

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté de génie de la construction

Département de génie mécanique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

En génie mécanique,

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

***Conception et réalisation
d'un séchoir solaire.***

Réalisé par :
Mr. Tarek DJETTOU.

Dirigé et encadré par :
Pr Farid ASMA

Promotion 2019/2020

Remerciements

Je remercie vivement le Professeur Farid ASMA d'avoir accepté d'être mon garant pour ce modeste travail, il a su me conseiller et m'encourager pour réaliser au mieux ce mémoire. La justesse de ses avis et son soutien attentionné ont constitué une aide très précieuse pour moi.

Merci aux membres de jury qui ont acceptés de lire et évaluer ce travail.

Je tiens aussi à remercier vivement mon encadreur, Mr ALLOUI Hocine, pour m'avoir dirigé tout le long de ce travail et ses remarques qui m'ont beaucoup aidé.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études ainsi que tous mes ami(e)s qui nous ont soutenu durant ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes précieux parents à qui je dois le mérite, qu'ils trouvent ici L'expression de ma profonde gratitude et mon affection.

Mes deux frères Chafa et Amine, ma sœur Zahra et son mari Mohamed et leurs enfants Rayan et Yacine, et aussi pour ma sœur Ouafia et son mari Farid et leurs petit Mayes.

Mon oncle Rabah et tous mes cousin et cousines.

Mes amis et tous les camarades que j'ai connu durant mon parcours universitaire.



La créativité est contagieuse, faite la tourner

Albert Einstein

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les séchoirs solaires.....	4
Introduction.....	4
I.1 Le séchage solaire	5
I.2 Description d'un séchoir solaire.....	5
I.3 Les différents types de séchoirs solaires	6
I.3.1 Séchoirs naturels	6
I.3.2 Le séchoir solaire "Lit TARA".....	7
I.3.3 Le séchoir solaire "Tente"	7
I.3.4 Le séchoir solaire "pyramide"	8
I.3.5 Le séchoir solaire "Cabinet".....	9
I.3.6 Le séchoir solaire "cheminée".....	9
I.3.7 Le séchoir solaire "tiroir"	10
I.3.8 Séchoir à ébullition.....	10
I.3.9 Séchoir à entraînement	10
I.3.10 Séchoirs industriels	11
I.3.11 Le séchage par micro-onde	12
I.4 Classification des types de séchoirs solaires	13
I.4.1 Les séchoirs solaires directs	13
I.4.2 Séchoirs solaires indirects	17
I.4.3 Séchoirs hybrides	21
I.4.4 Les séchoirs mixtes	23
Conclusion.....	25
Chapitre II : Notions sur les assemblages mécaniques	26
Introduction.....	26
II.1 Définition des assemblages mécaniques	27
II.2 Assemblages permanent « non démontable »	27
II.2.1 Assemblages soudés.....	27
II.2.2 Les principaux procédés de soudage.....	27
II.2.3 Assemblages non permanents « démontables »	34
II.2.4 Assemblages par éléments filetés.....	38
II.2.5 Assemblage par obstacle	40
Conclusion.....	44
Chapitre III : Présentation de la conception du séchoir solaire.....	45
Introduction.....	45
III.1 Conception du prototype	46

III.2	Partie Conception	46
III.2.1	Conception assistée par ordinateur (CAO).....	46
III.2.2	Aperçus sur le logiciel de CAO SolidWorks.	49
III.3	Présentation et réalisation du séchoir solaire	52
III.4	Fourniture et les éléments du séchoir solaire	54
III.4.1	Panneau de contreplaqué multicouche :	54
III.4.2	Vitre.....	54
III.4.3	Visserie.....	55
III.4.4	Isolant thermique adhésif en aluminium renforcé.....	55
III.4.5	Polystyrène	56
III.4.6	Tissu filet en maille métallique	56
III.5	Instrumentation.....	57
III.5.1	Ventilateur.....	57
III.5.2	Variateur de vitesse du ventilateur	57
III.5.3	Thermomètre	58
III.5.4	Fil électrique.....	58
III.5.5	Panneau solaire.....	59
III.6	La réalisation	59
III.6.1	Découpage	59
III.6.2	L'assemblage.....	60
III.7	Peinture et isolation	61
III.8	Élaboration des modèles de calcul	61
III.8.1	Quelques notions fondamentales sur le séchage	61
III.8.2	Estimation de l'efficacité thermique	62
III.9	Mise en marche	63
	Conclusion.....	64
	Conclusion générale	65

Liste des figures

Figure I-1: Illustration d'un séchoir solaire.	5
Figure I-2: Principe de séchage à l'air libre.	6
Figure I-3: Séchoir solaire "Lit TARA".	7
Figure I-4: Séchoir solaire "Tente".	8
Figure I-5: Séchoir solaire "pyramide".	8
Figure I-6: Séchoir solaire "Cabinet".	9
Figure I-7: Séchoir solaire "cheminée".	9
Figure I-8: Séchoir solaire "tiroir".	10
Figure I-9: Schéma d'une micro-onde.	12
Figure I-10: Schéma représente types des séchoirs solaire.	13
Figure I-11: Le principe d'un séchoir solaire direct.	14
Figure I-12: Séchoir solaire coffre.	15
Figure I-13: Le séchoir solaire intégral.	16
Figure I-14: Le séchoir solaire coquillage à trois claies.	16
Figure I-15: Séchoir solaire cabane.	17
Figure I-16: Le principe d'un séchoir solaire indirect.	18
Figure I-17: Séchoir solaire armoire.	19
Figure I-18: Un séchoir tunnel.	19
Figure I-19: Séchoir solaire indirect destiné au séchage des PAM.	20
Figure I-20: Séchoir solaire hybride.	21
Figure I-21: Séchoir solaire hybride à convection forcée.	22
Figure I-22: Séchoir solaire hybride solaire-gaz.	23
Figure I-23: Le principe d'un séchoir solaire mixte.	23
Figure II-1: Soudage à l'arc électrique.	28
Figure II-2: Soudage à l'arc électrique enrobée.	28
Figure II-3: Le soudage à l'arc électrique type TIG.	29
Figure II-4: Le Soudage MIG.	30
Figure II-5: Le Soudage MAG.	30
Figure II-6: Le soudage par pression.	31
Figure II-7: Le clinchage.	31
Figure II-8: Micrographie d'un clinch.	32
Figure II-9: Assemblages collés.	33
Figure II-10: Assemblage par frettage.	33
Figure II-11: Le soudo-brasage.	34
Figure II-12: Le brassage fort.	35
Figure II-13: Le brassage tendre.	35
Figure II-14: Le rivetage.	36
Figure II-15: Rivets à tige pleine ou forée.	37
Figure II-16: Rivets creux.	37
Figure II-17: Rivets à expansion.	38
Figure II-18: Assemblages par éléments filetés.	38
Figure II-19: montage d'une vis.	39
Figure II-20: Assemblage par boulon.	39
Figure II-21: Assemblage par goujon.	40
Figure II-22: Assemblage par goupille.	41
Figure II-23: Assemblage par anneaux élastique (circlips).	42
Figure II-24: Types d'anneaux élastiques.	42

Figure II-25: Assemblage par clavettes.....	43
Figure II-26: Différents modèles de clavettes.....	43
Figure II-27: Les assemblages par clou.....	44
Figure III-1: Le prototype du séchoir solaire réalisé.....	46
Figure III-2: Interface graphique de SolidWorks version 2014.....	49
Figure III-3: Interface et barre d'outil.....	50
Figure III-4: Les fonctions.....	50
Figure III-5: Les esquisse.....	50
Figure III-6: Affichage.....	50
Figure III-7: Assemblage.....	51
Figure III-8: Les barres d'outil.....	51
Figure III-9: Vue éclatée du séchoir solaire.....	52
Figure III-10: panneau de contreplaqué multicouche.....	54
Figure III-11: verre transparent.....	54
Figure III-12: visserie.....	55
Figure III-13: aluminium adhésif.....	55
Figure III-14: Polystyrène.....	56
Figure III-15: grillage tissé.....	56
Figure III-16: Ventilateur Extracteur.....	57
Figure III-17: thermomètre.....	58
Figure III-18: Fil électrique.....	58
Figure III-19: Panneau solaire.....	59
Figure III-20: Panneaux découpés.....	59
Figure III-21: Scie circulaire.....	60
Figure III-22: Scie sauteuse.....	60
Figure III-23: Assemblage des panneaux du séchoir solaire réalisé.....	60
Figure III-24: Peinture et isolation du séchoir solaire.....	61

Introduction Générale

L'Algérie dispose d'un important ensoleillement durant la majeure partie de l'année. Elle bénéficie d'une durée annuelle moyenne d'ensoleillement de l'ordre de 2500 heures, et reçoit une énergie solaire moyenne quotidienne de 16.2 à 27 MJ/m² sur le plan horizontal. Cette énergie est suffisante, particulièrement en été, pour satisfaire toute la demande énergétique en séchage des produits agricoles. L'augmentation des prix et la pénurie de carburants conduits à des études et recherches profondes sur l'utilisation de l'énergie solaire comme source énergétique alternative, particulièrement dans les pays en voie de développement [1-3].

Le séchage solaire, comme moyen de conservation des aliments, a été considéré le système le plus utilisé de l'énergie solaire. Le séchage des fruits et légumes est l'un des processus des grands consommateurs d'énergie dans l'industrie de transformation alimentaire et constitue une meilleure méthode de réduction des pertes après la récolte.

Le séchage solaire des récoltes, fruits et légumes, a été pratiqué partout dans le monde pendant des siècles en plein air au soleil. Il a été employé pour sécher des grains, des viandes et d'autres produits agricoles pour la consommation. Une grande partie de l'offre du monde en fruits et légumes secs continue à être séchée selon la manière traditionnelle au soleil sans aides techniques. Cependant, la production à grande échelle limite l'utilisation de séchage normal en plein air au soleil. La méthode traditionnelle du séchage souffre de maints problèmes, parmi ces derniers sont le manque de capacité de commander le processus de séchage correctement, incertitudes du temps, coût de main d'œuvre élevé, nécessité des zones vastes, infection par des insectes et autres corps étrangers. Les solutions impliquant l'énergie solaire ont proposé des dispositifs de collection, ou les séchoirs solaires. Ces derniers représentent l'objectif de conception de notre travail.

Un séchoir solaire correctement conçu peut alléger les inconvénients liés au séchage ouvert du soleil, et les qualités du produit sec (final) peuvent être améliorés. Beaucoup de scientifiques ont étudié la modélisation du séchage solaire des produits agricoles et il y a également des simulations et des études sur les séchoirs solaires (directs, indirects) et le comportement de divers légumes et fruits, caractérisé par la cinétique de séchage.

Pour utiliser librement, l'énergie renouvelable et non polluante comme source principale fournie par le soleil, l'introduction des séchoirs solaires dans les pays en voie de développement peuvent réduire des pertes de récoltes et améliorer sensiblement, la qualité du produit sec comparé aux méthodes traditionnelles de séchage. Ces dernières années, les nombreuses tentatives ont été faites pour développer le séchage solaire principalement pour préserver les produits agricoles et les forêts. Des systèmes de séchage solaire doivent être correctement conçus pour répondre à des exigences de séchage particulier, de récoltes spécifiques, et pour donner l'exécution satisfaisante en ce qui concerne le besoin en énergie.

Des caractéristiques du séchage des matériaux particuliers étant séchés et des modèles de simulation sont nécessaires dans la conception, la construction et l'exploitation des systèmes de séchage. Plusieurs chercheurs ont développé des modèles de simulation pour les systèmes à convection normale et à convection forcée

L'objectif de ce travail consiste la conception et la réalisation d'un séchoir solaire hybride à convection forcée dans des conditions écologiques typiques du temps, tout en respectent tout contraintes cites dans le cahier de charge (page 3).

Le présent travail comporte trois chapitres et une partie annexe.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique concernant les différentes méthodes de séchage, les différents types des séchoirs solaires utilisés ainsi quelques travaux concernant le séchage et les séchoirs solaires.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux techniques d'assemblage mécanique, leur différentes caractéristiques et domaines d'utilisation.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation du prototype d'un séchoir solaire, les différentes étapes de réalisation et d'assemblage de tous les éléments constitutifs, les différentes machines et équipements utilisés dans sa fabrication.

Cahier des charges

La fonction principale

Ce séchoir est destiné à sécher les produits agro-alimentaires les plus courants (fruits et légumes) qui sont cultivés en Algérie.

Les fonctions de services

Elles sont définies par rapport aux critères d'acceptabilité du produit par le consommateur local tels que :

Voir un encombrement semblable à celui des appareils ménagers habituels.

- ✓ Être de manipulation aisée.
- ✓ Consommer peu d'énergie.
- ✓ Sécher une large gamme de produits.
- ✓ Être fiable et facilement maintenable.
- ✓ Être peu coûteux en acquisition.
- ✓ Valoriser les matériaux locaux.
- ✓ Sécher rapidement.

Les fonctions techniques

Elles sont définies par rapport aux exigences techniques d'un séchage domestique à air chaud par entraînement.

- ✓ Être de conception simple.
- ✓ Permettre le contrôle et la visualisation de la température de séchage.
- ✓ Avoir de faibles gradients de température.
- ✓ Être isolé par rapport aux transferts de chaleur et de masse d'air.
- ✓ Être connectable à un réseau électrique domestique (cas de fonctionnement en convection forcée)

Les fonctions contraintes

Par rapports aux normes en vigueur dans le domaine de l'électroménager alimentaire, comme par exemple :

- ✓ Ne pas polluer les produits.
- ✓ Avoir un niveau sonore acceptable.

Chapitre I : Généralités sur les séchoirs solaires

Introduction

***E**n Algérie, l'énergie solaire reçue annuellement est colossale. En été 2019 le pays a été classé premier comme plus chaud à l'échelle mondiale atteignant une température moyenne de 53.3°C.*

Contrairement aux énergies fossiles, le soleil est une source d'énergie inépuisable, renouvelable, écologique et gratuite qui permet d'effectuer plusieurs opérations, dont le procédé de séchage.

Des travaux de recherche ont été réalisés sur les systèmes de séchage solaire direct, indirect et mixte pour remplacer les systèmes traditionnels et améliorer leur rendement.

Dans ce même principe nous avons confectionné un dispositif permettant d'exploiter l'énergie d'insolation et d'optimiser le processus de séchage avec le moindre coût.

Composé d'un capteur solaire à air et d'une unité de séchage, le séchoir est donc indirect. Mais avant de passer à la partie conception et réalisation, nous allons d'abord déterminer, dans ce chapitre les généralités de chacun de ces deux essentiels éléments.

