/2$

$f$  : force de frottement

$P$  : force de pesanteur ( $M \cdot g$ )

Donc le problème c'est  $M$

$$M = M_{\text{équipement}} (M_e) + M_{\text{produit}} (M_p)$$

$$M_p = (G_i \cdot t) / 60, M_p = (141 \cdot 40) / 60, M_p = 94 \text{ kg}$$

$M_{\text{équipement}}$  varie en fonction de l'équipement utilisé par exemple on prend : ( $M_e$ ) = 170 kg

$$M = M(p) + M(e), M = 94 + 170, M = 264 \text{ kg.}$$

Pour ce tableau

Matériau	f (matériau à sec)	f (matériau lubrifié)
Acier/Acier	0,5 à 0,20	0,10
Acier/bronze	0,1 5	0,10
Acier/Antifriction		0,5
Acier/Nylon		0,10 à 0,20
Acier/Téflon	0,05 à 0,15	
Acier/caoutchouc	0,25 à 0,45	
Fonte/fonte	0,15	0,10
Fonte/Ferro do	0,20 à 0,50	

$$f = 0.15$$

$$C_r = n \cdot r \quad (17)$$

$$C_r = f \cdot M \cdot P / 2 \cdot (D_e / 2) \quad (22)$$

$$C_r = \frac{0.15 \cdot 264 \cdot 9.81}{2} \cdot \frac{0.6}{2}$$

$$C_r = 58.27 \text{ Nm}$$

Le couple admissible au niveau du réducteur sera supérieur ou égal à  $C_a = 2 \times C_r$

$$C_a = 116.54 \text{ N.m}$$

### III.2.1. Calcul de la puissance motrice :

La puissance admissible au niveau du réducteur de vitesse avec un rendement  $\eta = 0,9$

$$P_{\text{ad reducteur}} \geq (C_a \cdot \omega) / \eta, P_{\text{ad reducteur}} = (116.54 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 1.7) / (60 \cdot 0.9)$$

$$P_{\text{ad reducteur}} \geq 23.04 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{ad red}}}{P_{\text{ad mot}}} \quad (23)$$

$$P_{\text{ad moteur}} = \frac{P_{\text{ad red}}}{\eta} \quad (23-1)$$

pour un rendement de moteur égale a 80% on a :

$$P_{\text{ad moteur}} = 23.04 / 0.8$$

$$P_{\text{ad moteur}} = 28.8 \text{ watt}$$

### III.3. La puissance de ventilateur :

L'air de séchage est chauffé et transporté jusqu'au corps à sécher par l'action de ventilateur.

La relation (11), nous détermine le débit d'air chaud ( $V_i$ ) à introduire dans le séchoir :

$$V_i = 4927.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ce débit d'air correspond au débit d'air du ventilateur. Notre choix se porte sur un ventilateur hélicoïdal.

Le ventilateur se compose d'une virole en tôle muni d'un distributeur et d'un diffuseur pour augmenter considérablement le rendement (79%). L'entraînement se fait par un moteur électrique qui entraîne les ailettes fixées sur l'arbre dont le mouvement rapide de rotation motive une prise de vitesse de l'air (saisi par les ailettes) laquelle vitesse transformée en pression (charge utile) provoque une poussée de l'air qui traverse le cylindre en rotation.

On utilise le graphe figure 56 en dessous pour estimer la pression totale, la pression absorbée, la puissance de ventilateur grâce a le débit d'air introduit dans le séchoir :

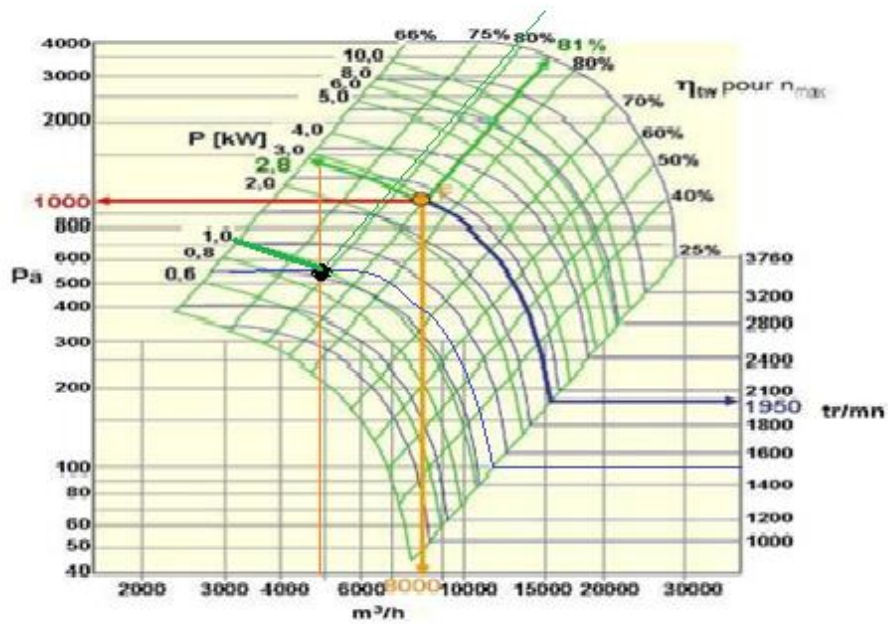


Figure 56 : Courbe pression absorbé /débit

Puissance	1 kW
Débit d'air	4927.28 m <sup>3</sup> /h
Alimentation	220V/ 50Hz
Vitesse de rotation	1500 tr/mn

Tableau 6 : caractéristique de ventilateur

### III.3.1. La puissance totale de surcircuit :

$$P_{\text{totale}} = P_v + P_m \quad (24)$$

$P_m$  : en prendre un moteur de 1 kW de puissance car la puissance utile c'est de 28.8 W pour minimisé les pertes

$P_v$  : puissance de ventilateur

$$P_{\text{totale}} = 1 + 1$$

$$P_{\text{totale}} = 2 \text{ kW}$$

#### IV. Calcul des dimensions des panneaux :

- Moteur : 1kw=1000w
- Ventilateur : 1 kw=1000w

$$E_v = 1000 * 8h = 8000 \text{ Wh}$$

$$E_m = 1000 * 8h = 8000 \text{ Wh}$$

$E_v$  : énergie de ventilateur

$E_m$  : énergie de moteur

$$P_g = P_t + 30\% = (1000 + 1000) + 30\% \quad (25)$$

$$\text{AN : } P_g = 2000 + 600$$

$$P_g = 2600 \text{ W}$$

$P_g$  : puissance globale

$P_t$  : puissance totale (ventilateur + moteur)

30% : facteur de perte

- **Calcule le nombre des panneaux :**

On va choisir un panneau de 350 w pour gagner en surface et en prix

$$n = \frac{2600}{350} \quad (26)$$

$$n = 8 \text{ panneaux}$$

n : nombre de panneau

- **Calcule des batteries :**
  - **Energie totale :**

$$E_n = 8000 + 8000 \quad (27)$$

$$E_n = 16000 \text{ Wh}$$

- **Calcule de capacité de stockage :**

$$C = \frac{En}{12 \cdot 0.7} \quad (28)$$

12 v tension de batterie

0.7 coefficient de décharge

$$\text{AN : } C = \frac{16000}{12 \cdot 0.7}$$

$$C = 1904.76 \text{ Ah}$$

- **Calculer le nombre de batterie :**

On a choisie une batterie AGM de 12/200Ah

$$np = \frac{1904.76}{200}$$

$$np = 10 \text{ batteries}$$

$n_p$  : nombre de batterie

- **Estimation de prix :**

Panneau de 350W son prix est de 28000 DA

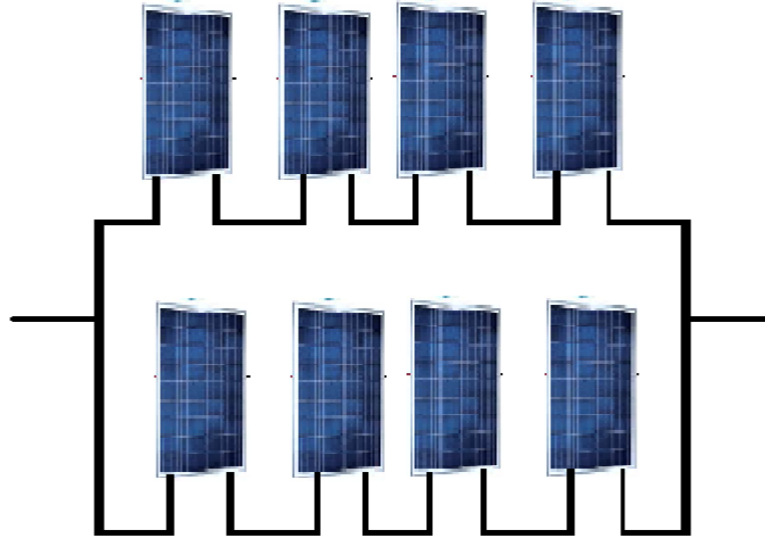
8 panneaux leurs prix est de 224000 DA

Batterie de 12/200Ah son prix est 53000 DA

10 batterie sons prix est 530000 DA

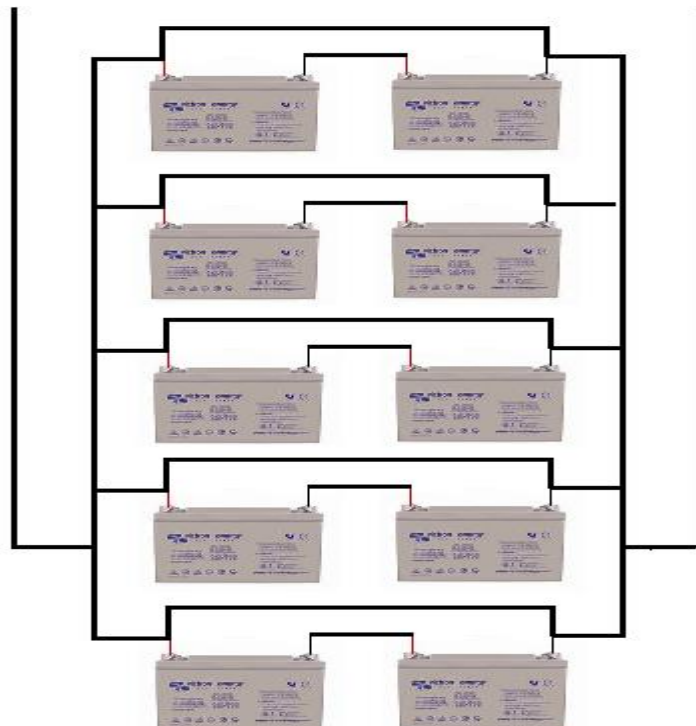
- L'architecture de l'installation photovoltaïque :
- Les panneaux :

On parallèle



- Les batteries :