I.1 Le séchage solaire

Dans les pays en développement, le séchage au soleil est une méthode populaire efficace et économique utilisée pour le séchage et la conservation des produits agricoles, alimentaires et de nombreux autres produits. Le séchage des produits alimentaires agricoles par l'énergie solaire est une application rentable. Par contre le séchage industriel consomme des grandes quantités de combustibles traditionnels pour fournir de l'air chaud [1].

Le séchage se fait de plusieurs manières. La machine à sécher existe sous différentes formes en fonction du mode de transfert de chaleur, le prix, la forme d'énergie consommée et le mode de circulation du fluide [2].

I.2 Description d'un séchoir solaire

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur. Il nous permet comme le déshydrateur de sécher tous les fruits, légumes, herbes, poissons et viandes. Il est souvent construit en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur du séchoir.

Le séchoir solaire a un potentiel important dans le secteur agricole, où il est utilisé pour le séchage des légumes, des fruits et des plantes médicinales. Ainsi minimiser la dépendance sur le séchage au soleil et le séchage industriel, d'où économiser d'énormes quantités de fossiles [1].



Figure I-1: Illustration d'un séchoir solaire.

I.3 Les différents types de séchoirs solaires

Il existe une grande variété de séchoirs et différentes façons de les classer. On peut considérer par exemple le principe sur lequel repose le séchage (ébullition ou entrainement) ou d'après la texture du produit.

I.3.1 Séchoirs naturels

Ils utilisent directement le soleil et l'air, où les produits sont répartis sur des claies ou des nattes, dans des cribs, ou disposé même au sol. (Le principe de séchage à l'air libre est simple, le rayonnement solaire tombe sur la surface de la culture et une partie de l'énergie est réfléchi vers l'environnement. [1].

Ces séchoirs sont très bon marché, mais nécessite une intervention humaine régulière, protection ou ramassage du produit en cas de pluie, malaxage fréquent, pour éviter la surchauffe de la couche supérieure et homogénéiser le produit pour permettre à la couche inférieure de sécher.

Ce type de séchoir est souvent traditionnel dans les communautés paysannes, pour répondre aux problèmes de la conservation temporaire du produit, en attendant la vente ou la consommation.

Il présente cependant, des inconvénients, qui sont : pertes du produit mal séché ou gâchés lors de remuage, destruction de vitamines A et C, par l'exposition directe au soleil, dégradation par les intempéries et les nuisibles (insectes, rats, poussières).

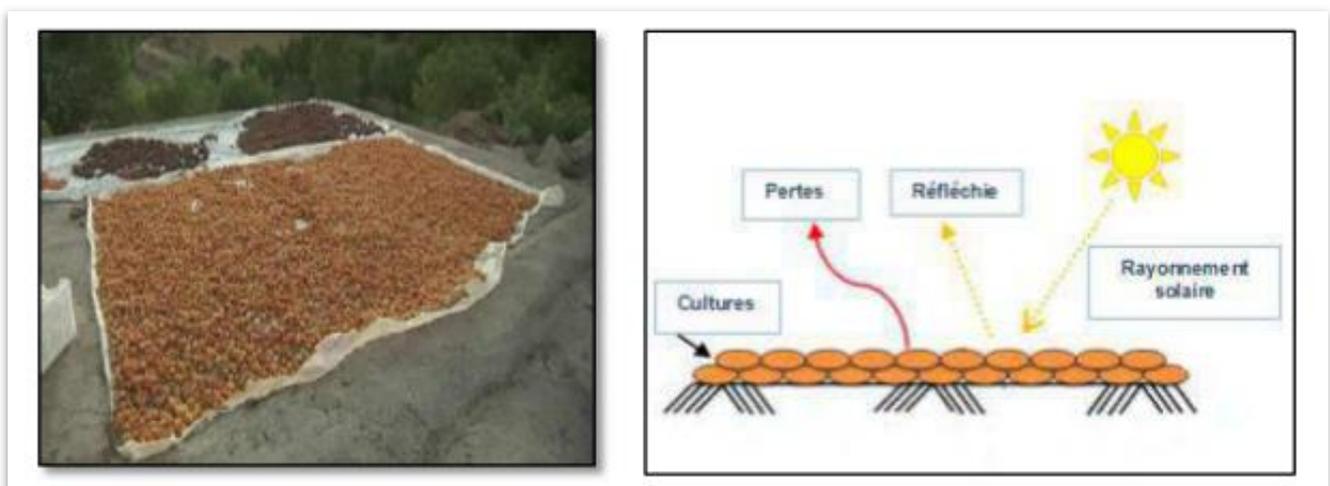


Figure I-2: Principe de séchage à l'air libre.

I.3.2 Le séchoir solaire "Lit TARA"

Ce séchoir de conception très simple ayant un cout très faible, d'une capacité de séchage importante, a été conçu et réalisé par les habitant du village Teguyèye (arrondissement de Téra).

Il a pour base de construction un lit traditionnel de type TARA muni à ses 2 extrémités sur la largeur d'un cadre en bois d'environ 2 m de haut comportant 3-4 barres transversales espacées entre elle de 40 - 50 cm de manière à supporter les claies ou plateaux.



Figure I-3: Séchoir solaire "Lit TARA".

I.3.3 Le séchoir solaire "Tente"

Le séchoir solaire fait comme une tente est de conception très simple, il ne coûte pas cher et il est facile à utiliser. L'utilisateur s'il en a les moyens, peut couvrir :

- Les côtés : Avec des morceaux de moustiquaires (circulation de l'air)
- Les faces : Avec du plastique transparent (pour ramasser la chaleur solaire), ou une face en plastique transparent et une en plastique noir.

Les dimensions du séchoir seront fonction des utilisations envisagées.



Figure I-4: Séchoir solaire "Tente".

I.3.4 Le séchoir solaire "pyramide"

Ce séchoir pyramide, à un seul plateau, a une capacité de 5 à 14 Kg. Il correspond aux conditions atmosphériques du pays (température élevée, grande vitesse du vent) de plus il permet des manipulations simples ainsi qu'une bonne protection contre la poussière et les insectes.

Comme le séchoir tente, il peut être en fonction des moyens de l'utilisateur, recouvert d'une moustiquaire ou subir les améliorations citées précédemment.



Figure I-5: Séchoir solaire "pyramide".

I.3.5 Le séchoir solaire "Cabinet"

De conception simple, il peut avoir tout son cadre construit avec des perches de bois trouvé en brousse. Il peut être entièrement recouvert avec du tissu moustiquaire ou comme on le voit sur la (figure I-6) avec l'association film plastiqué et morceau moustiquaire, ce qui certes accélère la vitesse de séchage mais plus coûteux.



Figure I-6: Séchoir solaire "Cabinet".

I.3.6 Le séchoir solaire "cheminée"

Ce séchoir solaire est composé d'un petit collecteur en bois recouvert au-dessous par un plastique transparent et à son entrée une moustiquaire est fixée. Pour accélérer la vitesse de séchage sur les cadres de la tour un plastique transparent est disposé de manière à ramasser la lumière solaire



Figure I-7: Séchoir solaire "cheminée".

I.3.7 Le séchoir solaire "tiroir"

Ce séchoir à collecteur intégré à une fenêtre d'entrée d'air sur l'avant en bas (protégée par une moustiquaire) et une autre de sortie d'air derrière en haut (protégée par un morceau de moustiquaire). Les plateaux aérés permettent une circulation d'air aussi par le dessous. Le tout est un cadre (recouvert d'un film plastique transparent) monté sur charnières de manière à accéder facilement aux plateaux.



Figure I-8: Séchoir solaire "tiroir".

I.3.8 Séchoir à ébullition

C'est un séchoir solaire qui nécessiterait des températures supérieures à 100°C, ce qui impliquerait une concentration du rayonnement, généralement couteuse et délicate.

I.3.9 Séchoir à entrainement

On place le produit dans un courant d'air dont la pression de vapeur est inférieure à celle régnant juste à son niveau. Les séchoirs à "entrainement" peuvent être divisés en deux catégories :

I.3.9.1 Les séchoirs actifs

Qui comportent des isolateurs (capteurs) placés en amont d'une chambre de séchage et destinés à chauffer l'air avant son envoi dans cette dernière. Ils sont nombreux (1/3 fonctionne en convection naturelle, 2/3 fonctionnent en convection forcée).

Ils peuvent être dotés d'un chauffage d'appoint ou d'un recyclage afin d'améliorer ses performances, comme c'est le cas dans les pays industrialisés.

I.3.9.2 Les séchoirs passifs (ou séchoirs serres)

Qui sont constitués d'une enceinte dont le toit et/ou les côtés en matériau transparent laissent pénétrer le soleil. Le rayonnement frappe donc directement les produits à sécher qui jouent alors le rôle d'absorbeur. Ces séchoirs sont dits séchoirs serres directs.

Si le rayonnement détériore le produit ; on interpose alors entre la couverture transparente et le produit une surface opaque servant d'absorbeur. Ce genre de séchoir est dit séchoir serre indirect.

Quant aux séchoirs mixtes qui sont peu présentés ; ceux sont des séchoirs dont une seule partie du produit reçoit et absorbe le rayonnement.

Les séchoirs sont tous discontinus (caractéristique dénotant la simplicité dans la construction). Les séchoirs continus demanderaient une sophistication et sont très coûteux.

I.3.10 Séchoirs industriels

De nombreux types de sécheurs peuvent être aptes à sécher un même produit. Le choix devra être orienté en fonction des besoins propres à l'utilisateur.

Le produit proprement dit, par contre, du fait de ses caractéristiques physicochimiques et de son comportement au cours du séchage, devra être un élément essentiel du choix, le sécheur pouvant présenter des problèmes non pas de séchage à proprement parler, mais de détérioration ou de non-conformité du produit du fait des effets secondaires générés par l'opération de séchage, détérioration par élévation excessive de température modifiant les caractéristiques du produit par rapport à celles souhaitées, détérioration par oxydation indésirable du produit due à un temps de séchage trop long, etc.).

I.3.11 Le séchage par micro-onde

Le chauffage par micro-ondes se rapporte à l'utilisation d'ondes électromagnétiques afin de produire de la chaleur dans le matériel à sécher.

Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertit l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante, ce qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux ondes qui pénètrent l'aliment pour atteindre les molécules d'eau [5].

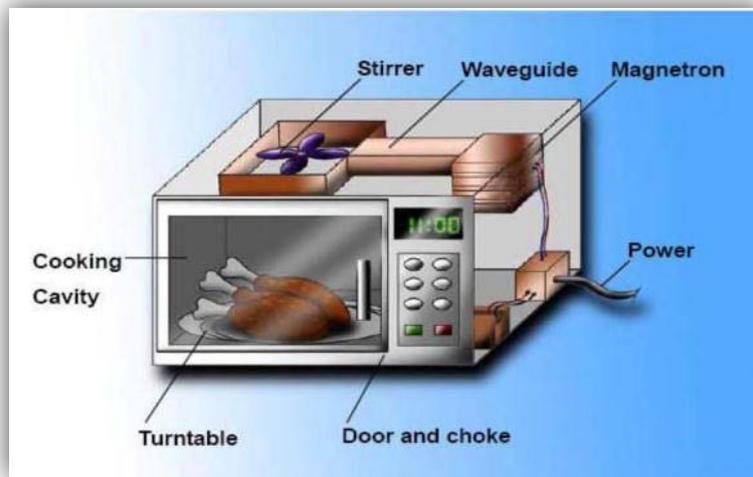


Figure I-9: Schéma d'une micro-onde.

I.4 Classification des types de séchoirs solaires

Selon la forme d'énergie consommée, il y a des séchoirs électriques, des séchoirs à gaz et des séchoirs hybrides. Plusieurs gammes de séchoirs solaires existent : les séchoirs directs, indirects et mixtes.

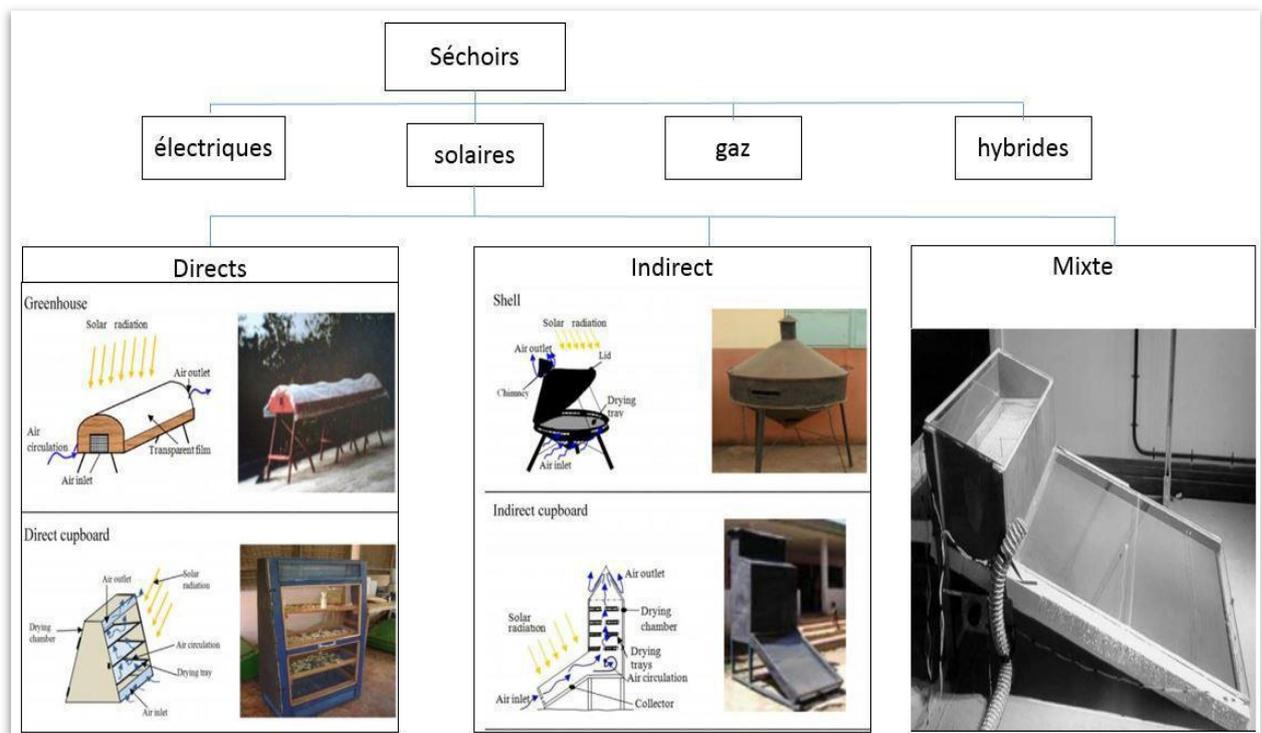


Figure I-10: Schéma représente types des séchoirs solaire.

I.4.1 Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de large possibilités de conception du séchoir coffre à plateau adapté à la petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités.

I.4.1.1 Principe de fonctionnement

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent, sert généralement

de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles) [1].

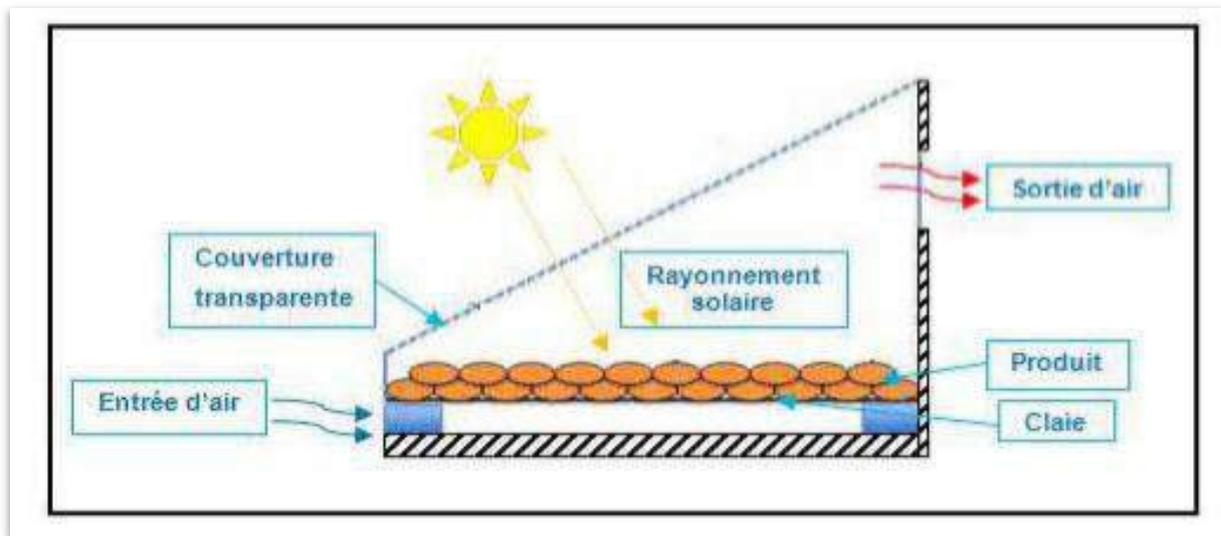


Figure I-11: Le principe d'un échoir solaire direct.

I.4.1.2 Avantages et inconvénients.

Avantage :

- ✓ Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- ✓ Pas besoin de main-d'œuvre qualifié.
- ✓ Grandes possibilités de conception.

Inconvénients :

- ✓ Dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration
- ✓ Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- ✓ Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments

I.4.1.3 Type des séchoirs directs

I.4.1.3.1 La boîte de séchage ou séchoir coffre :

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, légumes, poissons et de la viande

Un séchoir a généralement la forme d'une boîte rectangulaire, contenant des claies de séchage.



Figure I-12: Séchoir solaire coffre.

L'air pénètre par les orifices percés dans le fond du caisson et s'échappe par des trous situés dans la partie haute de chaque côté. Le fond de la boîte ainsi que les parois sont peintes en noir pour mieux capter le rayonnement solaire. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit. Une porte dans le panneau arrière permet de réguler la température [1].

I.4.1.3.2 Le séchoir intégral à convection naturelle :

C'est un séchoir direct dont le produit est placé dans une chambre de séchage avec des parois transparentes, le rayonnement solaire empiète directement sur le produit.

L'exposition directe au rayonnement solaire augmente la maturation appropriée de couleur des fruits verdâtres, et permettant la décomposition de la chlorophylle dans le tissu.

Pour certaines variétés de raisins et de dattes, l'exposition au rayonnement est considérée essentielle pour le développement de couleur requise dans le produit.

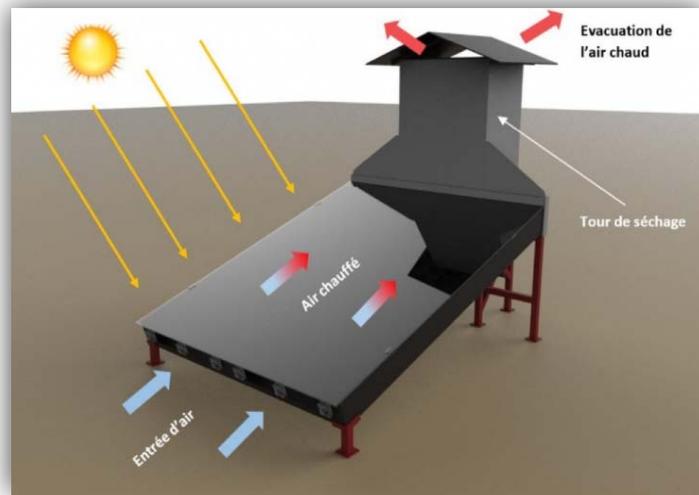


Figure I-13: Le séchoir solaire intégral.

Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grand [3].

1.4.1.3.3 Le séchoir solaire coquillage :

Le séchoir coquillage est un séchoir solaire direct à convection naturelle, destinée à l'auto consommation et à la vente locale. Il est essentiellement utilisé par les familles et les groupes de femmes.



Figure I-14: Le séchoir solaire coquillage à trois claies.

Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air. L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques [6].

I.4.1.3.4 Séchoir cabane

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7 m², (figure I-15) [6]. Les produits sont placés dans le séchoir tente sur des claies surélevées du sol. La toile en plastique permet de capter l'énergie solaire.



Figure I-15: Séchoir solaire cabane.

I.4.2 Séchoirs solaires indirects

Ces systèmes sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive [6]. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires.

I.4.2.1 Principe de fonctionnement

Le séchoir solaire indirect se compose de deux parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et une cheminée (figure I.16). L'air pénètre dans le collecteur ; il est chauffé, sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques [1].

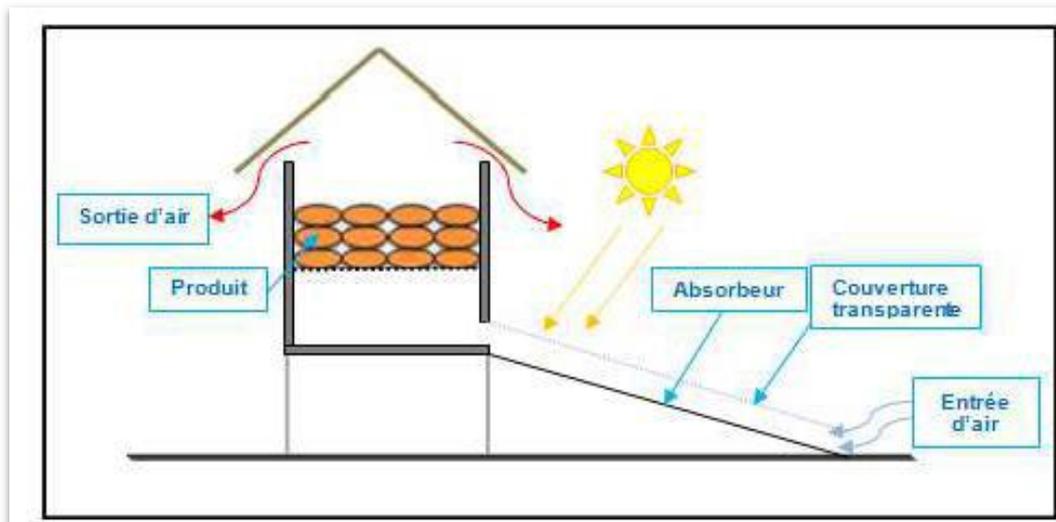


Figure I-16: Le principe d'un séchoir solaire indirect.

I.4.2.2 Avantages et inconvénients

Avantages

- ✓ Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).
- ✓ Possibilité de construire ce type de séchoirs localement, avec un coût réduit [9].
- ✓ Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles [9].

Inconvénient

- ✓ Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
- ✓ Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.

I.4.2.3 Type du séchoir indirect

I.4.2.3.1 *Le séchoir armoire*

Dans ce type de séchoir, le collecteur capte l'énergie solaire. L'air chaud s'élève jusqu'à la chambre de séchage où les produits sont disposés sur des claies superposées.



Figure I-17: Séchoir solaire armoire.

I.4.2.3.2 *Les séchoir-tunnel*

Ce sont des séchoirs industriels destinés au séchage des grandes récoltes et dans les processus de conservation de certains aliments.



Figure I-18: Un séchoir tunnel.

Ils se composent d'un champ de capteurs solaires et d'un circuit aéraulique, le tout constituant le générateur d'air chaud. Le produit à sécher est disposé dans des chariots montés sur des rails, qui traversent un tunnel de quelques mètres de façon continue [7].

I.4.2.3.3 Les séchoirs solaires destinés aux plantes aromatiques et médicinales

Le séchage des plantes aromatiques et médicinales (PAM) est une étape essentielle dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique, car tout en facilitant les prochaines étapes de transformation, elle permet aux plantes de garder toutes leurs qualités et permet de les conserver plus longtemps.

L'Algérie, de par sa position géographique, jouit de conditions climatiques et de ressources hydriques très favorables au développement de cultures intensives des PAM. Cependant cette filière reste encore très peu développée dans notre pays.

Depuis plusieurs années, l'équipe système solaire basses températures du CDER (centre de développement des énergies renouvelable), à travers le projet séchage solaire, s'intéresse au rôle que peut apporter l'énergie solaire au développement de l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique [7].



Figure I-19: Séchoir solaire indirect destiné au séchage des PAM

À cet effet, un premier séchoir solaire indirect destiné au séchage des plantes aromatiques et médicinales a été réalisé et testé pour le séchage de quelques plantes aromatiques [3].

I.4.3 Séchoirs hybrides

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant une énergie d'appoint (fuel, électricité, bois, gaz, ...etc.), l'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir [1] :

Maintenir la température constante dans le séchoir par un bruleur à gaz, une résistance électrique, un feu du bois. Dans ce cas l'énergie solaire devient secondaire, elle permet simplement de préchauffer l'air.

Augmentation de la circulation de l'air par des ventilateurs électriques, ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation.

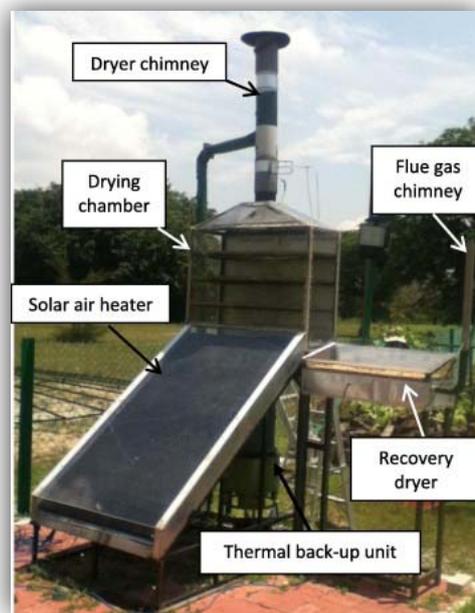


Figure I-20: Séchoir solaire hybride.

I.4.3.1 Avantages et inconvénients

Avantages

- ✓ Meilleur contrôle de séchage [4].
- ✓ Forte augmentation de la production par rapport aux autres types des séchoirs solaires, car le dispositif peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

Inconvénients

- ✓ Coût de production et d'investissement élevé.

- ✓ Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, pièce de rechange.
- ✓ Personnel qualifié pour la maintenance.

I.4.3.2 Types des séchoirs hybrides

I.4.3.2.1 Séchoir hybride à convection forcée

Ce type de séchoir est constitué d'un toit (Figure I-21) qui joue le rôle de capteur, un ventilateur assure une circulation importante de l'air permettant de sécher très rapidement les produits. L'air est aspiré de l'intérieur du bâtiment par un ventilateur et passe dans un capteur solaire dans le toit du bâtiment. L'air réchauffé arrive dans la chambre de séchage où le produit à sécher se trouve sur les rangées de claies superposées [7].



Figure I-21: Séchoir solaire hybride à convection forcée.

I.4.3.2.2 Séchoir hybride solaire-gaz

Il est constitué d'un collecteur solaire pour réchauffer l'air, la circulation de l'air se fait par convection naturelle du collecteur solaire à l'armoire.

Si la température est insuffisante, un brûleur à gaz se déclenche pour obtenir la température désirée. Les produits peuvent donc être sécher quelles que soient les conditions climatiques [7].

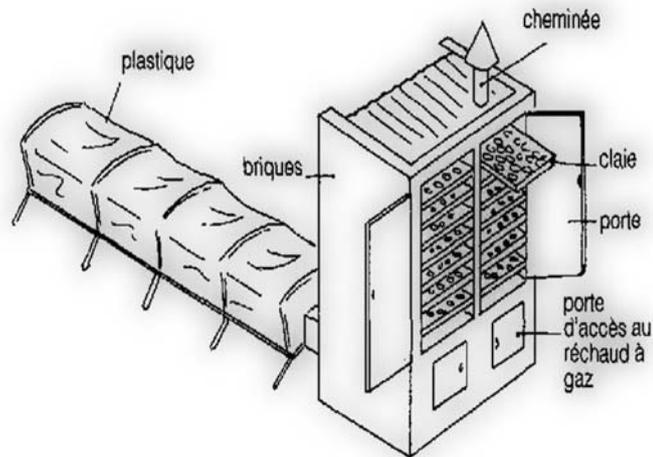


Figure I-22: Séchoir solaire hybride solaire-gaz.

I.4.4 Les séchoirs mixtes

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage.

Un séchoir mixte à circulation naturelle (figure I-23) a les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage et une cheminée), mais les parois sont équipées par des plaques de verre de sorte que le rayonnement solaire empieète directement sur le produit comme le séchoir intégral [1].

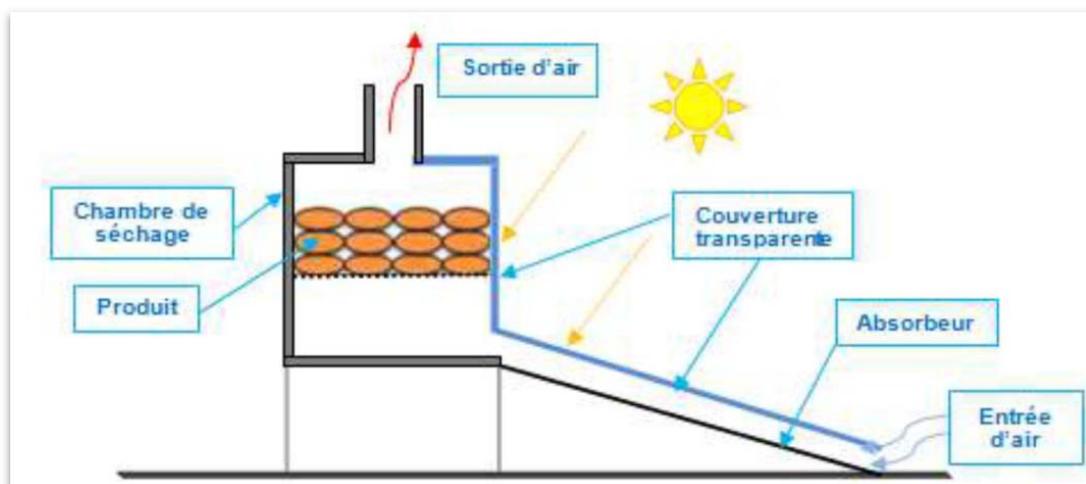


Figure I-23: Le principe d'un séchoir solaire mixte.