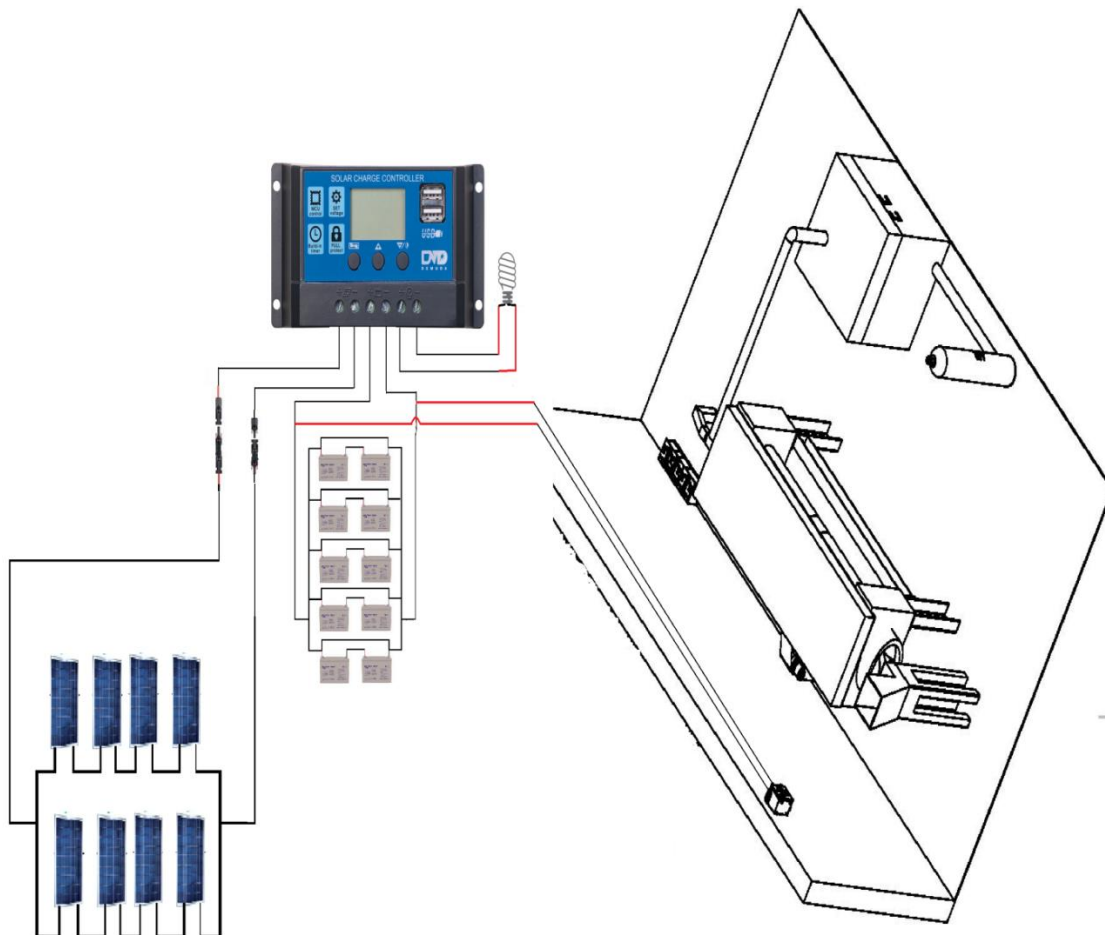
Toujours en ligne :



- **L'installation finale :**

Les files des panneaux 4-6 mm<sup>2</sup>

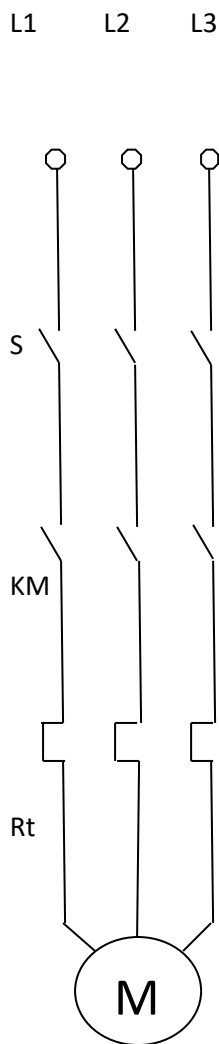
Les files des batteries 8-12 mm<sup>2</sup>



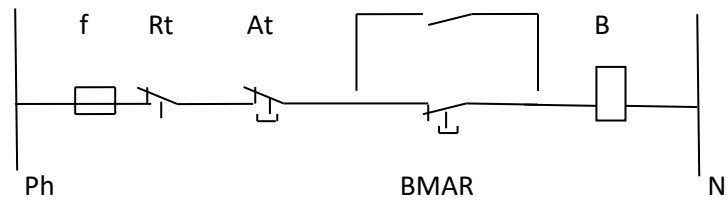


## V. Les circuits électrique de source de puissance et de commande :

k



Surcuit de puissance



Circuit de commande

f : Fusible

Rt : roulée thermique

KM : Contacteur

S : sectionnaire

L : phase (1.2.3)

Ph : phase

At : Boutant d'arrêt

B : bobine

BMAR : Bottant marche

N : Neutre

K : Tache de maintienne

## VI. Le contrôle de notre prototype :

Une formalisation en algorithme peut nous aider à bien comprendre le fonctionnement de l'opération de séchage de notre séchoir thermique en mentionnant les conditions de déclenchement et d'arrêt ainsi que les différents états de ce dernier. Cette implémentation algorithmique peut être vue comme l'automate qui va contrôler l'opération de séchage, qui peut être facilement implémenté dans un langage de programmation sur un micro-contrôleur tel que : Arduino ou Raspberry Pi, cela reste dans nos perspectives futures d'amélioration de notre étude.

### Algorithme :

#### ÉTAT INITIALE :

```
Moteur principale éteint; // moteur de rotation de séchoir.
```

```
Moteur thermique marche; // moteur de séchage allumé manuellement.
```

#### DÉBUT :

```
Tantque ( Température introduit dans le séchoir = 70°
```

```
ET Capteur de poids est actionné (>=50kg ET <95kg)
```

```
ET (25° <= Valeur de température de produit à sécher << 70°)
```

```
ET Valeur de capteur d'humidité > 15° ) Fait
```

```
/* tant que les conditions d'arrêt de séchoir ne sont pas vérifiées
```

```
Alors : continuer à sécher le produit */
```

```
Si ( moteur principale éteint ) Alors
```

```
démarrer moteur principale à 1.72 tours/min; // début de séchage.
```

```
Fin Si
```

```
Fin Tantque
```

```
/* produit séché, augmentation de la vitesse du moteur rotatif pour vider le séchoir */
```

```
Augmenter vitesse de moteur;
```

```
Arrêter le moteur principale (rotatif); // séchoir vide
```

```
Fin
```

## **Conclusion générale :**

L'opération de séchage consiste à débarrasser le produit d'une partie de son eau, grâce à une masse d'air chaude que l'on fait passer au-dessus du produit granulé. Cette étape permet la prise en masse au cours du stockage de l'engrais et aussi de diminuer le pourcentage de l'azote dans la masse d'engrais (fiente).

Le contrôle de la masse d'eau à extraire d'une unité de masse est très délicat, nécessite un acquis des connaissances pluridisciplinaires en chimie, transfert de chaleur et de masse, biologie, et en génie électrique pour en fin arriver à contrôler le pourcentage d'azote dans la terre utiliser en agriculture.

Ça n'a pas été facile pour nous de procéder à ces calculs, quantifier et estimer la quantité de chaleur requise pour sécher une masse donnée de fiente à un taux d'azote déterminé en se basant sur la littérature qui est très pauvre en données, apporter même une amélioration représentée par une mini station de panneaux solaire qui offre une autonomie au séchoir pour les agriculteurs isolés ou loin du réseau électrique de la SONELGAZ.

Pour les prochaines études on suggère une étude de possibilité de remplacer le gaz ou fuel par d'autres sources de chaleur ou mixer deux ou trois sources afin d'avoir des gains économiques.

## Références bibliographiques :

- [1] : <https://fr.scribd.com/doc/313865527/Bilan-massique-et-energetique-EL-JANATI-Ali-918-pdf>- Bilan massique et energetique - EL JANATI Ali\_918. 2011/2012.
- [2] : <https://fr.scribd.com/document/342611604/Bilan-Massique-Et-Thermique-d-FALOUS-Redouane-917>- Bilan massique et thermique d' - FALOUS Redouane\_917.2012/2013.
- [3] : <http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH01f4.dir/pfe.gm.0039.pdf> - Conception d'un séchoir à cylindre rotatif pour les produits granulés à base de céréales (pfe).2002/2003
- [4] : <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/4625/1/memoir%20final%20PDF.pdf> - Etude du séchage des produits agricoles dans un séchoir solaire-cas de poivron rouge (pfe)2016/2017.
- [5] : [https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/DEGLA\\_SIOUED.pdf?idmemoire=2633](https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/DEGLA_SIOUED.pdf?idmemoire=2633) - séchage solide pdf 2014/2015
- [6] : [https://www.academia.edu/36669517/INTRODUCTION\\_AUX\\_TRANSFERTS\\_THERMIQUES](https://www.academia.edu/36669517/INTRODUCTION_AUX_TRANSFERTS_THERMIQUES) - introduction aux transferts thermique pdf.
- [7] : <http://dspace.univ-msila.dz:8080//xmlui/handle/123456789/9960> - Commande d'un moteur a courant continu a l'aide d'un convertisseur bidirectionnel etude et simulation 2005
- [8] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-du-genie-industriel-alimentaire-42430210/sechage-des-produits-alimentaires-f3000/> - Séchage des produits alimentaires

Auteur(s) : Catherine BONAZZI, Jean-Jacques BIMBENET

Date de publication : 10 juin 2003

- [9] : [https://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/10079/THESE\\_KABIDI.pdf?sequence=1](https://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/10079/THESE_KABIDI.pdf?sequence=1) - Expérimentation et modélisation du comportement énergétique et thermique d'un séchoir solaire sous le climat de la région de Rabat 2014/2015
- [10] : <https://anyl4psd.org/wp-content/uploads/2018/03/3.-Memoire-022-BDN.pdf> - Evaluation de la gestion des fientes de poules pondeuses : cas de la grande ferme du GIC AECAM de MENDONG 2014/2015
- [11] : [https://fr.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/FR\\_FR\\_Techniques\\_de\\_s%C3%A9chage\\_FR\\_148.pdf](https://fr.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/FR_FR_Techniques_de_s%C3%A9chage_FR_148.pdf) - FR\_FR\_Techniques\_de\_séchage\_FR\_148
- [12] : COUR DE SECHAGE Dr OUDAD W
- [13] <http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-mcc.pdf> - LA MACHINE À COURANT CONTINU (Classe de première SI)
- [14] : <https://fr.scribd.com/document/352724256/Commande-en-Vitesse-D-un-Moteur-a-Courant-Continu-Par-Backstepping> - COMMANDE EN VITESSE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU PAR BACKSTEPPING rapport de projet - Article 2013
- [15] : université international de Casablanca .
- [16] <https://www.antargaz.fr/professionnel/agroalimentaire/sechage>
- [17] <https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/BAHADJ-AHMED.pdf?idmemoire=54506> – bahadj ahmed pdf 2013/2014
- [18] [https://document.environnement.brussels/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=5934](https://document.environnement.brussels/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=5934) - IF\_Energie\_ELEC07\_Part\_FR 2008
- [19] <https://www.hbm.com/fr/6768/comment-fonctionne-exacte-un-capteur-de-pesage/>

[20] [https://media.xpair.com/pdf/formation/cours/questions-theorie\\_des\\_ventilateurs.pdf](https://media.xpair.com/pdf/formation/cours/questions-theorie_des_ventilateurs.pdf) - Théorie des ventilateurs

[21] <https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-le-ventilateur/>

[22] [http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte\\_arduino.pdf](http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf) - Découverte de la carte Arduino UNO

[23] [https://www.cder.dz/download/smsts08\\_16.pdf](https://www.cder.dz/download/smsts08_16.pdf) - Réalisation d'un séchoir solaire indirect 2008