I.4.4.1 Avantages du séchage solaire

- ✓ Le taux de séchage augmente avec la température plus élevée et le mouvement de l'air dans la chambre.
- ✓ La nourriture est enfermée dans le séchoir et donc protégée de la poussière, des insectes, des oiseaux et des animaux.
- ✓ Une température plus élevée empêche l'infestation d'insectes et la vitesse de séchage plus rapide réduit le risque d'altération par les micro-organismes.
- ✓ Les séchoirs sont étanches, par conséquent, la nourriture n'a pas besoin d'être déplacée pendant la saison des pluies.
- ✓ Un séchoir peut être construit à partir de matériaux disponibles localement à un coût relativement faible.

Conclusion

Pour bien maîtriser une opération de séchage, il faut pouvoir maîtriser les trois paramètres fondamentaux : température, humidité et vitesse de l'air asséchant. Il faut prendre l'opération de séchage en vitesse, c'est-à-dire pouvoir sécher rapidement pour éviter le pourrissement du produit, mais pas trop vite, une croûte risque alors de se former en surface empêchant l'eau de sortir, ni à trop haute température le produit se dénature et noircit.

Après une description des différents types de séchoirs solaires, nous avons opté, dans notre projet, pour le séchoir solaire indirect, vu les avantages qu'il présente et essentiellement sa caractéristique de conserver la qualité du produit séché telles que sa couleur, saveur et sa valeur nutritionnelle.

Chapitre II : Notions sur les assemblages mécaniques

Introduction

*T*out mécanisme comporte un certain nombre de pièces assemblées les unes avec les autres, dont certaines d'entre elles sont fixes et d'autres sont mobiles. Ces dernières doivent être réunies aux pièces fixes par des assemblages ayant pour but de les guider et limiter leur déplacement.

D'autre part, les exigences de fabrication, de montage, de transport, de réparation obligent également le constructeur à prévoir en plusieurs pièces certains organes fixes ou mobiles, d'où la nécessité d'avoir recours à de nouveaux assemblages

Les assemblages utilisés en construction mécanique sont très divers ; ils dépendent en effet de plusieurs facteurs : la nature de la liaison à établir, forme des pièces à réunir, moyens utilisés pour réunir les deux pièces, sens et grandeur des efforts à transmettre ... etc.

II.1 Définition des assemblages mécaniques

Un assemblage mécanique est la liaison de différentes pièces d'un ensemble ou un produits, c'est aussi un ensemble de procédés et solutions techniques permettant d'obtenir ces liaisons.

On distingue quatre types d'assemblages mécanique, à savoir l'assemblages permanent, assemblage démontable, assemblage direct et assemblage indirecte.

II.2 Assemblages permanent « non démontable »

C'est un assemblage ou on ne peut pas séparer les pièces sans détériorer l'organe assemblage ou les surface des pièces. Il s'agit d'une liaison qui est irréversible [12].

II.2.1 Assemblages soudés

Le soudage est l'opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage de façon permanente, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler, avec ou sans emploi d'un produit d'apport [13].

On considère qu'un matériau métallique est soudable par un procédé et pour un type d'application, lorsqu'il est possible d'assurer une continuité métallique par la constitution d'un joint soudé qui, par ses caractéristiques locales et les conséquences globales de sa présence, satisfait au mieux les propriétés requises pour l'application souhaitée.

II.2.2 Les principaux procédés de soudage

II.2.2.1 Soudage à l'arc électrique

La fusion du métal d'apport et des pièces à assembler est obtenue par un arc électrique jaillissant entre une électrode et les pièces à assembler. La fusion très localisée amène moins de déformation que la fusion au chalumeau.

Cependant le refroidissement rapide entraîne l'apparition de contraintes internes et de déformations qu'il est parfois difficile de corriger [13].

C'est ce procédé qui est le plus utilisé industriellement en soudage autogène.

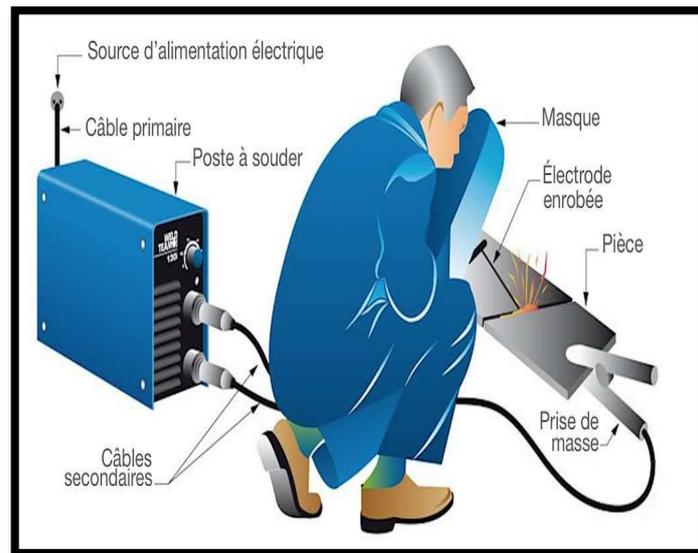


Figure II-1: Soudage à l'arc électrique.

II.2.2.2 Soudage à arc à l'électrode enrobée :

Le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée est relativement simple. Un poste à souder, généralement à courant constant, est connecté à une électrode enrobée et à une pièce de métal à souder, ce qui provoque la création d'un arc électrique, libérant l'énergie nécessaire pour fondre le métal d'apport (contenu dans l'électrode) sur le métal à souder. Le flux recouvrant l'électrode sert à protéger le bain de fusion de la contamination atmosphérique[13].

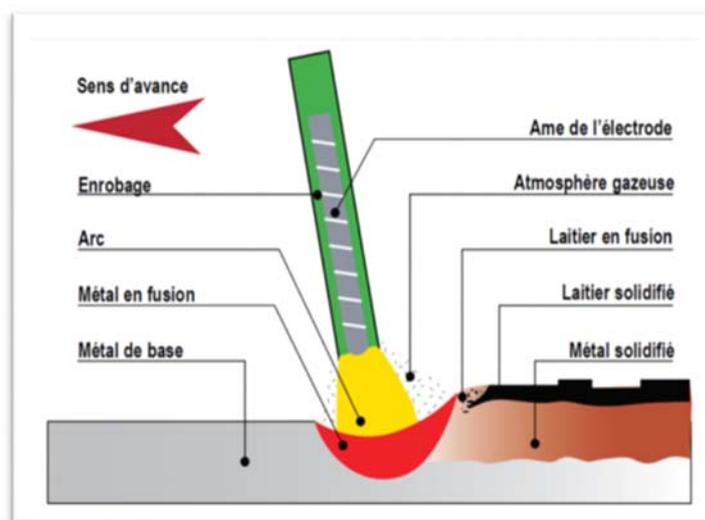


Figure II-2: Soudage à l'arc électrique enrobée.

II.2.2.3 Le soudage à l'arc électrique type TIG

C'est un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible, en présence d'un métal d'apport si besoin. TIG est un acronyme de Tungsten Inert Gas, où Tungsten (Tungstène) désigne l'électrode et Inert Gas (Gaz inerte) le type de gaz plasmagène utilisé.

L'arc électrique se crée entre l'électrode et la pièce à souder qui est protégée par un gaz ou un mélange de gaz rares tels que l'argon et l'hélium. De fait, l'arc électrique remplace la flamme du chalumeau traditionnel.

La soudure à l'arc s'appuie sur l'élévation de la température des pièces à assembler jusqu'au point de fusion grâce au passage d'un courant électrique alternatif ou continu.

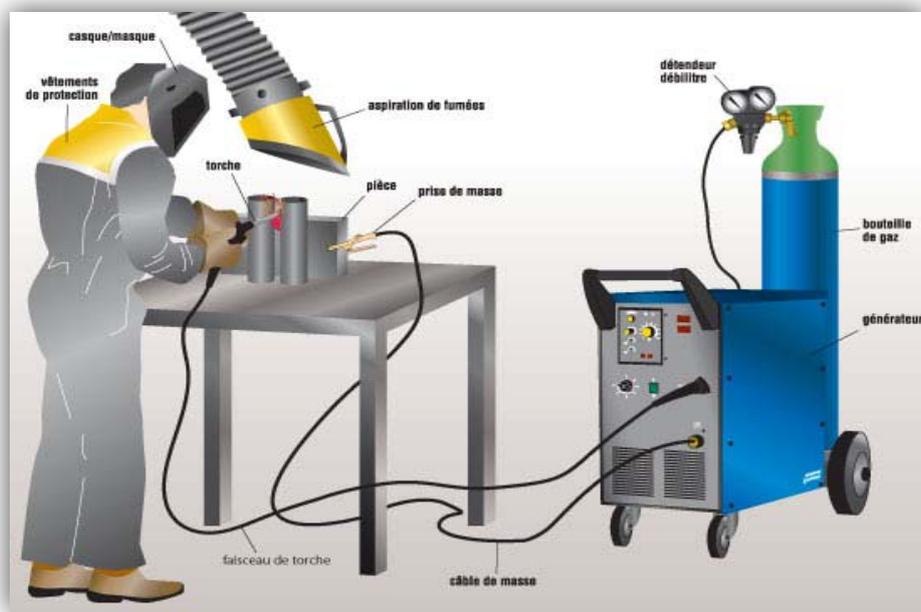


Figure II-3: Le soudage à l'arc électrique type TIG.

II.2.2.4 Le Soudage MIG :

Metal Inert Gas, assemblage de pièce de métal autogène.

On utilise une électrode fusible travaillant en atmosphère inerte afin de protéger le bain de fusion de l'air ambiant. L'électrode est un fil qui se déroule automatiquement.

Le gaz protecteur est généralement de l'argon ou de l'argon plus de l'hélium.

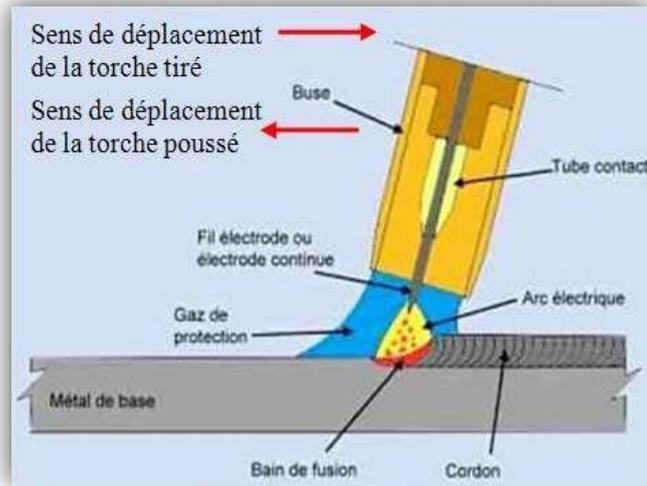


Figure II-4: Le Soudage MIG.

Ce procédé convient pour :

- ✓ Le soudage à plat et en position pour l'aluminium et les alliages légers.
- ✓ Le soudage à plat des tôles d'acier d'épaisseur supérieur à 3 mm

II.2.2.5 Le Soudage MAG:

Metal Activ Gas, assemblage de métaux alliés (chrome, manganèse, soufre, nickel, béryllium, aluminium).

Variante du MIG utilisant un mélange de gaz carbonique CO_2 et d'argon adapté au soudage des aciers de construction au carbone. Ce procédé est uniquement utilisé pour le soudage des aciers faiblement alliés ou non [13].

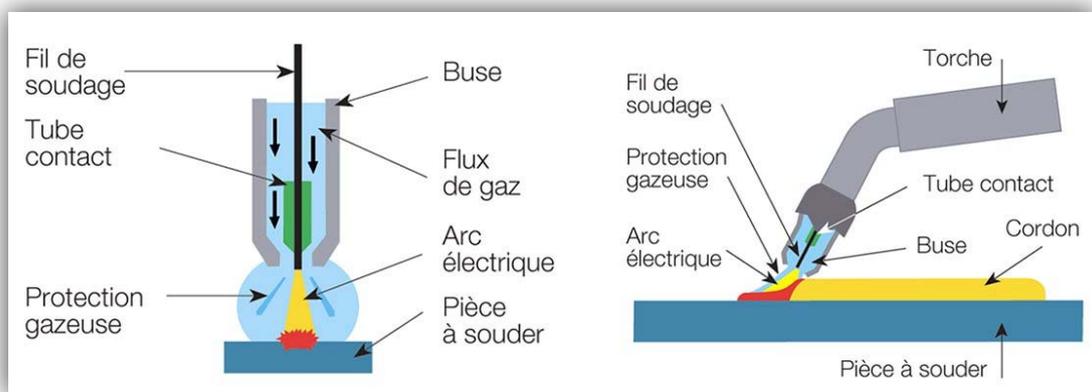


Figure II-5: Le Soudage MAG.

II.2.2.6 Le soudage par pression

Le soudage par pression regroupe tous les procédés de soudages dans lesquels on obtient en général sans métal d'apport, par application d'une pression suffisante pour obtenir une déformation plastique des zones à souder, un chauffage localisé permet la liaison atomique de la zone de soudage.

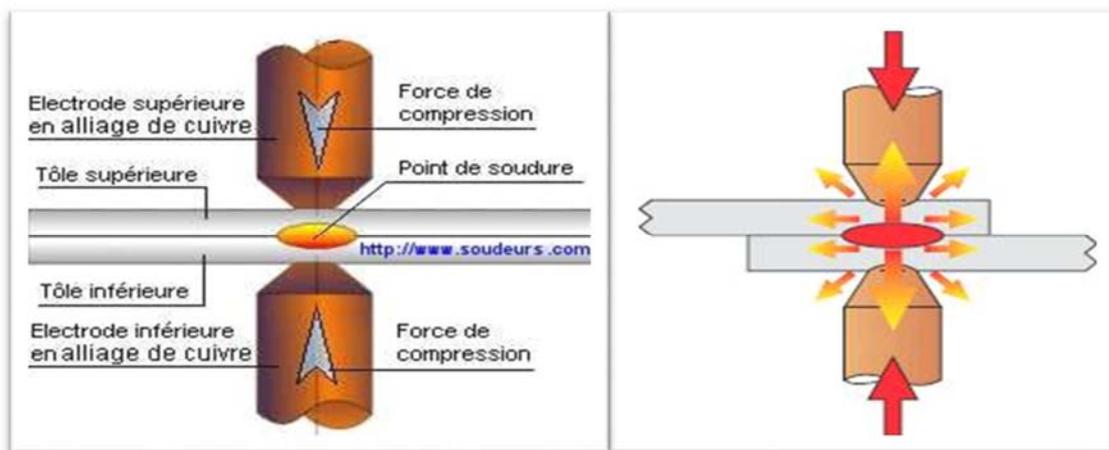


Figure II-6: Le soudage par pression.

II.2.2.7 Le clinchage

Le clinchage est une méthode d'assemblage des tôles minces. Les tôles sont déformées localement pour être solidarisées, sans un élément additionnel tel que colle ou connecteur mécanique. Le clinchage est une méthode d'assemblage intéressante car il peut être utilisé pour assembler des tôles de matériaux et d'épaisseurs différents.



Figure II-7: Le clinchage.

II.2.2.7.1 Procédés de clinchage

L'outillage de clinchage est constitué d'une matrice et d'un poinçon montés sur une machine de type presse. Le procédé de clinchage et un point clinché avec ses différents paramètres géométriques sont présentés sur la figure (II-7), respectivement pour le type circulaire sans incision et le type rectangulaire avec incision, l'épaisseur des tôles pouvant être assemblées par clinchage varie entre 0,2 et 4 mm

Les deux tôles ne doivent pas nécessairement être de même épaisseur. La force nécessaire pour effectuer un assemblage par clinchage dépend du matériau et de la taille de l'outillage ; pratiquement, elle varie entre 10 et 100 kN. Une micrographie d'un clinch circulaire est présentée sur la figure (II.8).



Figure II-8: Micrographie d'un clinch.

II.2.2.8 Assemblages collés :

Les assemblages collés réalisent une liaison encastrement d'un ensemble de pièces de matériaux qui peuvent être très différents en conservant les caractéristiques des matériaux, en utilisant les qualités d'adhérence de certaines matières synthétiques. La liaison est étanche et propre. Les surfaces doivent être préparées.

Afin de réaliser un bon collage, une colle doit mouiller les deux surfaces qui vont être assemblées, elle doit donc être fluide au moment de l'application. Pourtant le film de colle doit durcir pour acquérir sa cohésion [12].

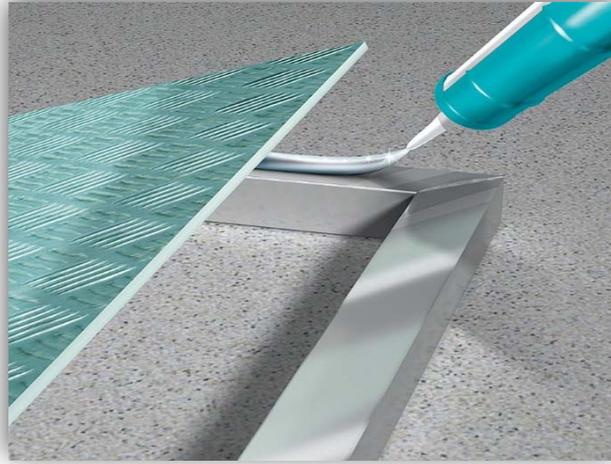


Figure II-9: Assemblages collés.

II.2.2.9 Assemblage par frettage :

Le frettage est une opération qui consiste à réaliser un assemblage avec serrage entre deux pièces, l'une appelée frette « alésage, moyeu », l'une appelée frettée « l'arbre ou l'axe ».

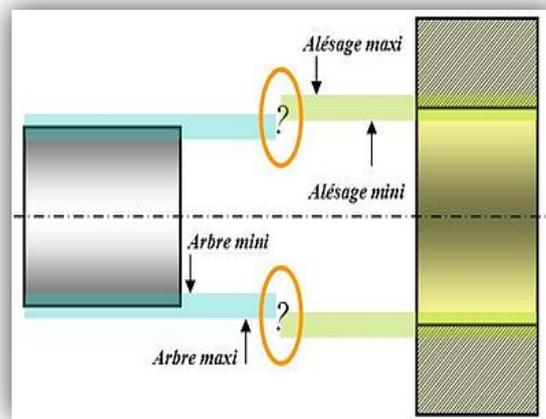


Figure II-10: Assemblage par frettage.

Le plus souvent, l'assemblage est obtenu soit en chauffant la frette, soit en refroidissant la frettée. Le serrage souhaité est obtenu à la température ambiante de l'assemblage par contraction de la première ou dilatation de la deuxième.

À noter que la deuxième solution est plus coûteuse. L'avantage de ce procédé est d'éviter l'emploi d'une pièce pour la liaison de l'assemblage.

II.2.3 Assemblages non permanents « démontables »

Ce type d'assemblage permet de séparer plusieurs fois les pièces sans endommager les surfaces des pièces ni l'organe de d'assemblage. Ce type d'assemblage est surtout utilisé pour une révisions ou remplacement de pièces [12].

II.2.3.1 Le brasage

Le brasage est un mode d'assemblage permanent de pièces métalliques exécuté par voie thermique. Les opérations de brasage se caractérisent par le fait que les bords des pièces à assembler ne sont pas portés à l'état liquide. C'est pourquoi la température de fusion du métal d'apport doit être inférieure que celle du métal de base.

Le brasage est utilisé pour l'assemblage des joints difficilement soudables à cause de leur accessibilité parfois restreinte. Dans le cas de pièces minces,

On distingue les différents types de brassage :

II.2.3.1.1 Le soudo-brasage

Le métal d'apport est fusionné puis déposé à l'intérieur d'un joint ayant une configuration spécifique qui s'apparente à une préparation pour le soudage électrique conventionnelle à l'intérieur d'un chanfrein.

La liaison métallurgique est obtenue par l'action de mouillage du métal d'apport sur le métal de base qui sera accompagnée d'un certain degré de diffusion entre les atomes du métal de base et ceux du métal d'apport. L'assemblage par soudo-brasage requiert un métal d'apport dont la température de fusion (liquidus) est supérieure à 450°C (840°F).



Figure II-11: Le soudo-brasage.

II.2.3.1.2 Le brassage fort

Se caractérise par une température de fusion du métal d'apport qui est supérieure à 450°C (840°F) comme en soudo-brasage. La différence entre les deux types de brasage réside dans le mécanisme de liaison et la configuration du joint dans le brasage. Le métal d'apport à l'état liquide s'infiltré à l'intérieur du joint entre les deux pièces à joindre par le principe de capillarité [13].

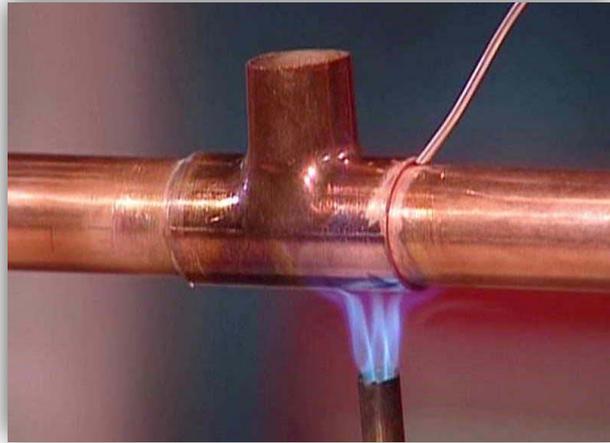


Figure II-12: Le brassage fort.

II.2.3.1.3 Le brassage tendre

On utilise un métal d'apport dont la température de fusion se situe sous 450°C (840°F). Le mécanisme de liaison et le phénomène de mouillage sont les mêmes que pour le brasage fort.



Figure II-13: Le brassage tendre.

II.2.3.2 Assemblage riveté

II.2.3.2.1 Le rivetage

Le rivetage est un mode d'assemblage de deux (02) ou plus d'éléments entre eux de façon permanente. Les éléments sont d'abord percés afin d'y placer le rivet. Une des extrémités (appelée la tête) est plus large que la tige et ne doit pas pouvoir passer dans le trou de perçage. Ensuite, il suffit d'écraser l'autre extrémité afin de sceller les pièces définitivement [12].

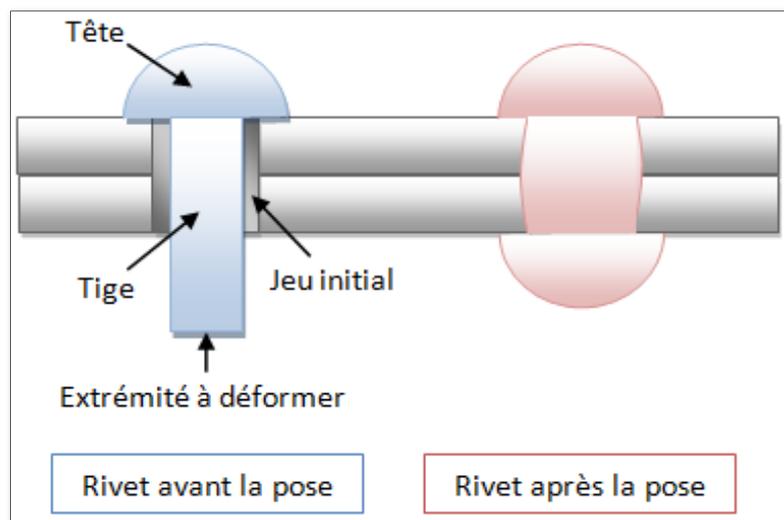


Figure II-14: Le rivetage.

II.2.3.2.2 Un rivet

C'est un composant possédant une tige cylindrique, pleine ou creuse, et une tête dont la forme peut être variable. Lors de la mise en place du rivet, l'extrémité de la tête est refoulée mécaniquement par la bouterolle (marteau à chocs, presse, ...) pour constituer la rivure. Les rivets peuvent être posés à froid ou à chaud.

Les rivets posés à froid occupent, après la réalisation de la rivure, la totalité de l'espace dans le trou de passage. Une fois montés, ils constituent un obstacle au glissement et ils sont sollicités au cisaillement.

Les rivets posés à chaud vont se rétracter lors du refroidissement. Un jeu diamétral va donc se créer dans le trou de passage et un effort important va plaquer les deux pièces l'une sur l'autre. L'assemblage obtenu se fait par adhérence et le rivet est sollicité en traction.

II.2.3.3 Les différents types de rivets

II.2.3.3.1 Rivets à tige pleine ou forée

Ces rivets sont proposés avec plusieurs types de têtes permettent une insertion plus ou moins grande dans la pièces (utilisation de fraisurages). Les tiges forées favorisent la formation de la rivure



Figure II-15: Rivets à tige pleine ou forée.

II.2.3.3.2 Rivets creux

Ces rivets sont légers, et leur faible épaisseur les rend faciles à sortir. Ils sont largement utilisés dans le domaine de l'aéronautique et de l'électromécanique, ainsi que dans la construction de structures en matériaux nouveaux (panneaux sandwiches, composites divers).



Figure II-16: Rivets creux.

II.2.3.3 Rivets à expansion

Ces rivets, très utilisés aujourd'hui, permettent la formation d'une rivure sur une face inaccessible, par déformation et expansion. Ils se posent à froid avec une pince spéciale pour les rivets



Figure II-17: Rivets à expansion.

II.2.4 Assemblages par éléments filetés

Un assemblage par éléments filetés assure une liaison complète, rigide et démontable entre une ou plusieurs pièces à assembler. Les éléments filetés ou taraudés sont d'une utilisation fréquente en mécanique ils peuvent avoir différentes fonctions [12].

Assurer un effort de pression entre des pièces pour les immobiliser les unes par rapport aux autres.

Transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation

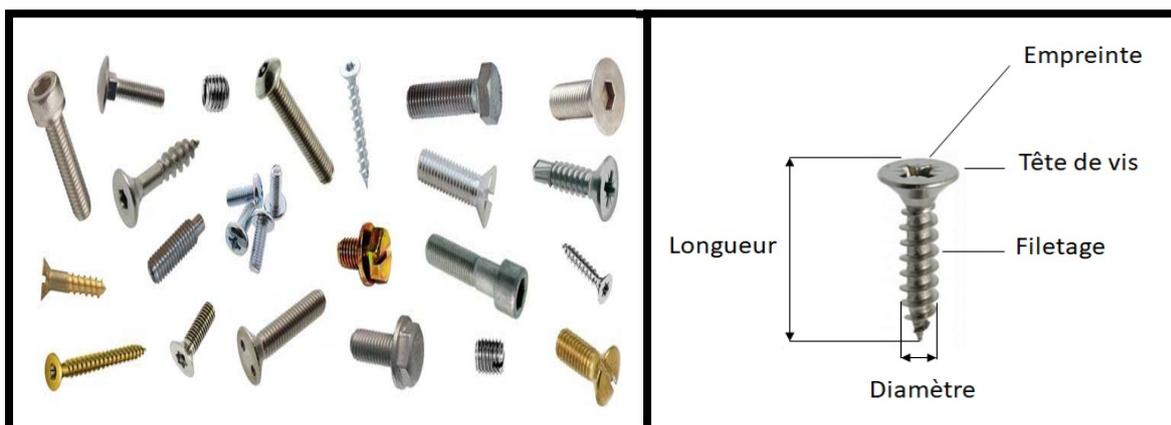


Figure II-18: Assemblages par éléments filetés.

II.2.4.1 Assemblage par vis

La vis Permet d'établir une liaison complète démontable entre deux pièces. Une pièce est percée d'un trou taraudé, l'autre d'un trou lisse. L'immobilisation est réalisée par la tête de vis [15].

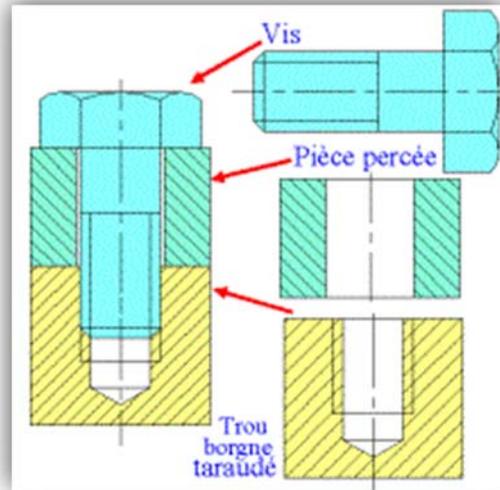


Figure II-19: montage d'une vis.

II.2.4.2 Assemblage par boulon (vis écrou)

Un boulon est composé d'une vis et d'un écrou de même diamètre. Les pièces à assembler sont simplement percées de trous lisses. On obtient ainsi un assemblage économique de plusieurs pièces par pression des unes sur les autres. Pour obtenir un serrage efficace, les vis doivent être immobilisées en rotation [15].