[24] <https://bu.umc.edu.dz/theses/gclim/NAS7216.pdf> - FAISABILITE ET ADAPTATION DES SÈCHOIRS SOLAIRES SOUS LE CLIMAT LOCAL 2018

[25] [http://www.wimesure.fr/cbx/\\_ftp/hb303f.p](http://www.wimesure.fr/cbx/_ftp/hb303f.p) - Selection du capteur d'humidite (Guide ALMEMO® 9ème édition révisée)

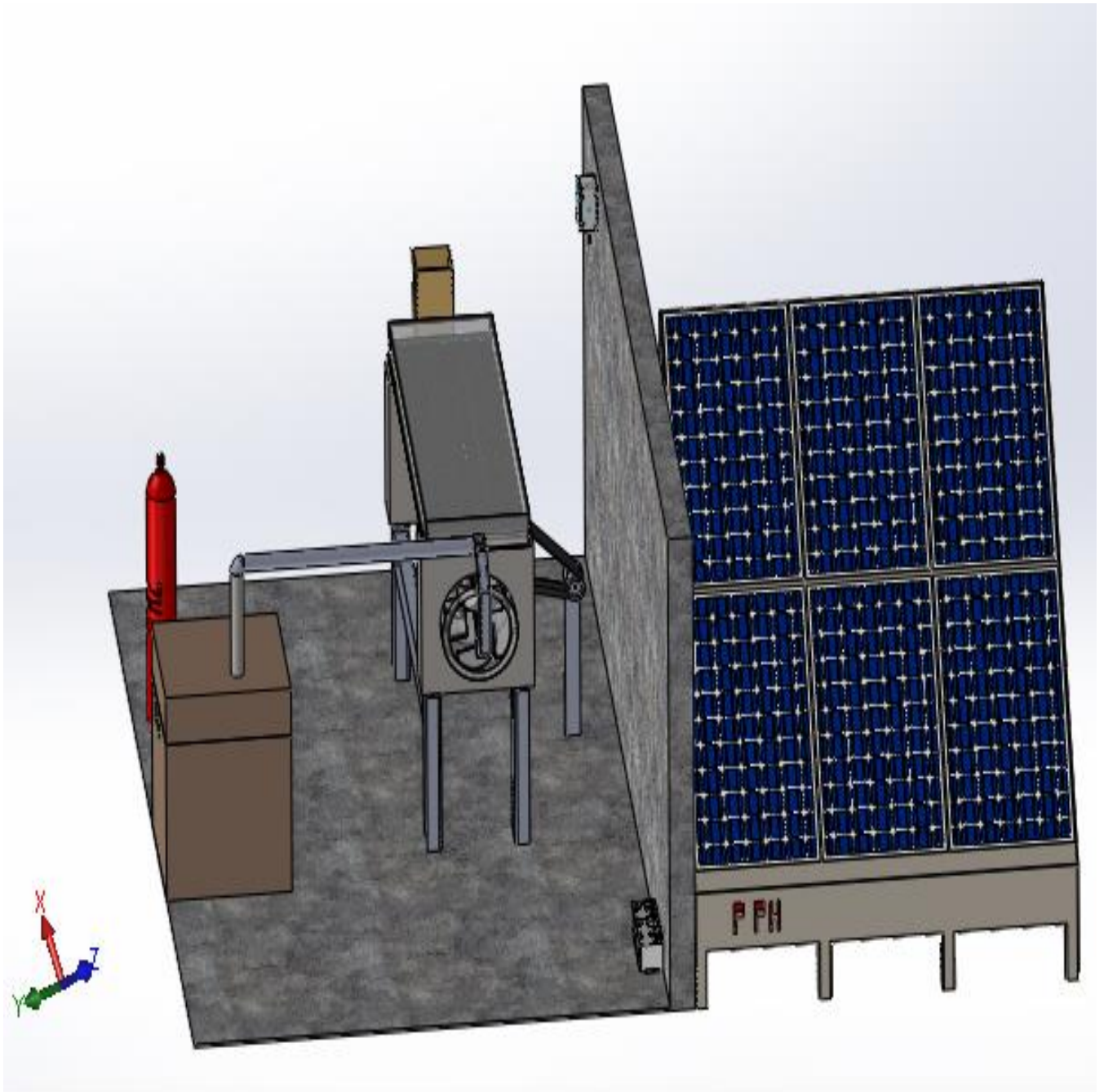
[26] Le diagramme psychrométrique

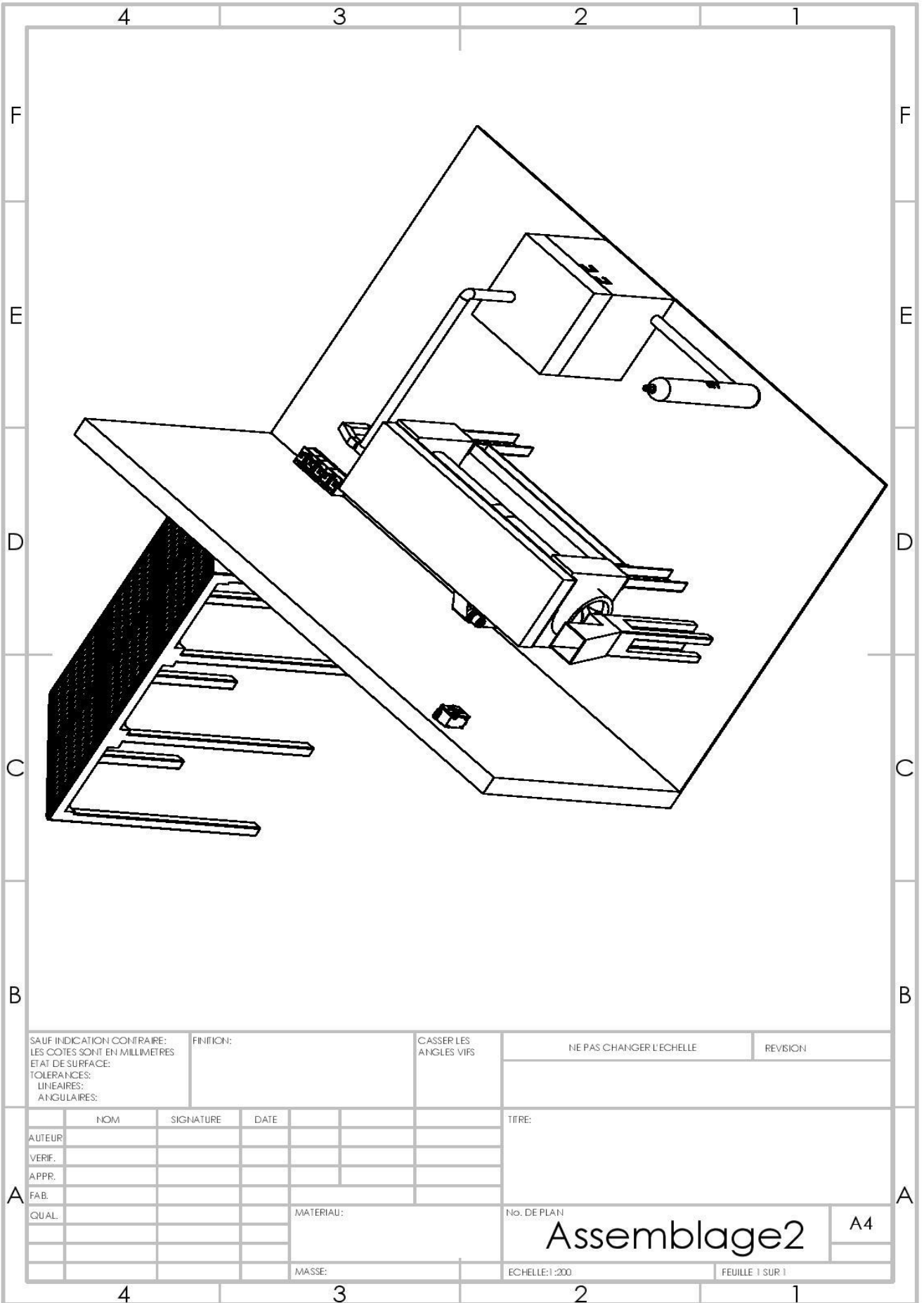
[27] <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/aerovoltaique/>

# Annexes









SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:

MATERIAU:

No. DE PLAN

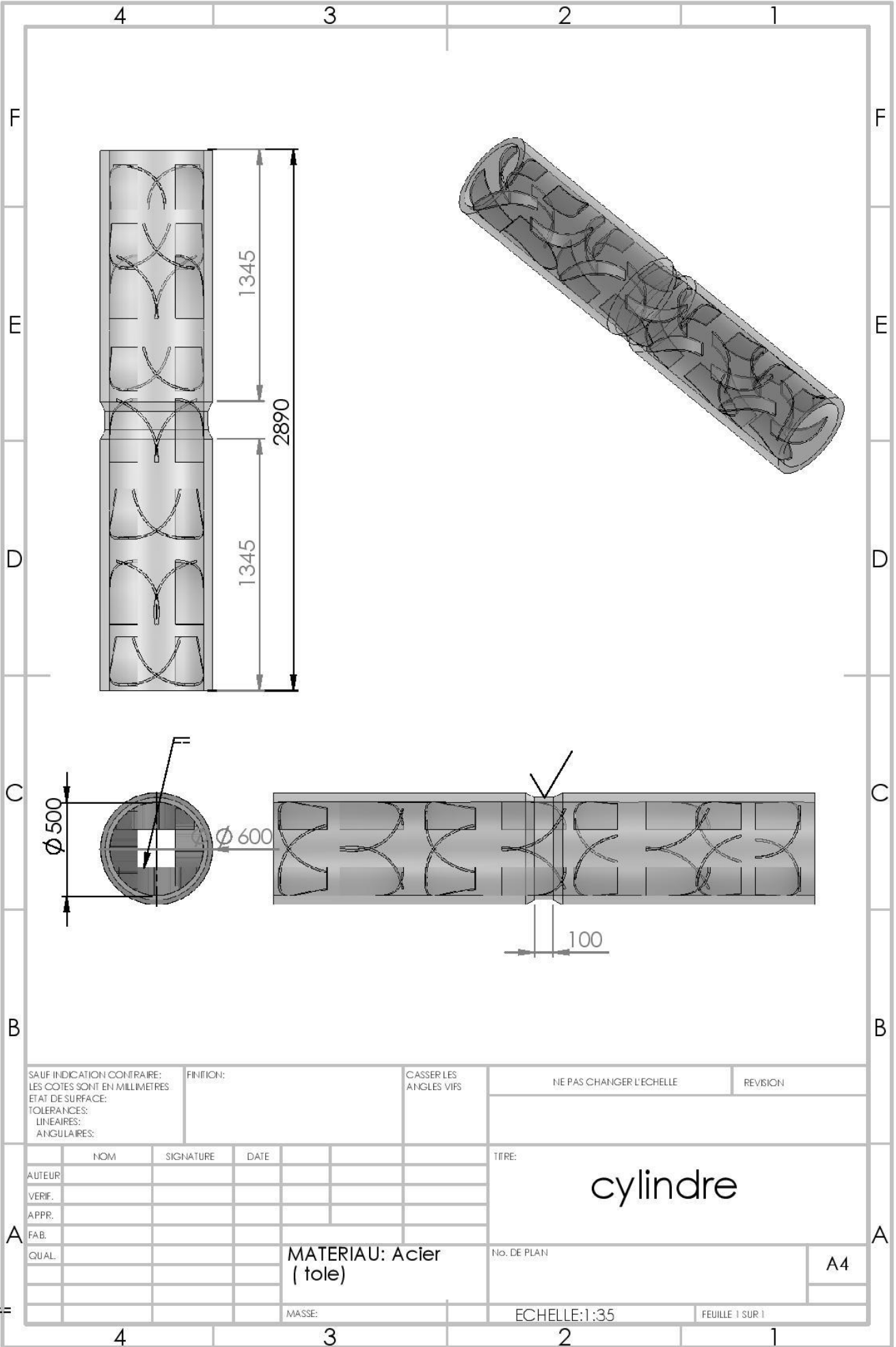
Assemblage2

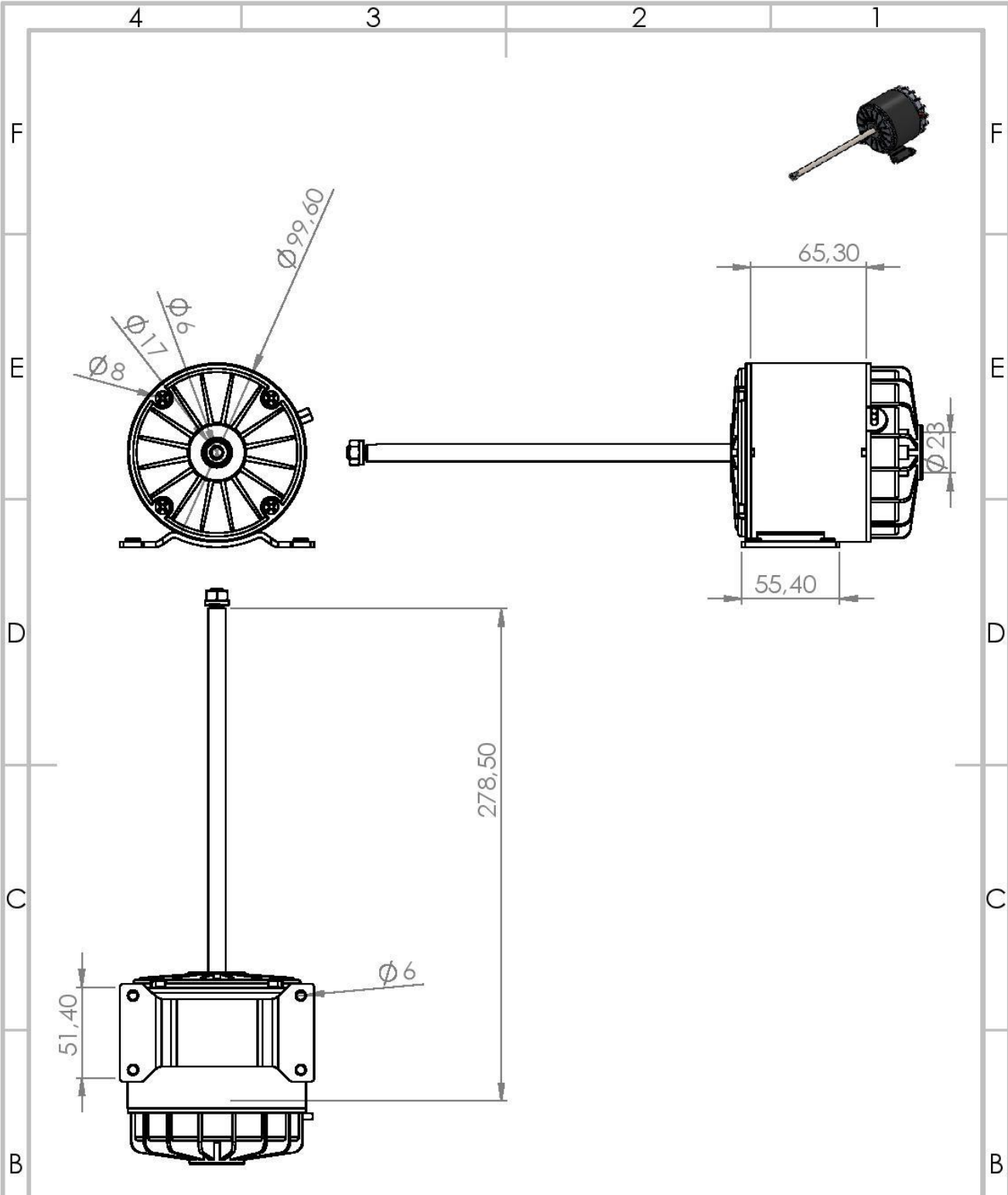
A4

MASSE:

ECHELLE:1:200

FEUILLE 1 SUR 1





SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES.  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

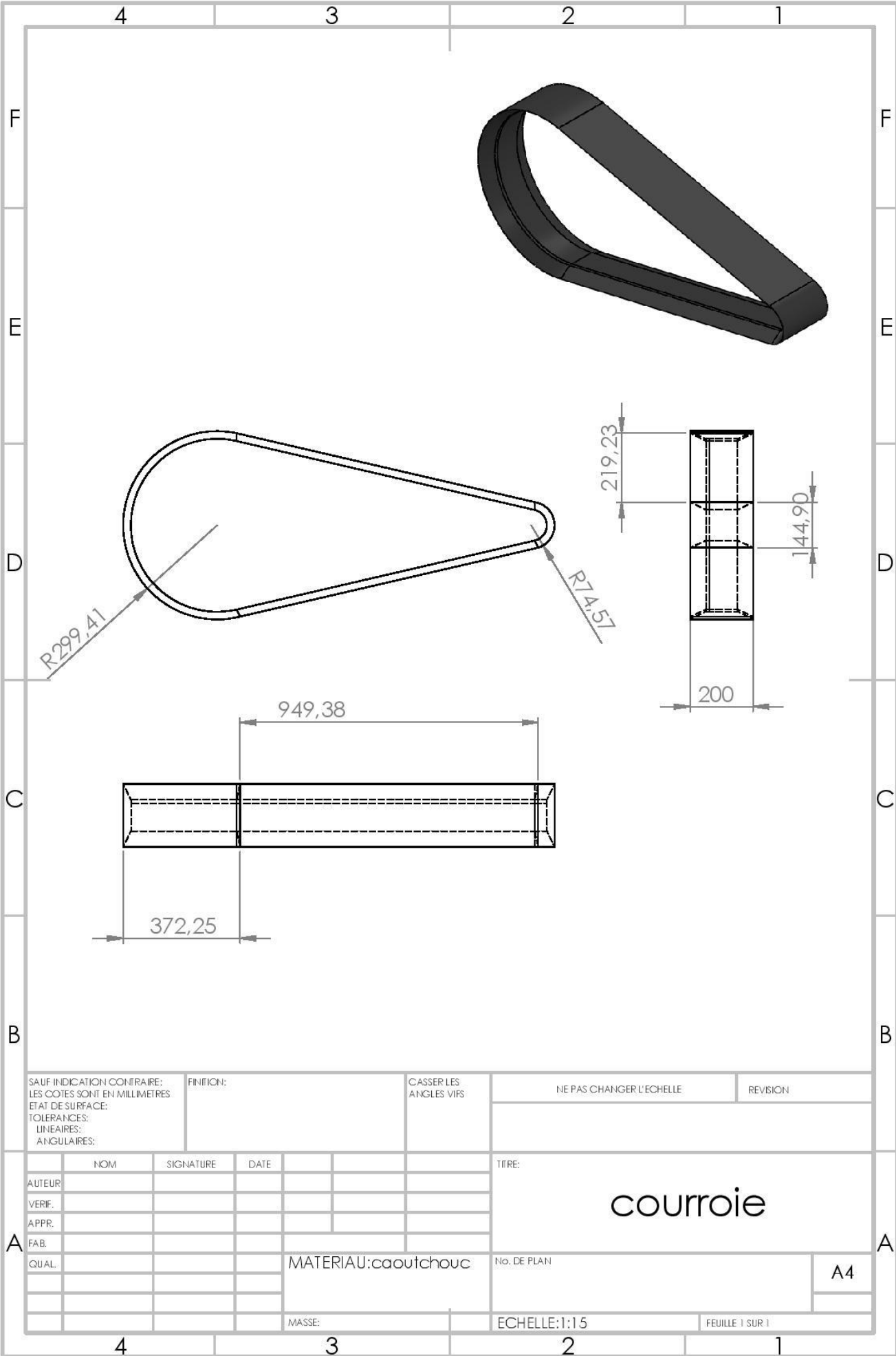
CASSER LES ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

NOM				SIGNATURE		DATE		TITRE:	
AUTEUR								<h1>moteur D C</h1>	
VERIF.									
APPR.									
FAB.									
QUAL.						MATERIAU:		No. DE PLAN	
						MASSE:		ECHELLE: 1:3	
								FEUILLE 1 SUR 1	

A4



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES.  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:  
**courroie**

No. DE PLAN

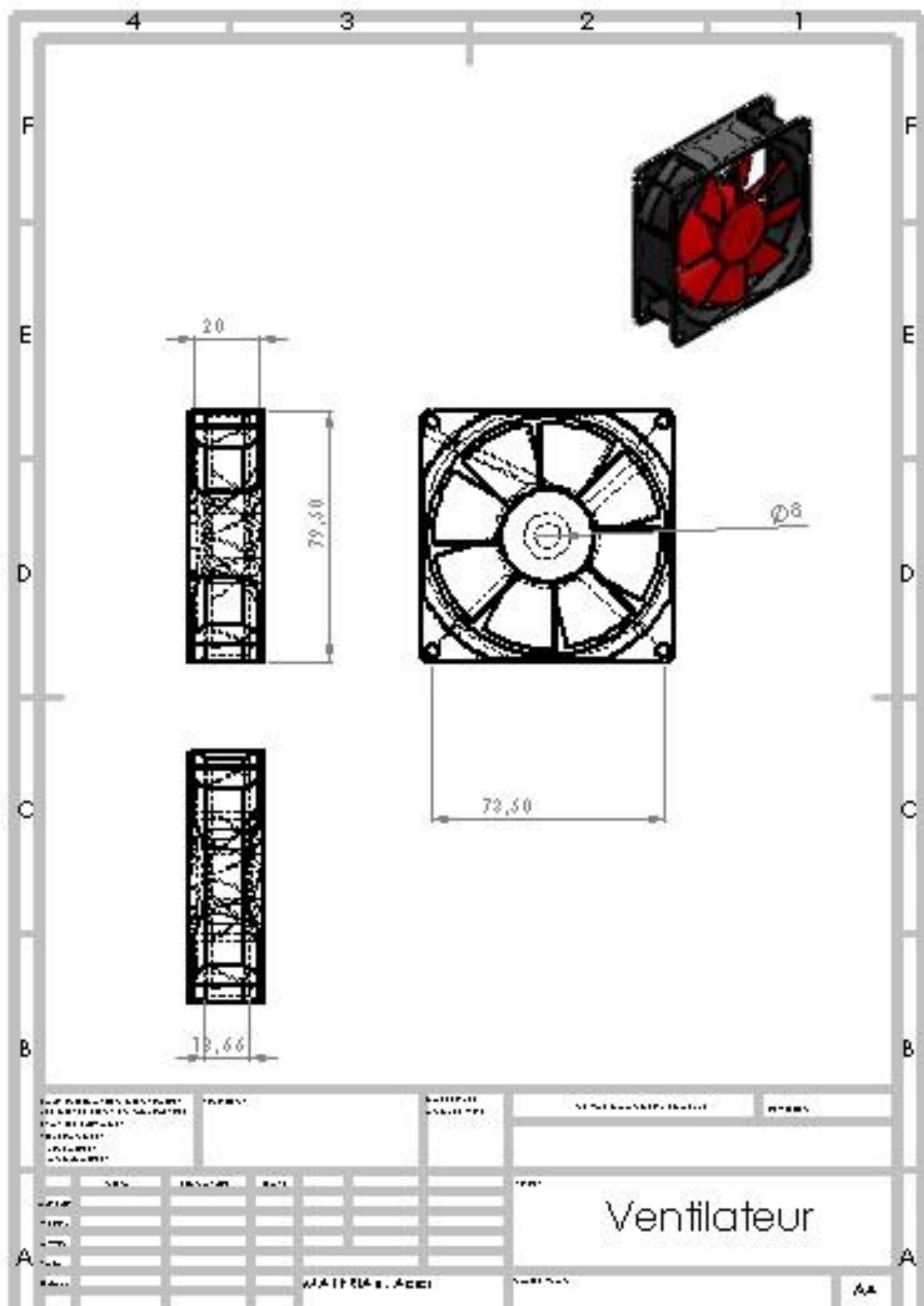
ECHELLE: 1:1,5

FEUILLE 1 SUR 1

MATERIAU: caoutchouc

A4

MASSE:



ÉLÉMENTS DE LA VUE  
 (à compléter en fonction de la vue)

PROFIL

ÉLÉMENTS

ÉTAT DE FINITION

PROFIL

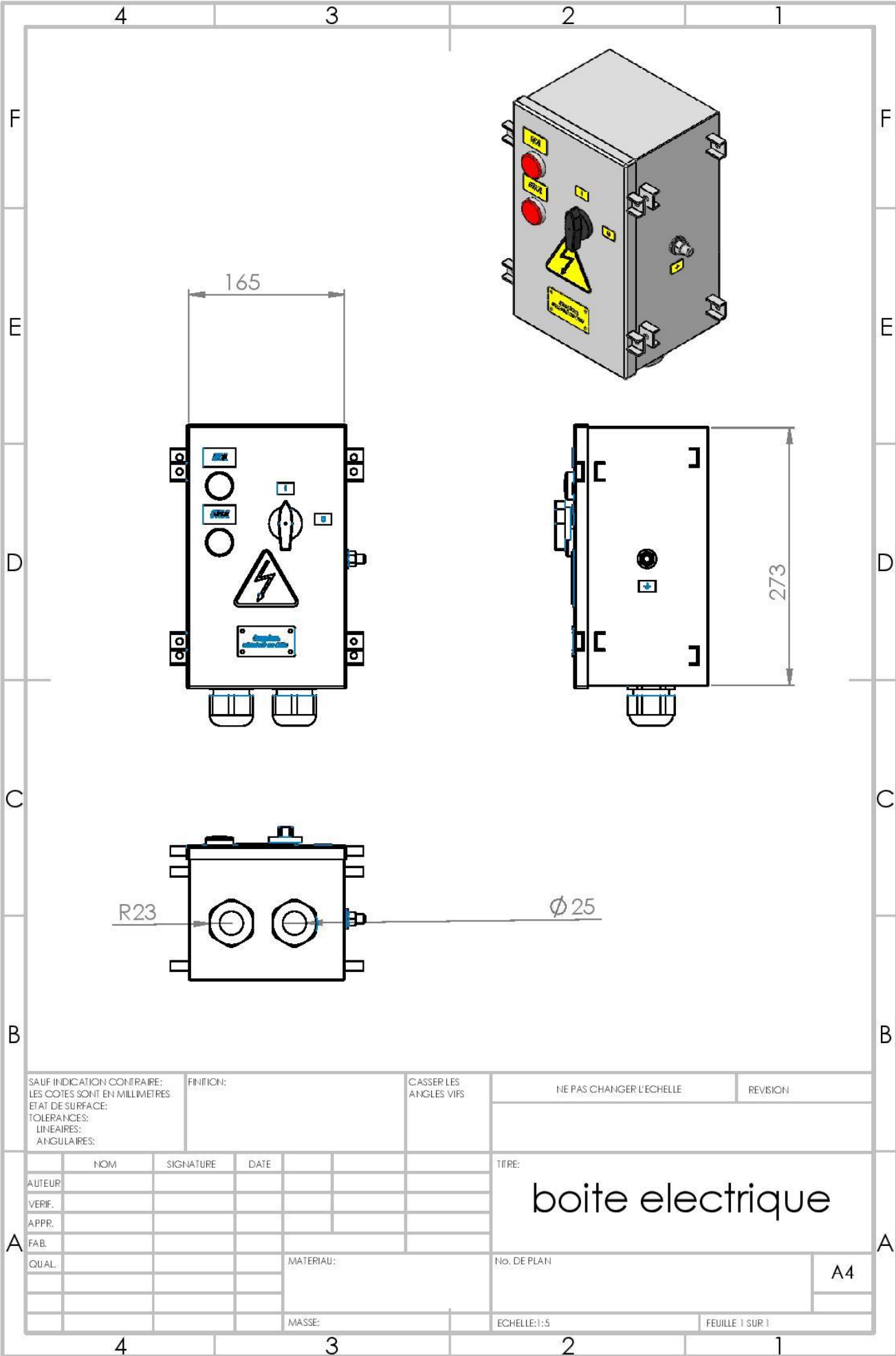
A  
 B  
 C  
 D  
 E  
 F

PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL

Ventilateur

MATÉRIEL

AA



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES.  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE
AUTEUR			
VERIF.			
APPR.			
FAB.			
QUAL.			

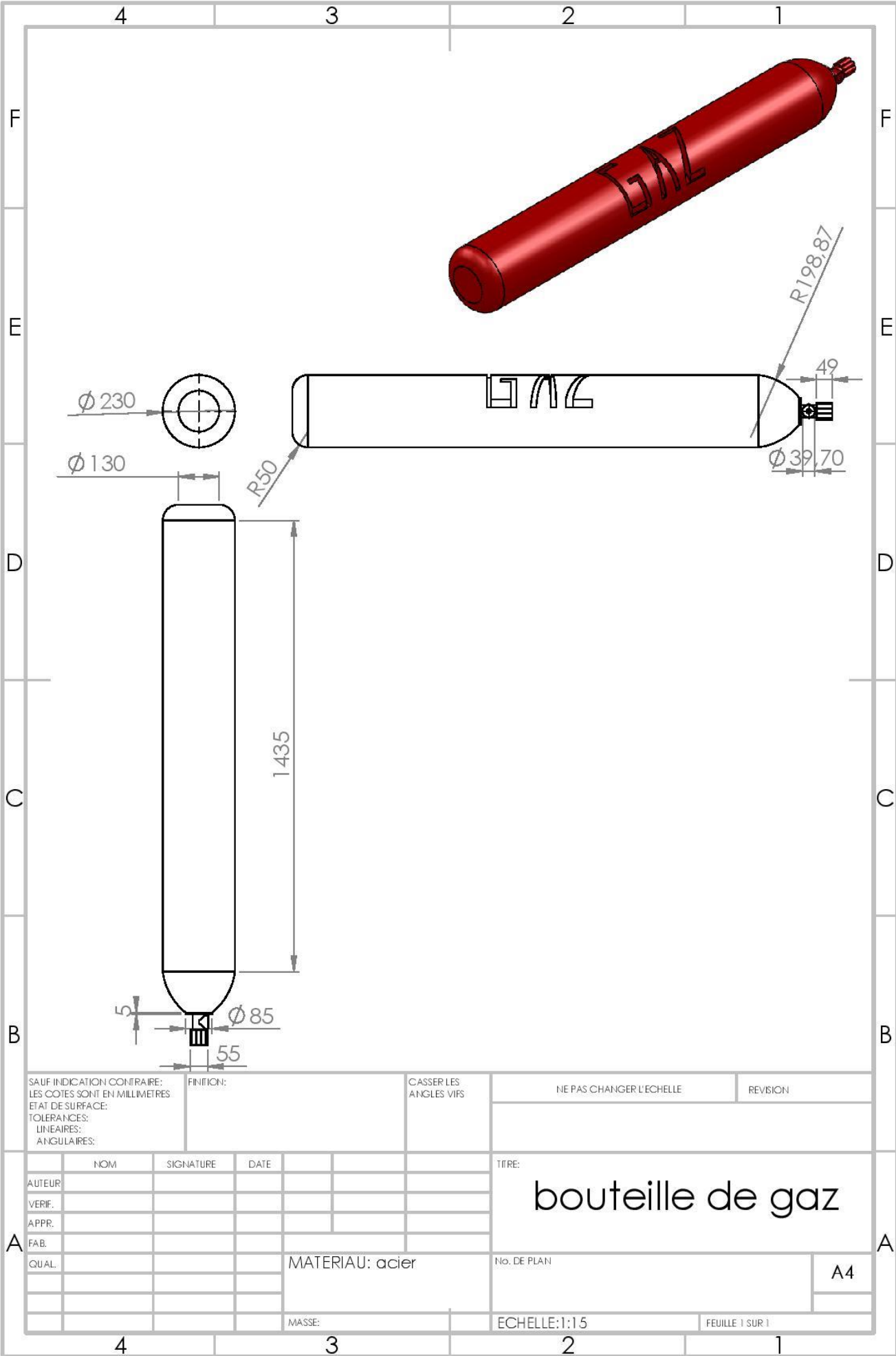
TITRE:  
**boite electrique**

No. DE PLAN

ECHELLE: 1:5

FEUILLE 1 SUR 1

A4



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES.  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE
AUTEUR			
VERIF.			
APPR.			
FAB.			
QUAL.			

TITRE:  
**bouteille de gaz**

No. DE PLAN

ECHELLE: 1:1.5

FEUILLE 1 SUR 1

MATERIAU: acier

A4

MASSE:

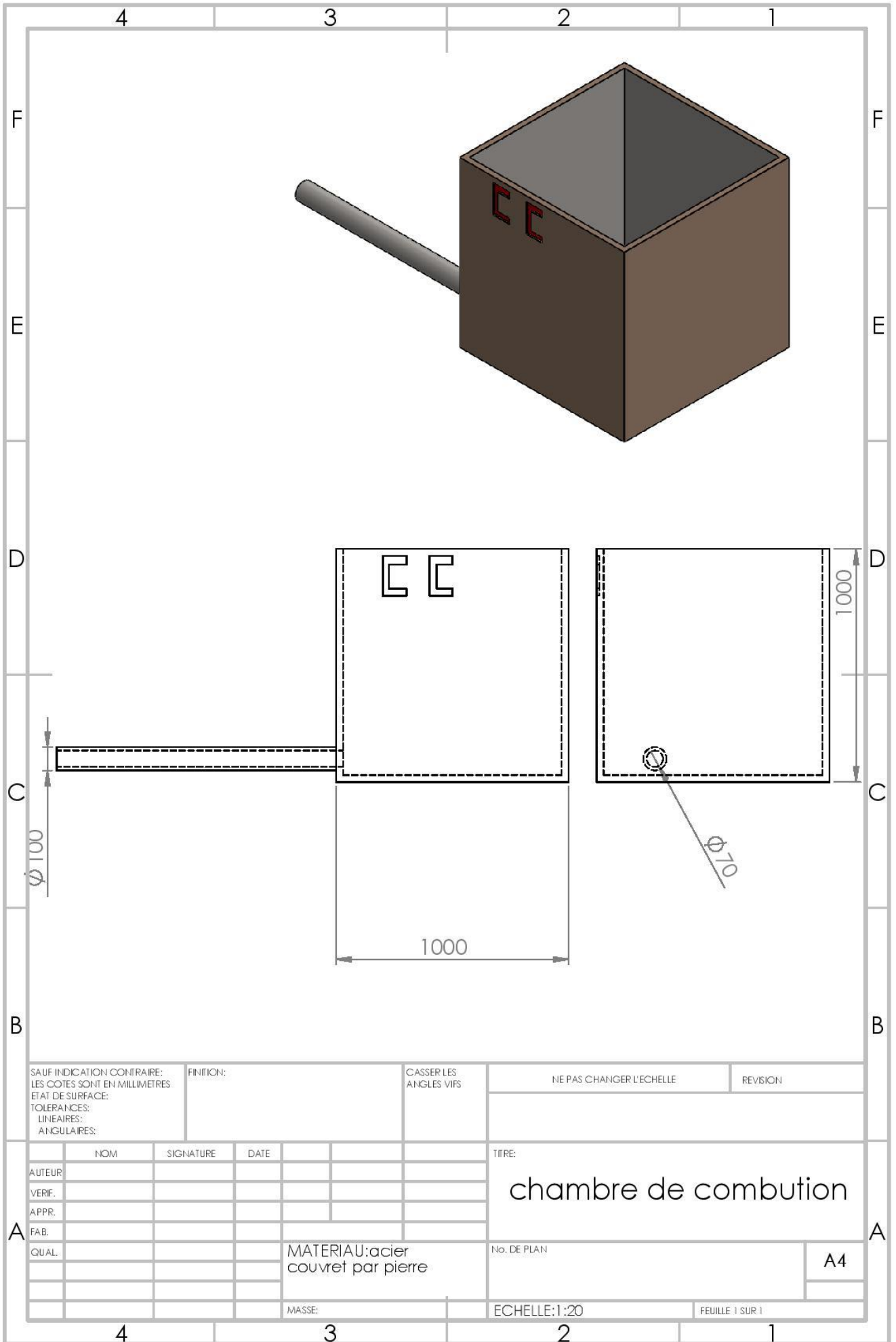
4

3

2

1





SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:

chambre de combustion

No. DE PLAN

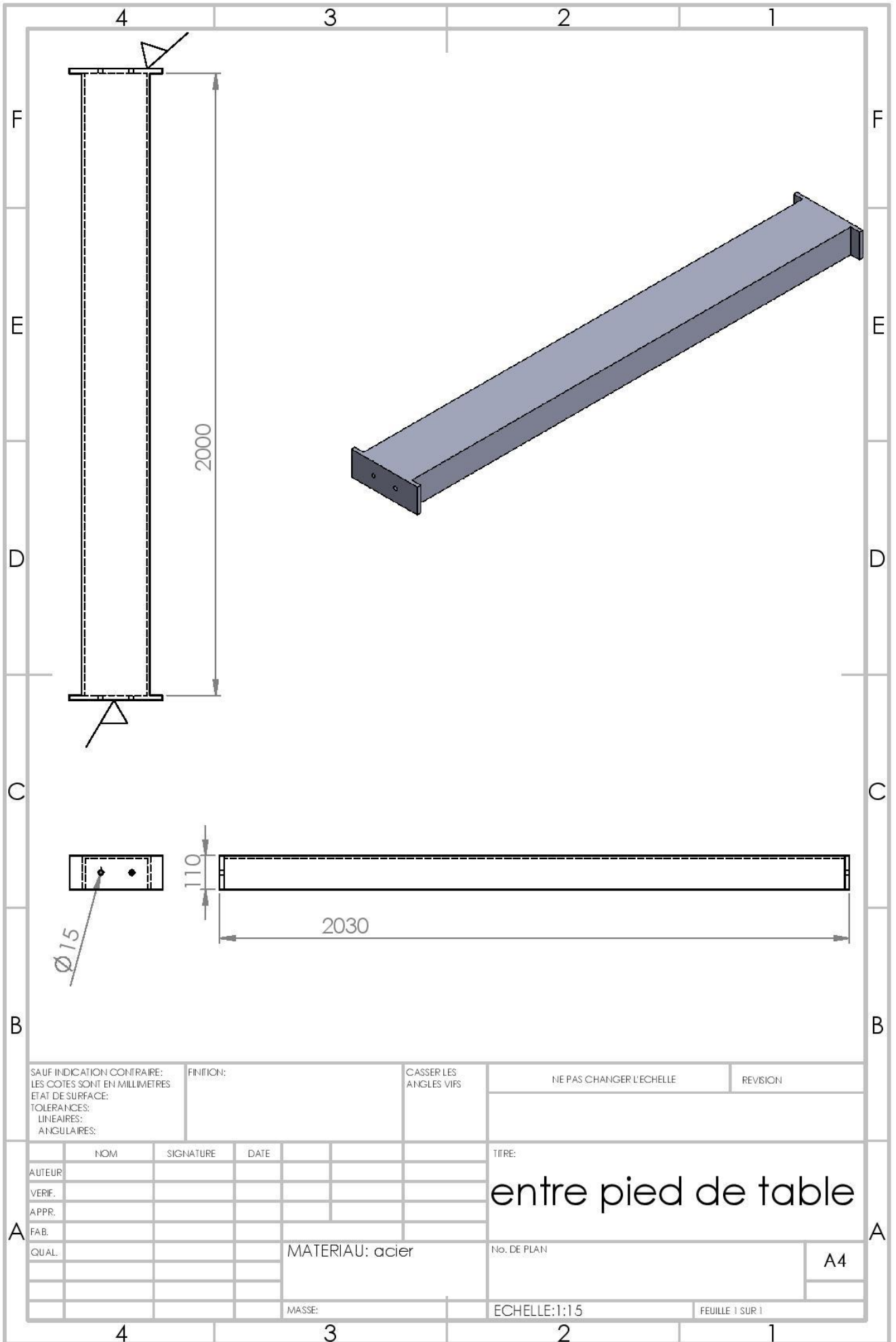
MATERIAU:acier  
couvret par pierre

A4

MASSE:

ECHELLE:1:20

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:

entre pied de table

MATERIAU: acier

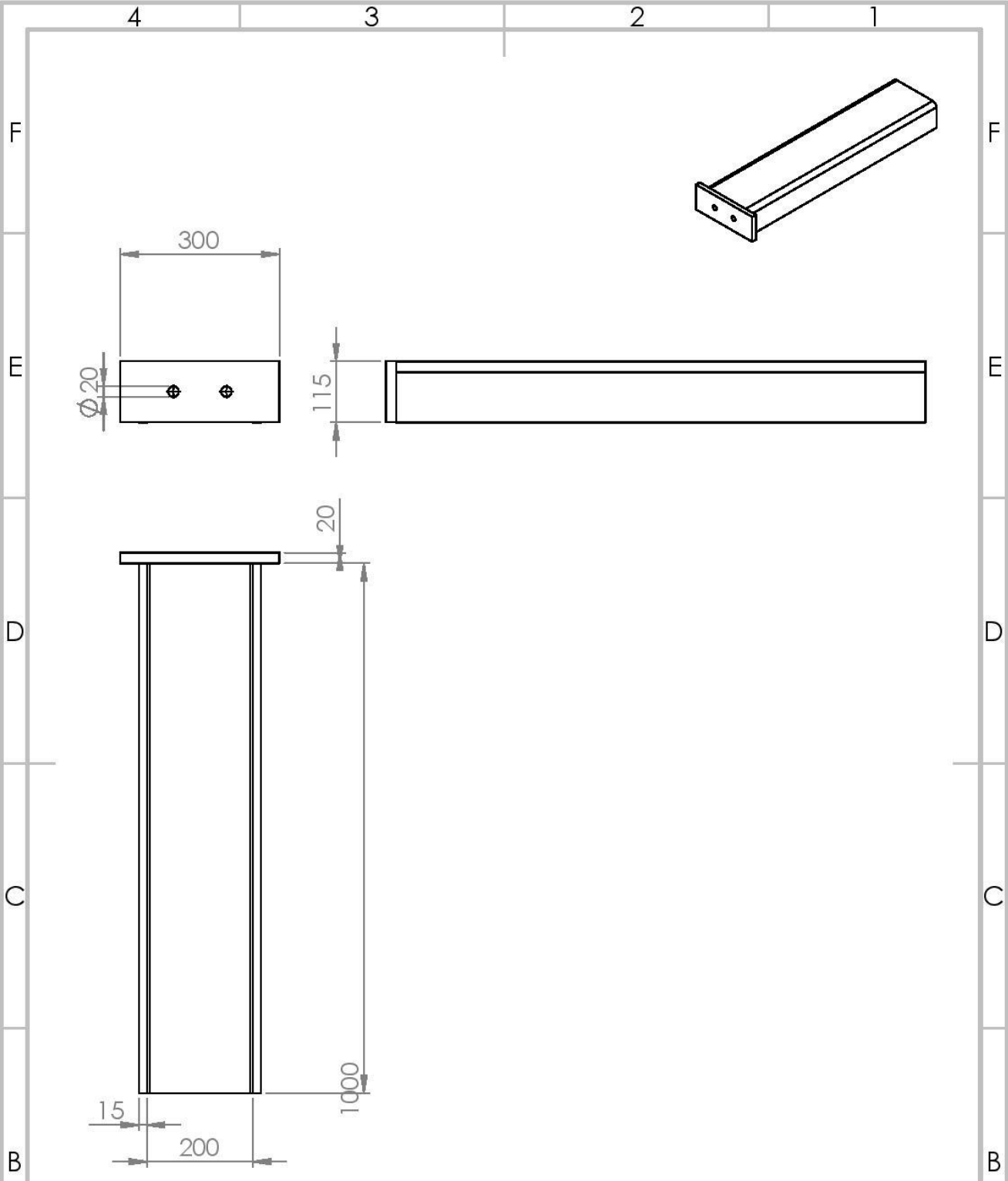
No. DE PLAN

A4

MASSE:

ECHELLE: 1:15

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE
AUTEUR			
VERIF.			
APPR.			
FAB.			
QUAL.			