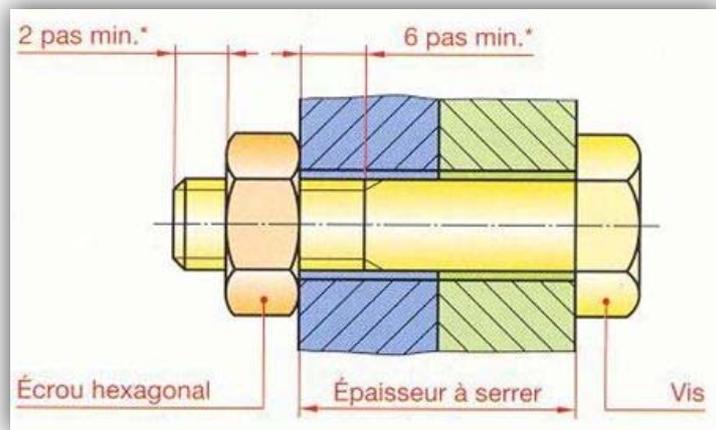


Figure II-20: Assemblage par boulon.

II.2.4.3 Assemblage par goujon

Utilisé en remplacement des vis lorsque le métal de la pièce est peu résistant ou s'il est nécessaire de réaliser des démontages fréquents.

Un goujon est formé d'une tige filetée à ces deux extrémités et d'un écrou. L'une des extrémités de la tige filetée est implantée à demeure dans une pièce (bloqué à fond de filet), les autres pièces sont percées d'un trou lisse et immobilisées par un écrou [15].

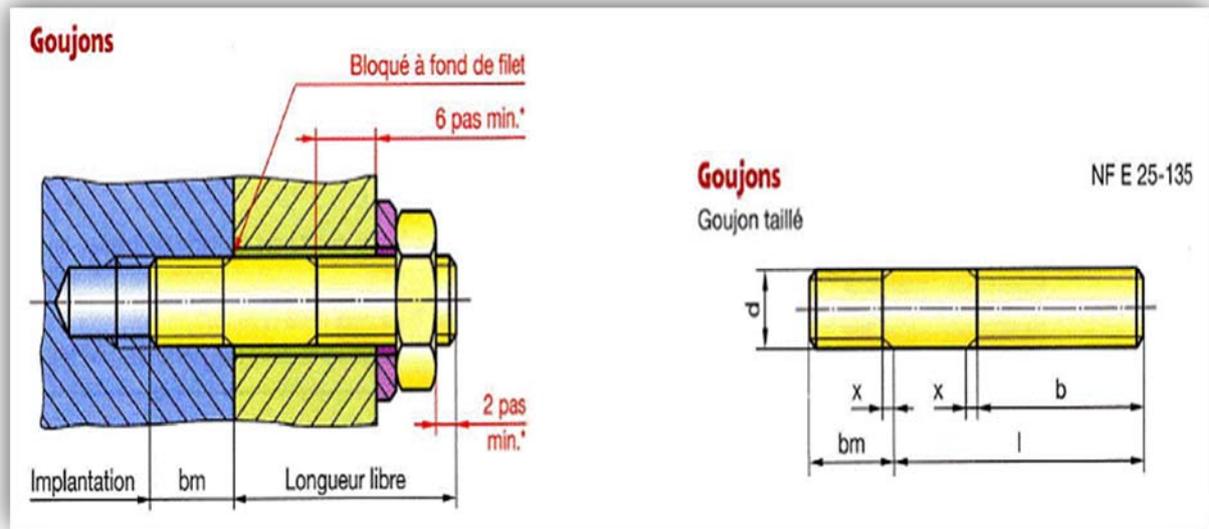


Figure II-21: Assemblage par goujon.

II.2.5 Assemblage par obstacle

C'est un assemblage dans lequel la rupture d'un obstacle ou composant est nécessaire pour provoquer la suppression du mouvement entre deux pièces [12].

II.2.5.1 Assemblage par goupille

Une goupille est un cylindre métallique destiné à être sollicité en cisaillement pour des efforts relativement faibles [15].

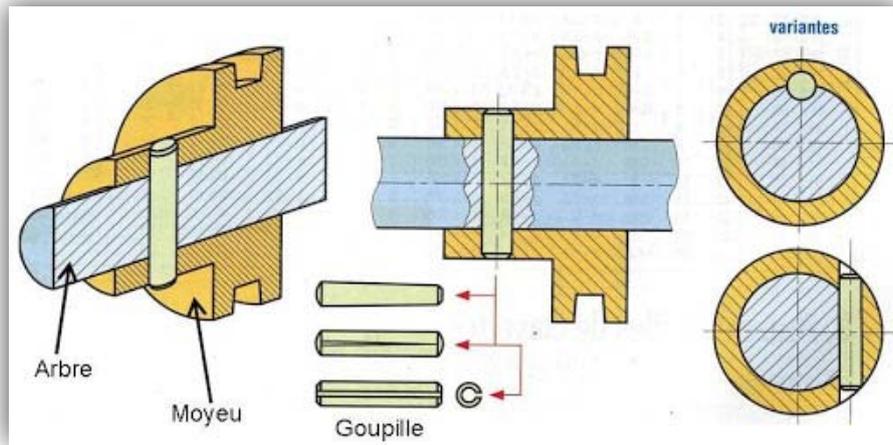


Figure II-22: Assemblage par goupille.

La permanence de la liaison est due à l'adhérence entre la goupille et les pièces assemblées.

Une goupille peut avoir plusieurs fonctions ;

- ✓ Immobiliser une pièce par rapport à une autre ;
- ✓ Positionner une pièce par rapport à une autre (goupille de positionnement) ;
- ✓ Servir d'axe ;
- ✓ Servir de pièce de sécurité : cisaillement en cas de surcharge.

II.2.5.1.1 Types de goupilles

Plusieurs types de goupilles sont disponibles :

- ✓ La goupille cylindrique exigeant une bonne tolérance de montage ;
- ✓ La goupille conique à faible conicité permettant un montage sans grande précision du diamètre ;
- ✓ La goupille élastique dite « mécanindus » laminée à froid et roulée donc fendue longitudinalement ;
- ✓ La goupille fendue formée d'un fil d'acier demi-ronde repliée sur elle-même formant une tête qui facilite l'extraction au démontage.

II.2.5.2 Assemblage par anneaux élastiques (circlips)

Les anneaux élastiques sont des composants d'assemblage mécanique généralement montés dans des gorges réalisées sur des portées cylindriques extérieures (arbres, axes, ...) ou dans des alésages. Ils permettent de réaliser des arrêts axiaux, des rattrapages de jeu destinés à réduire le bruit de fonctionnement des mécanismes, etc.

Les applications sont très nombreuses en mécanique générale et dans de très nombreux secteurs industriels : automobile, électroménager, machines de bureau, etc. [15].

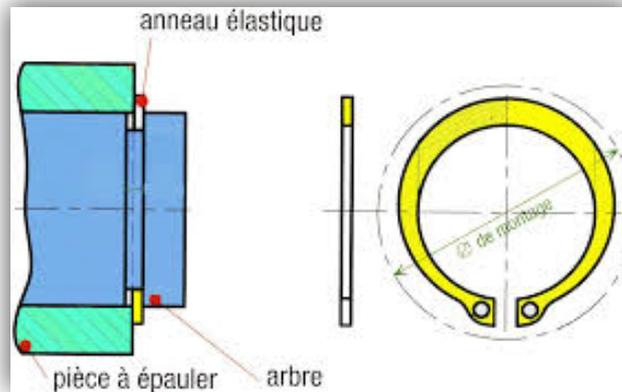


Figure II-23: Assemblage par anneaux élastique (circlips).

Les grands avantages de cet élément d'arrêt, sont leur faible coût, l'encombrement réduit, donc la masse faible, aussi le montage et le démontage relativement aisé.

L'inconvénient serait l'incapacité de réglage et donc le « non rattrapage de jeu » sauf si on lui adjoint des éléments élastiques axiaux (ressort).

II.2.5.2.1 Types d'anneaux élastiques

Les anneaux extérieurs

Enfilés dans la direction de l'axe se reconnaissent généralement, mais pas toujours, à leur ouverture étroite. Ceux qui sont mis en place radialement ont au contraire une ouverture très grande [15].

Les anneaux intérieurs

Sont toujours montés axialement, ils ont pratiquement tous une ouverture importante qui correspond à la nécessité de diminuer leur diamètre lors du montage.

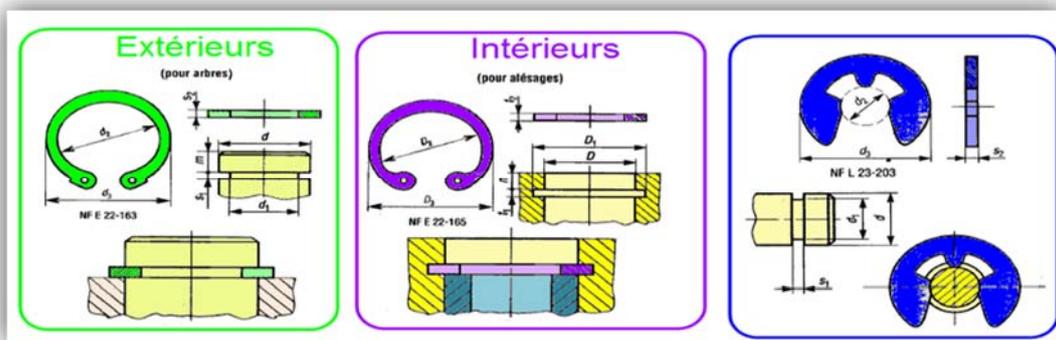


Figure II-24: Types d'anneaux élastiques.

II.2.5.3 Assemblage par clavettes :

En mécanique, une clavette est une pièce qui a pour fonction de lier en rotation deux pièces, Permet l'accouplement par obstacle d'un arbre et d'un moyeu. En complément, elle peut être dimensionnée pour se rompre par cisaillement lorsque le couple transmis est trop important.

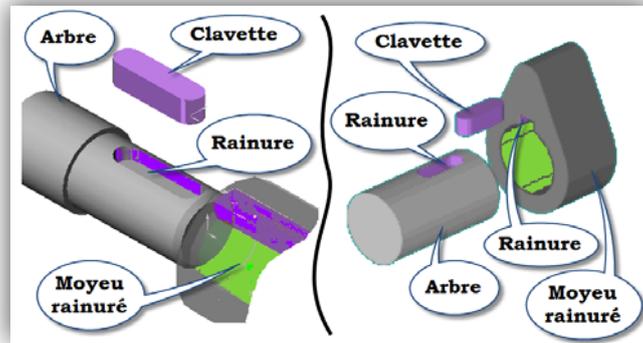


Figure II-25: Assemblage par clavettes.

II.2.5.3.1 Les différents modèles de clavettes :

Il existe quatre (04) catégories de clavettes qui permettent de réaliser différents modes de clavetage :

Les clavettes parallèles : Utilisées lorsque la différence entre le diamètre de l'arbre et la longueur de la clavette n'est pas élevée. Certains modèles sont conçus pour être fixés par vis ;

Les clavettes disques : De forme semi-circulaire et dont les dimensions sont normalisées en fonction du diamètre de l'arbre. Elles sont généralement utilisées avec des arbres de diamètre réduit et sous de faibles couples ;

Les clavettes inclinées : Qui présentent une surface inclinée avec une pente de 1/100. Elles prévoient également un plan de jauge à l'autre extrémité ou à une certaine distance du talon. On distingue les clavettes inclinées à encastrier, à chasser et à talon.

Les clavettes tangentielles : Qui sont constituées de deux clavettes inclinées montées dans la tangente de l'arbre cylindrique. La position des clavettes est maintenue après serrage à l'aide d'une goupille.

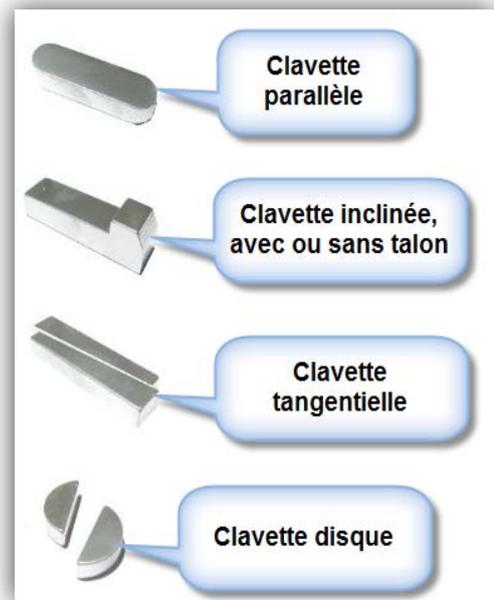


Figure II-26: Différents modèles de clavettes.

II.2.5.4 Assemblages par clou :

Le clouage est la façon la plus simple et la moins sophistiquée pour assembler deux pièces de bois. Associé au collage, il garantit cependant un assemblage qui peut être très solide, notamment avec des pointes (ou clous) de forte section et de longueur importante.

Bien qu'apparemment fort simple, le clouage demande un certain nombre de gestes techniques qui garantissent la résistance de l'assemblage [12].



Figure II-27: Les assemblages par clou.

Conclusion

On peut citer d'autres types d'assemblages mécaniques à savoir les assemblages directs, indirects, rigides, élastiques, complets et partiels, ces derniers répandent à une utilisation limitée.

L'utilisation de certains assemblages qu'on a déjà définies tel que le clouage, le vissage, le collage et le rivetage nous ont permis l'obtention d'un ensemble bien solide et étanche.

Chapitre III : Présentation de la conception du séchoir solaire

Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation du prototype d'un séchoir solaire, dont nous allons préciser avec détails les différentes étapes de réalisation et d'assemblage de tous les éléments constitutifs.

La présente conception concerne un modèle expérimental d'un séchoir et d'un capteur solaire en vue de leur utilisation dans un processus de séchage des différents produits (agroalimentaires, pharmaceutiques, etc.).

Le choix des différents matériaux a été fait en fonction de :

- ✓ Leur disponibilité sur le marché ;*
- ✓ Le coût de revient du produit ;*
- ✓ Leur facilité d'usinabilité ;*
- ✓ Leur sécurité alimentaire.*
- ✓ Délais de réalisation.*

III.1 Conception du prototype

Notre objectif est de réaliser un séchoir solaire écologique à base de bois qui sera composé essentiellement de deux parties :

En amont : Un capteur incliné de 45° qui convertit le rayonnement solaire en chaleur où l'air asséchant est chauffé et monte par convection forcée jusqu'à la chambre de dessiccation contenant les produits à sécher où un transfert de chaleur de l'air vers le produit et un transfert de masse du produit vers l'air se produisent au cours du parcours du fluide.