TITRE:  
pied

MATERIAU:acier

No. DE PLAN

ECHELLE:1:10

FEUILLE 1 SUR 1

A4

A

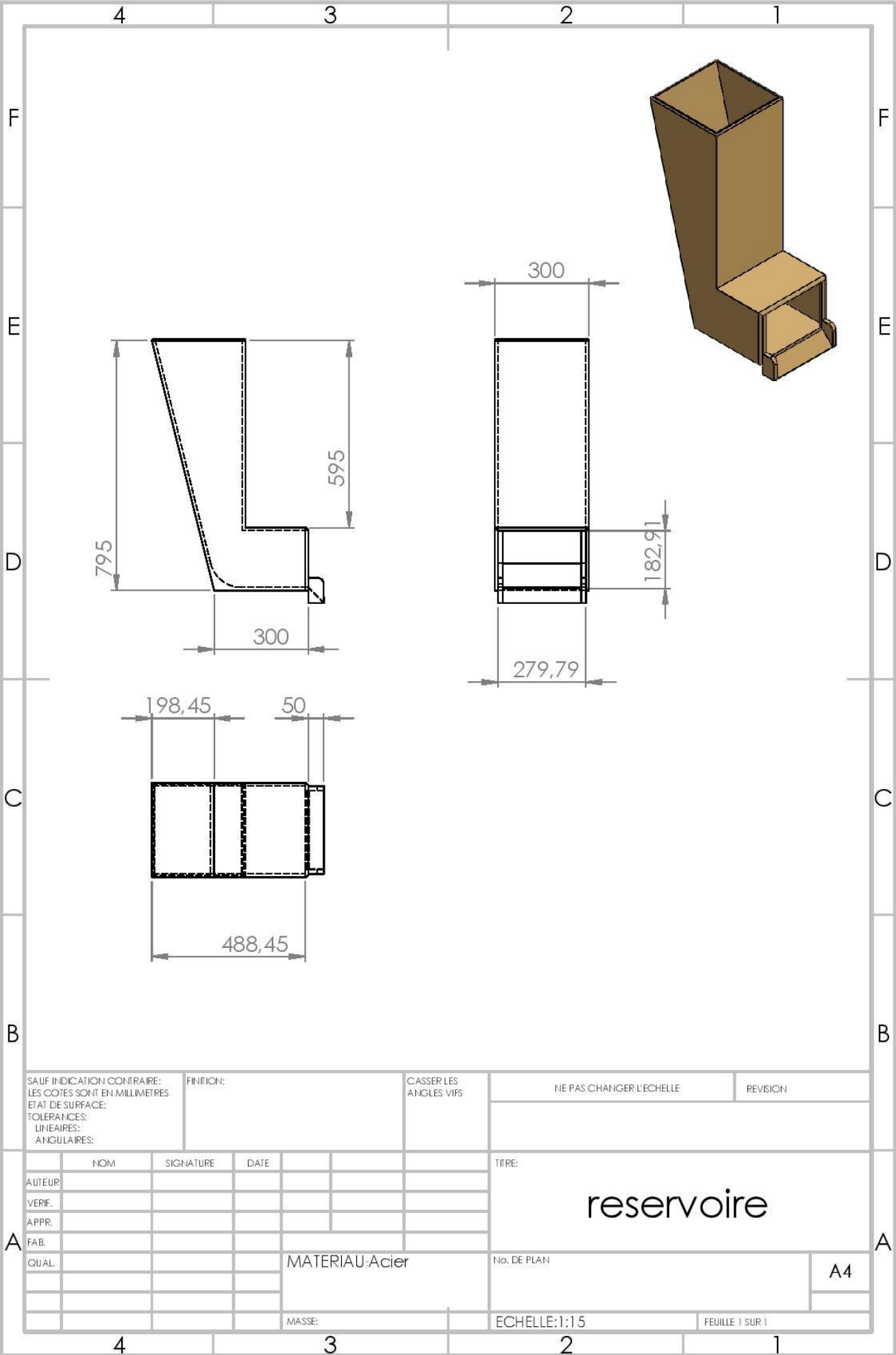
A

4

3

2

1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:

reservoir

MATERIAU:Acier

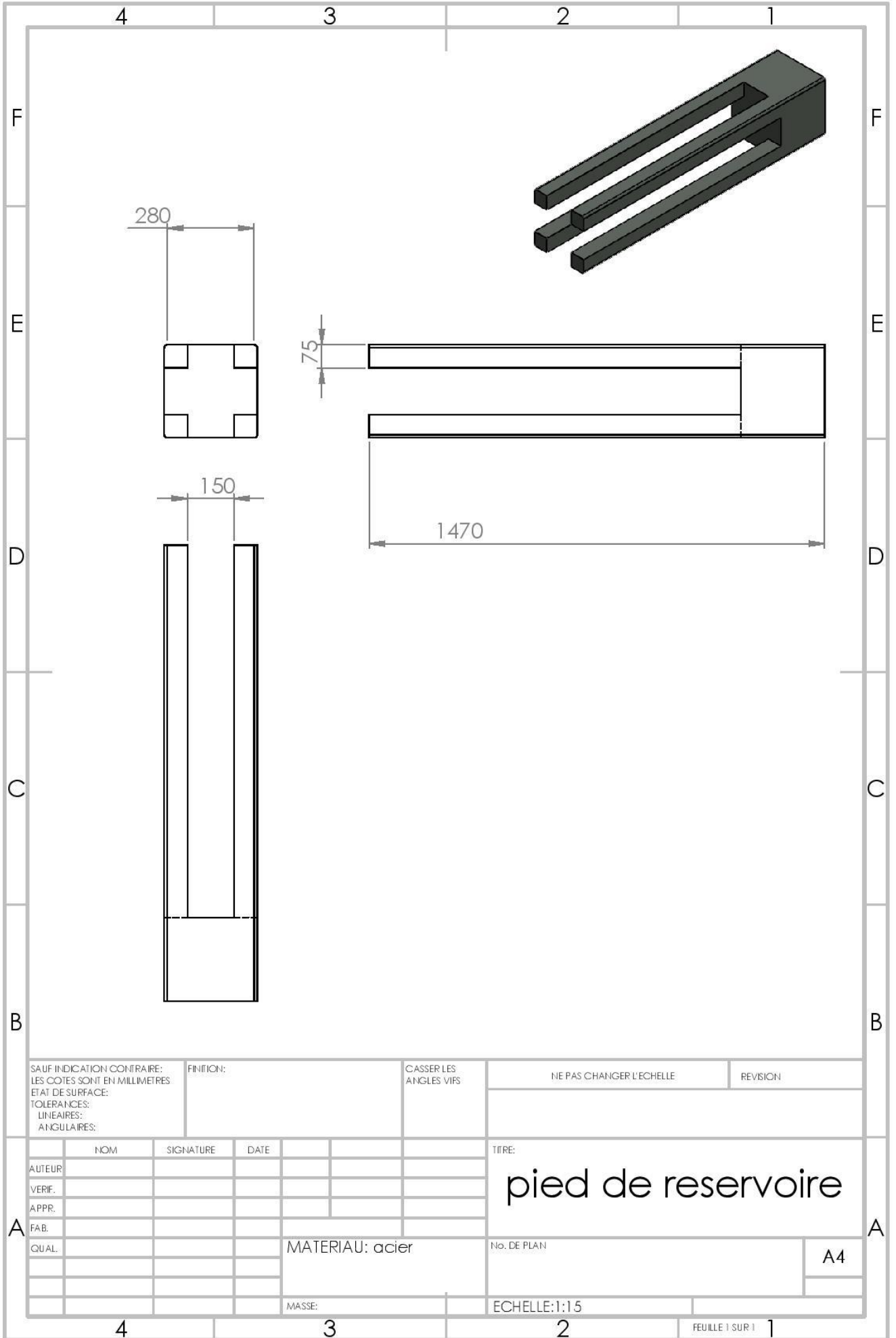
No. DE PLAN

A4

MASSE:

ECHELLE:1:15

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE
AUTEUR			
VERIF.			
APPR.			
FAB.			
QUAL.			

TITRE:  
**pied de reservoir**

MATERIAU: acier

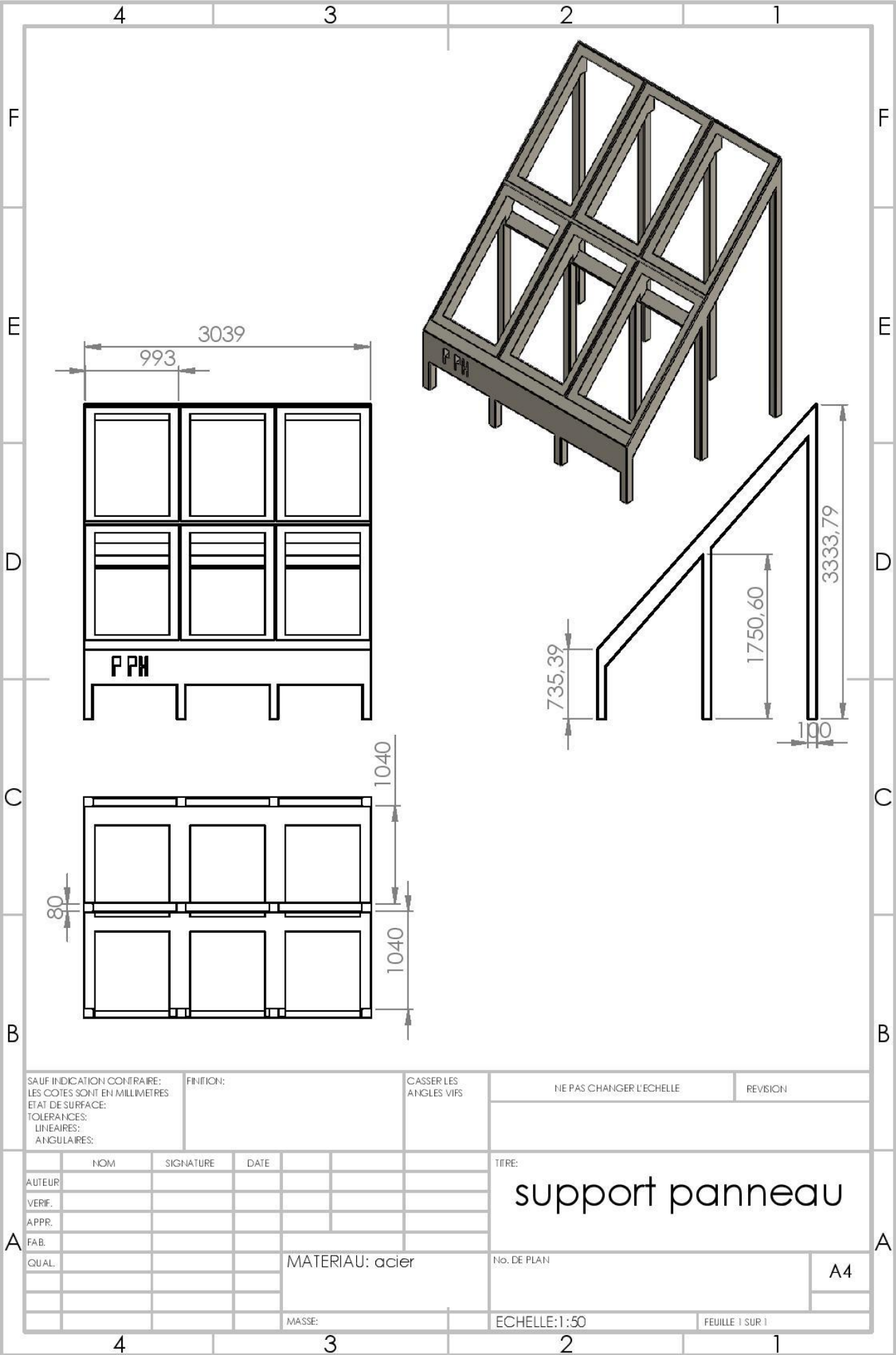
No. DE PLAN

A4

MASSE:

ECHELLE: 1:15

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE
AUTEUR			
VERIF.			
APPR.			
FAB.			
QUAL.			

TITRE:  
**support panneau**

MATERIAU: acier

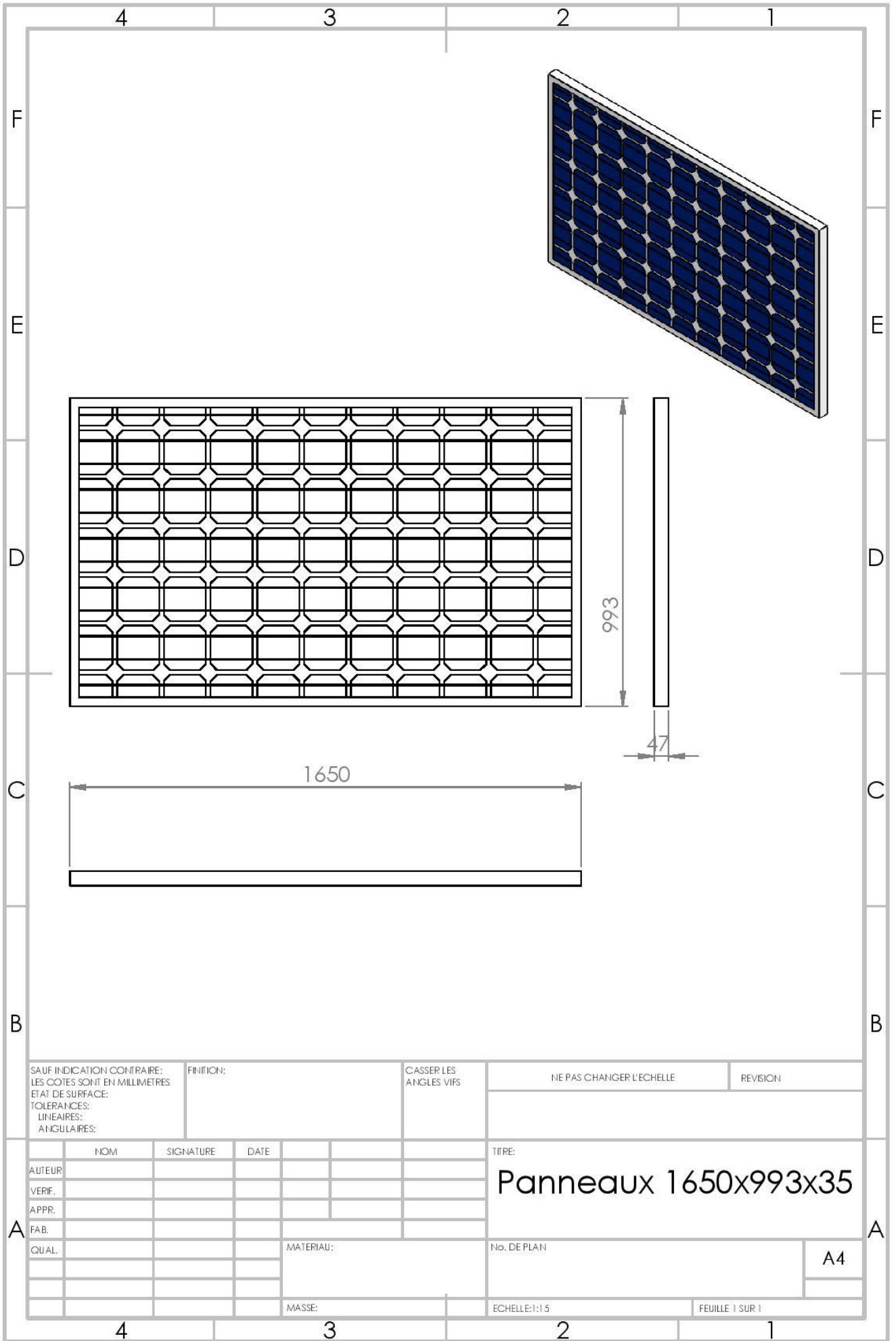
No. DE PLAN

A4

MASSE:

ECHELLE: 1:50

FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

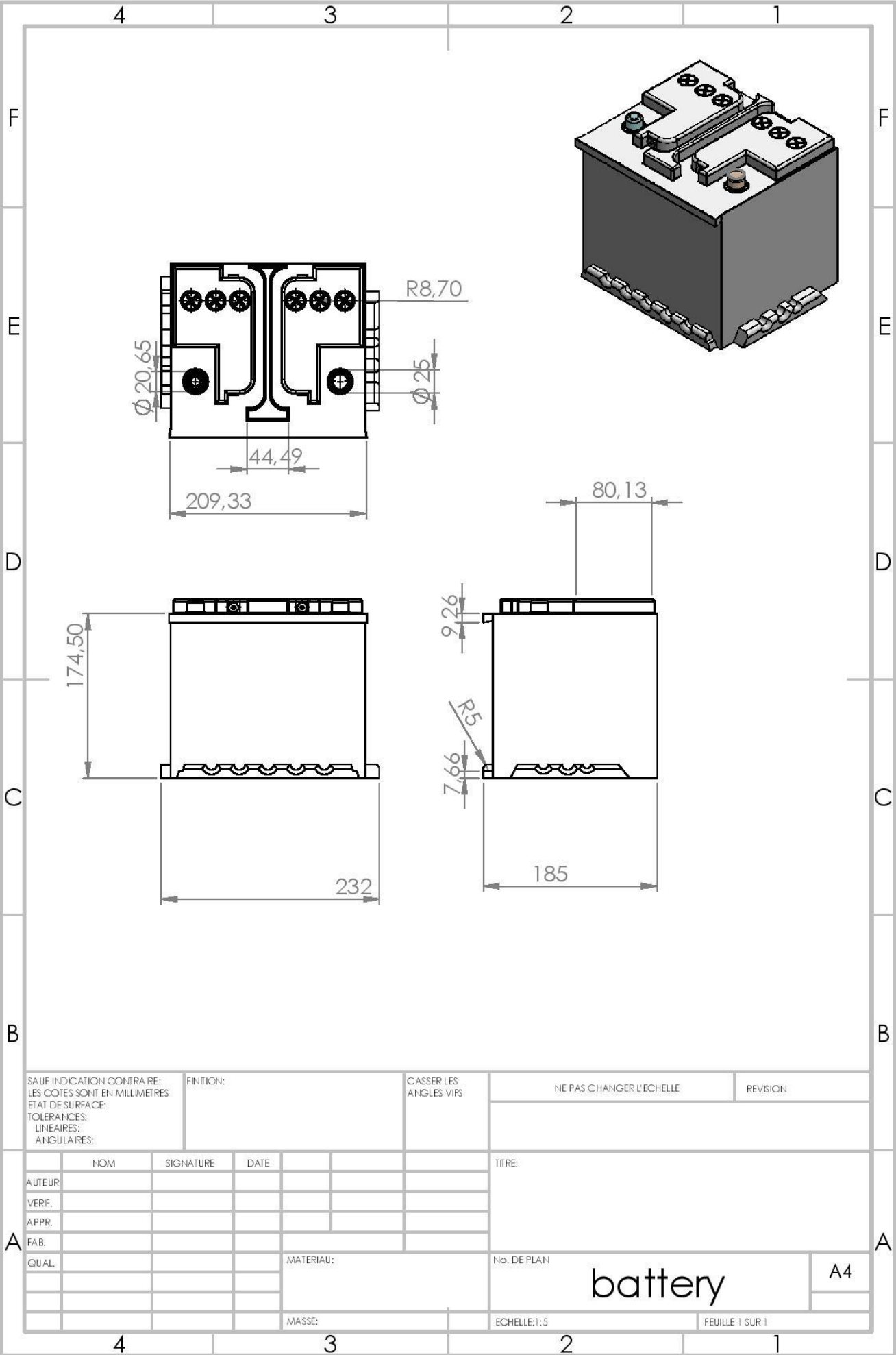
REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:  
**Panneaux 1650x993x35**

				MATERIAU:	
				MASSE:	

No. DE PLAN  
A4  
ECHELLE: 1:1.5  
FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE	
AUTEUR				
VERIF.				
APPR.				
FAB.				
QUAL.				

TITRE:

MATERIAU:

No. DE PLAN

battery

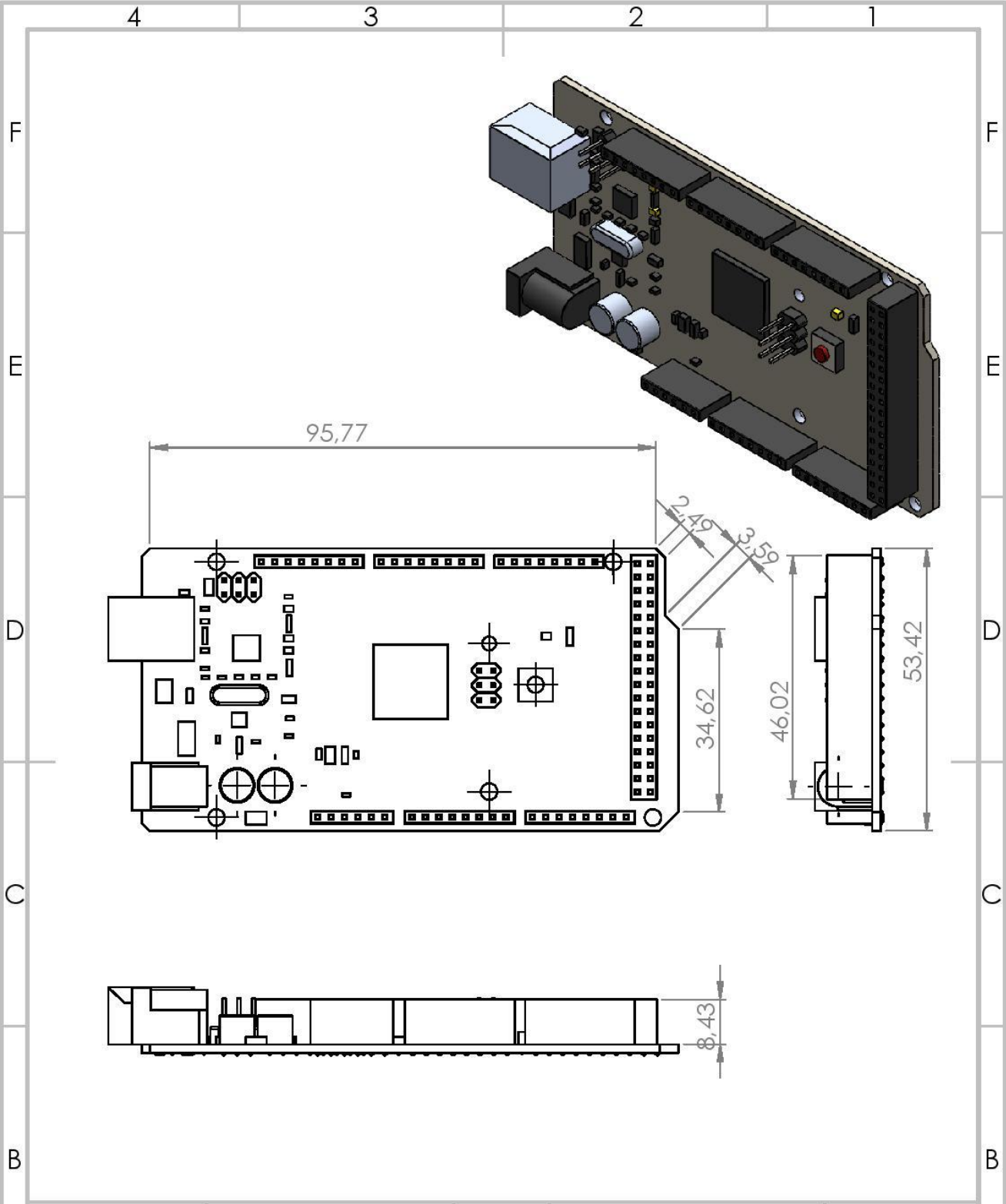
A4

MASSE:

ECHELLE:1:5

FEUILLE 1 SUR 1





SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
 LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
 ETAT DE SURFACE:  
 TOLERANCES:  
 LINEAIRES:  
 ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
 ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE	
AUTEUR				
VERIF.				
APPR.				
FAB.				
QUAL.				

TITRE:

ArduinoMega

No. DE PLAN

A4

MATERIAU:

ECHELLE: 1:1

FEUILLE 1 SUR 1