En aval : Un extracteur d'air sera fixé afin de renouveler l'air de l'enceinte et d'aspirer l'air sortant du capteur solaire.



Figure III-1: Le prototype du séchoir solaire réalisé.

III.2 Partie Conception

On a opté pour la conception de ce séchoir à l'utilisation du logiciel SolidWorks.

III.2.1 Conception assistée par ordinateur (CAO).

III.2.1.1 Historique et chronologie :

La CAO est née aux États-Unis à la fin des années 1950, quand Général Motors et le "Massachusetts Institute of Technology" ont imaginé de dialoguer avec un ordinateur autrement qu'avec des cartes perforées, des bandes magnétiques ou des rubans de papier perforé.

Vers les années 1965, les premières idées d'utilisation de ce nouvel outil ont été de s'en servir pour la définition et le contrôle de pièces de carrosseries.

Vers 1970, un certain nombre de travaux portant sur les techniques de représentation et de manipulation de formes complexes, dans lesquelles l'objet est constitué de surfaces, ont abouti.

Enfin, au début des années 1980, les bureaux d'études mécaniques ont commencé à s'équiper de moyens de CAO, là encore grâce à une avancée notable des logiciels, du matériel et des prix : en effet, il a été possible d'utiliser de nouveaux outils mathématiques, permettant l'accès aux propriétés de masse des pièces modélisées qui intéressent fortement le mécanicien.

III.2.1.2 Qu'est-ce que la CAO.

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des outils logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de :

- ✓ Concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique.
- ✓ Réaliser des produits manufacturés avec les outils pour les fabriquer.

III.2.1.3 Les outils (logiciels) de la CAO:

Parmi les outils de CAO connus, nous citons :

- ✓ CATIA, Dassault Systèmes "France "
- ✓ Alibre Design [6], édité par Alibre Inc
- ✓ Abacus "Suisse"
- ✓ Auto CAD" Amérique"
- ✓ SolidWorks "Amérique et France"

III.2.1.4 Domaines d'application de la CAO.

De nombreux domaines d'ingénierie font appel à la CAO, nous avons essayé de faire ici un résumé des plus importants domaines d'applications de la CAO pour voir l'ampleur que prend cette dernière, avec ses outils associés (DAO, FAO...) [17].

Acoustique : Études sur la propagation et réflexion du bruit, etc.

Automatique : Essentiellement description et simulation des systèmes continus et discrets et de processus.

Chimie : Conception et représentation 3D de grosses molécules comme les protéines.

Électronique : Conception et simulation de circuits intégrés, circuits imprimés, assemblage de cartes électroniques, etc.

Hydraulique : Modélisation et calcul des écoulements, pressions (champ scalaire), vitesses (champ vectoriel), etc.

Mécanique : La CAO revêt beaucoup de formes dans ce domaine, la conception et le dessin de pièces mécaniques, la modélisation par la méthode des éléments finis, entre autres, pour le calcul de pressions, déplacements, forces...etc.

Mécanique des fluides : Étude des phénomènes de pollution thermique, etc.

Thermique : Étude concernant la diffusion de la chaleur, la modélisation par des méthodes numériques pour le calcul des températures, etc.

Génie Civil : Dessin et conception de bâtiments et de constructions diverses, calcul de résistance des matériaux, calcul de structures, etc.

Génie électrique : Conception des machines électriques (moteurs, transformateurs, contacteurs...), modélisation de phénomènes électromagnétiques (calcul du champ magnétique ou électrique) par des méthodes numériques tels que la méthode des éléments finis, étude des vibrations mécaniques (phénomène couplé en mécanique et en magnétique), simulation et conception des circuits en électronique de puissance, simulation des réseaux électriques, etc.

III.2.1.5 Les avantages et les inconvénients de la CAO

Avantage :

- ✓ Une fois que la conception d'une pièce est effectuée, son dessin peut être visualisé sous tous les angles et à toutes les échelles. Il peut être exploité dans des simulations et des maquettes virtuelles, réutilisé à volonté, etc.
- ✓ Gain de temps appréciable pour la constitution des plans de détails ;
- ✓ « Remontage sur plan » du mécanisme à partir des dessins de définition ;
- ✓ Incorporation des systèmes d'experts (imitation des connaissances des experts, ingénieurs) ;
- ✓ Système intégré pour le calcul du coût de fabrication de la conception ;
- ✓ Partage des données de conception, accessibilité et travail collaboratif.

Inconvénients :

- ✓ Coût du matériel ;
- ✓ Coût des formations.

III.2.2 Aperçus sur le logiciel de CAO SolidWorks.

III.2.2.1 Développement de SolidWorks

En 1993, trois ingénieurs de B.T.C ont créé un logiciel de CAO de la génération des modeleurs 3D. Le développement de ce logiciel a nécessité trois années, et sa venue en Europe date de 1996. Dix mises à jour depuis ont participé à l'évolution de ce produit. C'est un produit qui a été écrit et optimisé pour l'environnement Windows.

En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT [18].

III.2.2.2 Description du logiciel SolidWorks

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de conception et de modélisation volumique paramétré, basé sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows, connu pour sa convivialité. Nous pouvons créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés avec ou sans contraintes tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception.

Le logiciel SolidWorks comprend : trois (03) modules élémentaires : Pièce, Assemblage, Mise en plan.

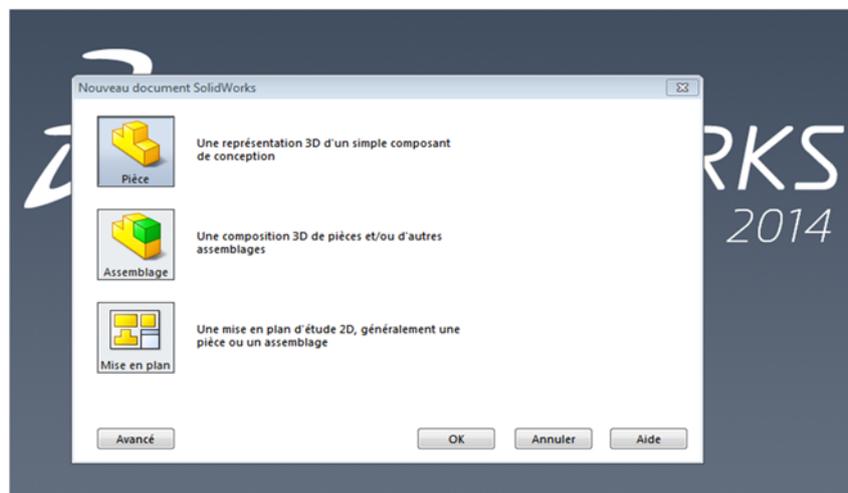


Figure III-2: Interface graphique de SolidWorks version 2014.

III.2.2.2.1 Le module pièce

Le module pièce est le premier module élémentaire de SolidWorks, servant à élaborer le modèle numérique.

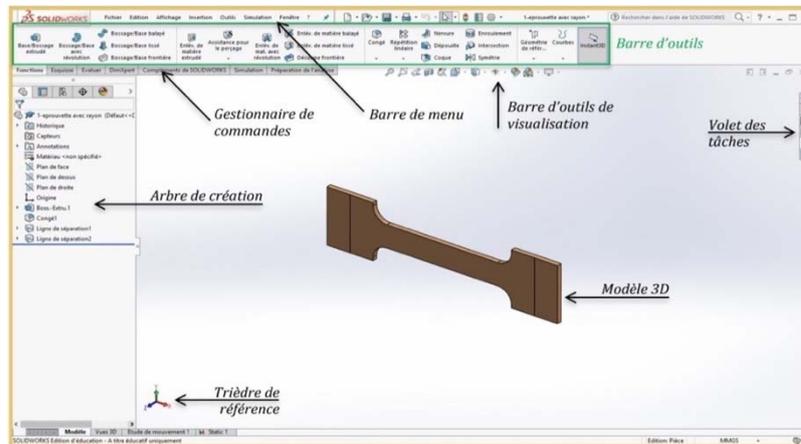


Figure III-3: Interface et barre d'outil.

III.2.2.2.2 Interface

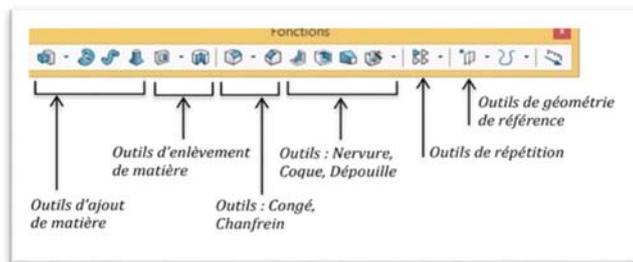


Figure III-4: Les fonctions.

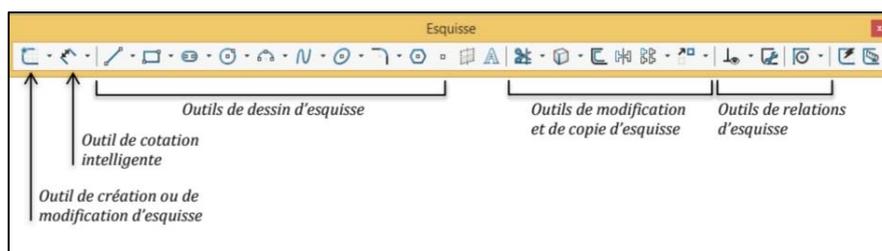


Figure III-5: Les esquisse.

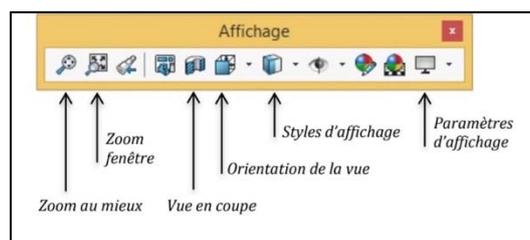


Figure III-6: Affichage.

III.2.2.2.3 Le module assemblage

Le module assemblage est le deuxième module élémentaire de SolidWorks, permettant d'effectuer l'assemblage des pièces que l'on a élaboré probablement dans le module pièce.

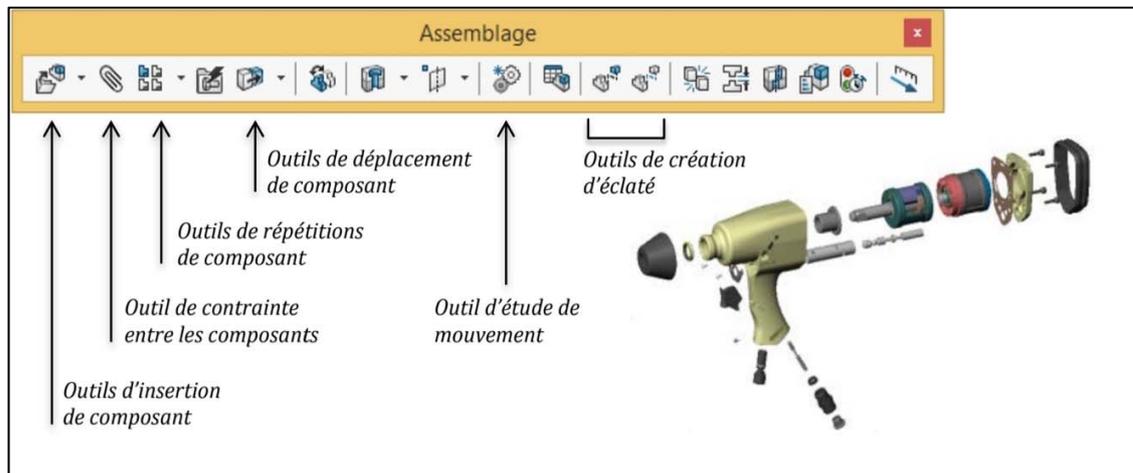


Figure III-7: Assemblage.

III.2.2.2.4 Le module Mise en Plan

Le module Mise en Plan est le troisième module élémentaire de SolidWorks, servant à effectuer la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage, que l'on a élaboré préalablement dans le module Pièce

Les barres d'outils

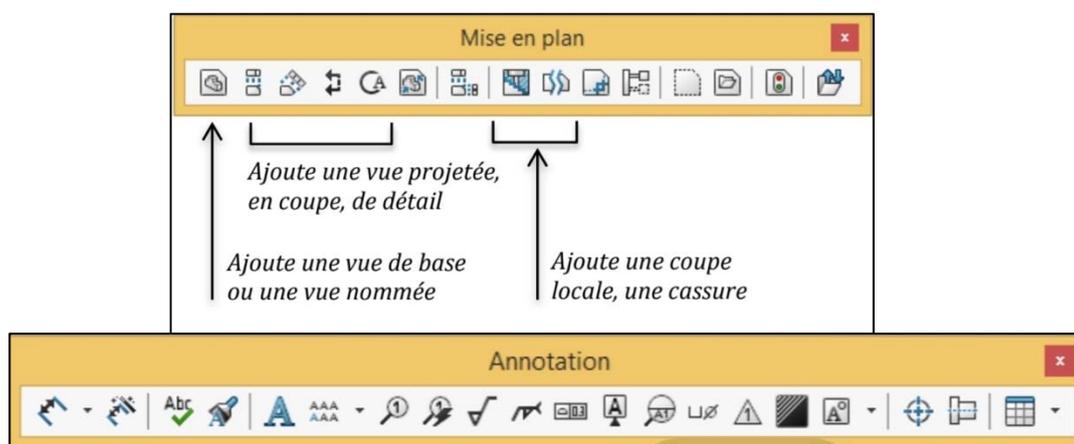


Figure III-8: Les barres d'outil.

III.3 Présentation et réalisation du séchoir solaire

Le montage de la figure (III-1) a été prévu pour la chaleur solaire de notre région. Nous avons pris en considération un angle de 45° que nous avons déterminé en fonction de la position moyenne du soleil, le séchoir alimentaire solaire est fait de telle manière que les rayons du soleil ne puissent pas atteindre directement son contenu.

Il y a aussi bien un courant d'air chaud de convection, qu'une chaleur radiante, cette dernière résultante de la plaque peinte en noir mate, positionnée derrière le verre, cette dernière est placée de sorte qu'elle reste une ouverture en haut de la boîte à environ 10 cm, permettent à l'air chaud d'entrer dans la boîte.

À l'intérieur du caisson sur le bas de la paroi latérale se trouve un extracteur qui permet d'extraire l'air humide vers l'extérieur.

La boîte est faite en bois multicouche, à l'intérieur, il y a trois supports de séchage, couvert d'un filet de protection, le plus grand support est situé en bas, et le plus petit est au dessus.

On présente dans la figure (III-9) une vue éclatée du prototype du séchoir solaire réalisé et une nomenclature de ces différents éléments

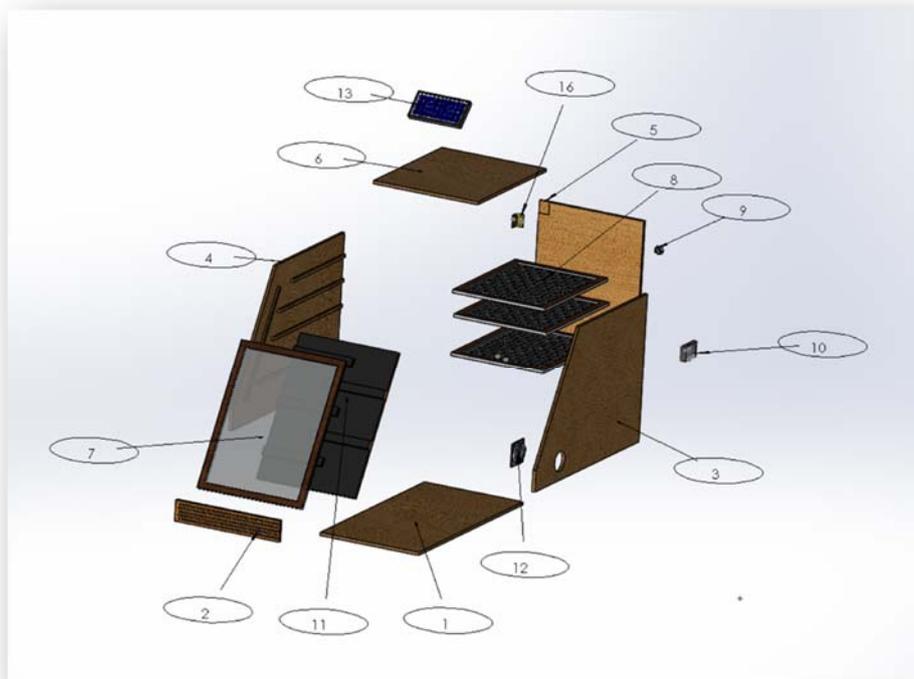


Figure III-9: Vue éclatée du séchoir solaire.

Le tableau suivant présente la désignation de tous les éléments utilisés dans la conception du séchoir solaire avec leurs dimensions et quantités nécessaires.

N° Article	Désignation	Description – Dimension (m)	Q ^{te}
1	Base	1 x 0.5	01
2	Grille	0,53 x 0.1	01
3	Étagère droit	1 x 0.7 x 0.4 – inclinaison (45°)	01
4	Étagère gauche	1 x 0.7 x 0.4 – inclinaison (45°)	01
5	Porte	0.7 x 0.53	01
6	Toit	0.4 x 0.5	03
7	La vitre	0.53 x 0.85	01
8	Tamis	0.85 x 0.5	01
9	Poignée	Standard	01
10	Ventilateur Extracteur	0.12 x 0.12 x 0.025	01
11	Thermomètre	Standard en degré C°	01
12	Partie reflétant	0.85 x 0.5	01
13	Panneau solaire	Voir la fiche technique en annexe	01
14	Charnière	Standard	02

III.4 Fourniture et les éléments du séchoir solaire

III.4.1 Panneau de contreplaqué multicouche :

Les panneaux multicouches, également appelés panneaux à trois couches ou contreplaqués à trois couches, sont un type de panneau que nous utilisons souvent dans la fabrication de meubles.

Le panneau multicouche appartient également à un panneau artificiel, qui est un panneau combinant un jeu de facettes perpendiculaires les unes aux autres dans le sens du grain du bois. Il présente les avantages suivants : légèreté, qualité et excellente élasticité et ténacité.



Figure III-10: panneau de contreplaqué multicouche.

III.4.2 Vitre

C'est un Panneau de verre transparent servant à isoler de l'air extérieur tout en laissant passer la lumière. Le verre à vitre courant est transparent de l'UV jusqu'au moyen infrarouge, il ne transmet pas les UV-B et les UV-C. Ainsi, on peut bronzer derrière une vitre, puisque les UV-A sont transmis.

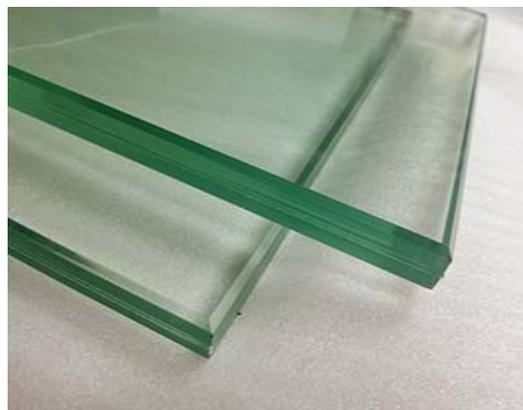


Figure III-11: verre transparent.

III.4.3 Visserie

Pour l'assemblage des pièces on utilise :

Des vis à bois et agglomérés, appelées vis VBA, de diamètre 3*16 (21) qui ont la propriété de pouvoir être vissées sans avoir fait d'avant trou. Très pointues et filetées sur toute leur longueur, elles permettent de ne pas fendre le bois lorsqu'on les visse.

Des Clou tête plate en acier doux 20 mm, c'est le modèle le plus répandu pour associer deux (02) pièces de bois.



Figure III-12: visserie.

III.4.4 Isolant thermique adhésif en aluminium renforcé

L'adhésif en aluminium est très souple, conformable et très résistant grâce à la trame. Il offre une tenue en température de -30 à 120°C. Cet adhésif existe en plusieurs épaisseurs et différentes tenues en température.



Figure III-13: aluminium adhésif.

III.4.5 Polystyrène

Parmi les nombreux isolants disponibles sur le marché, le polystyrène figure parmi les plus performants en matière d'isolation thermique. Sa version PSE (polystyrène expansé) est utilisée dans quasiment tous les éléments du bâti. Matériaux économiques et polyvalents, on s'en sert pour construire murs, plafonds, planchers, toitures plates, terrasses, etc.



Figure III-14: Polystyrène.

III.4.6 Tissu filet en maille métallique

Le grillage tissé d'acier inoxydable est fabriqué en tissant les fils longitudinaux et transversaux ensemble, avec son excellente résistance contre l'acide, alcali, chaleur et corrosion, trouvent des utilisations étendues dans le traitement d'huiles, produits chimiques, nourriture, pharmaceutiques, également assortissant et examinant de solide, du liquide et du gaz, la métallurgie, etc.

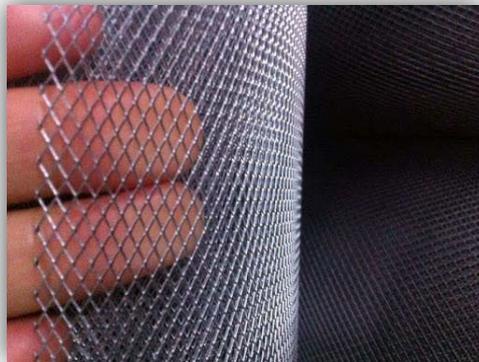


Figure III-15: grillage tissé.

III.5 Instrumentation

III.5.1 Ventilateur

Ventilateur d'extraction durable 12 V, avec les dimensions 0.12 x 0.12 x 0.025 m. Silencieux, puissant mais sobre, il est destiné à extraire l'air vicié hors enceinte

Caractéristiques :

- ✓ Alimentation : 12V
- ✓ Consommation : 3 W
- ✓ Débit d'air : 130 m³/h
- ✓ Vitesse 1800 ± 10% tr/mn
- ✓ Résistant aux hautes températures et facile à nettoyer.
- ✓ Durée de vie : 35.000 heures



Figure III-16: Ventilateur Extracteur.

III.5.2 Variateur de vitesse du ventilateur

C'est un dispositif destiné à régler la vitesse de rotation des petits moteurs à courant continu 6V, 12V, 24V etc. En faisant varier la fréquence respectivement au courant.

III.5.3 Thermomètre

C'est un thermomètre digital à usage multiple pour la mesure de la température de l'air, de gaz, de liquides, de semi liquides. Simple d'usage, économique, fiable, protégé contre les éclaboussures d'eau et facilement transportable



Figure III-17: thermomètre.

III.5.4 Fil électrique

Un fil électrique est le composant électrotechnique servant au transport de l'électricité, afin de transmettre de l'énergie ou de l'information. Il est constitué d'un matériau conducteur, mono-brin ou multi-brin, souvent entouré d'une enveloppe isolante (plastique, Téflon...). L'intérieur du fil électrique est appelée l'« âme » du fil.



Figure III-18: Fil électrique.

III.5.5 Panneau solaire

Un panneau solaire est un dispositif convertissant une partie du rayonnement solaire en énergie thermique ou électrique, grâce à des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques respectivement.



Figure III-19: Panneau solaire.

III.6 La réalisation

Pour obtenir un séchoir solaire parfaitement fonctionnel on doit procéder comme suit :

III.6.1 Découpage

Après avoir pris les dimensions de chaque composant, nous avons utilisé deux méthodes de découpage de bois :



Figure III-20: Panneaux découpés.

III.6.1.1 Scie circulaire

Il s'agit d'un outil portatif très maniable : contrairement aux scies fixes, la scie portative est amenée vers l'objet à découper (et non l'inverse). Elle possède une surface d'appui à travers laquelle passe la lame, et un guide permettant de faire des coupes relativement précises. La lame est en général directement fixée sur l'axe du moteur.



Figure III-21: Scie circulaire.

III.6.1.2 Scie sauteuse (pour les angles)

C'est un outil composé d'une lame fine et dentée rattachée directement au moteur. Lorsque vous activez l'interrupteur, celle-ci s'active et opère des mouvements de va-et-vient verticaux qui permettent ainsi la découpe de votre matériau. Elle est légère (2,5 kg max) et donc très maniable.



Figure III-22: Scie sauteuse.

III.6.2 L'assemblage

Après avoir tout découpé les différents composants, on utilise des vis à bois de diamètre (3 x 16) et des clous de 20 mm de longueur et pour renforcer l'assemblage, on utilise des supports en forme de L, et pour tous cela on utilise un tournevis, un marteau et une visseuse.



Figure III-23: Assemblage des panneaux du séchoir solaire réalisé.

III.7 Peinture et isolation

L'intérieur du séchoir a été isolé en assemblant du polystyrène avec de l'aluminium, des plaques de polystyrène de 0.02 m d'épaisseur qu'on a couvertes avec de l'aluminium adhésif afin de bien protéger l'ensemble et réfléchir le rayonnement.

Pour obtenir une surface plus absorbante la surface est peinte en noir mate, vu que la couleur noire absorbe le maximum de rayonnement solaire.

Pour l'extérieur on applique plusieurs couches vernis spécial pour bois, dont le rôle est de préserver durablement le bois des agressions extérieures avant tout rôle purement esthétique.



Figure III-24: Peinture et isolation du séchoir solaire.

III.8 Élaboration des modèles de calcul

Le dimensionnement des différents systèmes ne peut se faire que si les principaux paramètres thermiques sont maîtrisés dans le séchoir. Pour y parvenir, il faut donc élaborer des modèles de calcul pour prédire l'évolution de ces paramètres. C'est ce qui est fait dans cette section. Nous devons donc modéliser les transformations subies par l'air humide à la traversée de chaque système [10].

III.8.1 Quelques notions fondamentales sur le séchage

Eau libre : tout produit à sécher est poreux. Il existe dans le produit de l'eau sous forme liquide piégée dans les pores par capillarité, c'est l'eau libre.

Eau liée : grâce aux propriétés hydrophiles du produit à sécher, une portion d'eau se retrouvera sur et dans les parois des pores (on parle alors d'adsorption), C'est l'eau liée.

Flux-masse : c'est la masse d'eau évaporée par unité de surface d'échange du produit et par unité de temps. Elle sera notée par la suite F_m

- ✓ Teneur en eau base sèche du produit : noté W , et définie par.

W = Masse d'eau dans le produit (Masse de produit sec).

- ✓ Porosité d'un amas de produit : notée \hat{a} , elle vaut

\hat{a} = Volume de l'amas - Volume du produit . Volume de l'amas

- ✓ Compacité d'un amas de produit : noté \acute{a} , elle vaut

\acute{a} = Surface d'échanges convectifs

Compacité base sèche d'un produit : elle est définie par

$$\acute{a}_s = \frac{\text{Surface d'échanges convectifs sur le produit}}{\text{Volume sec du produit}}$$

III.8.2 Estimation de l'efficacité thermique

Le calcul de l'efficacité thermique se fait par le calcul de l'efficacité du collecteur, et celle de la chambre de séchage.

III.8.2.1 Efficacité du séchoir

Pour le séchoir solaire fonctionnant en convection forcée, l'efficacité est donnée par l'expression suivante :

$$\eta_{ch} = \frac{m f(X_0 - X)L_v/(X_0 + 1)}{(I \cdot A_c + P_f) \cdot t} \cdot 100$$

Avec

m : la masse du produit à sécher (kg eau)

L_v : chaleur latente de vaporisation(J/kg)

I : puissance solaire (W/ m²)

A_c : Surface du l'absorbeur [m²]

P_f : énergie électrique consommée par le ventilateur (W)

t : le pas du temps (s)

III.8.2.2 Rendement du capteur

La performance thermique d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané, défini par :

$$\eta = \frac{\text{puissance thermique utile par m}^2 \text{ de capteur}}{\text{Flux solaire incident sur le plan du capteur}}$$

Cette équation se traduit par l'expression

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)}{I_g \cdot A_c}$$

Avec

η : Rendement instantané du capteur plan.

\dot{m} : Débit d'air massique [kg/s]

C_p : Chaleur spécifique [J/kg. K]

T_e et T_s Respectivement la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur [K].

A_c : Surface de l'absorbeur [m²]

I_g : Densité de flux solaire global incident [W/m²].

III.9 Mise en marche

Le ventilateur se met en route dès les premiers rayons de soleil, il fonctionne même lorsque le temps est nuageux (le capteur fourni quasiment 1W même avec du rayonnement diffus).

Petit test rapide en février (pas un soleil de plomb, ~16°C à l'extérieur) la température dans le séchoir est très facilement à 35° avec la ventilation à fond. Elle monte à 40° en 10 minutes si je diminue la vitesse du ventilateur. Donc cet été je pense qu'il ne faudra pas l'orienter face au soleil tout le temps sinon ça va trop chauffer... le futur me le dira.

On a fait sécher de la menthe, le séchoir est laissé en permanence dehors (sous la pluie, la nuit, etc), le bois est recouvert d'huile de lin pour le protéger de l'usure, le temps de séchage est d'environ 3 jours (ensoleillés), sachant que nous sommes en février et que nous habitons dans un endroit, certes avec du soleil, mais très humide (almaguechthoum, commune Akkerou à 20 km de la cote (Azzefoun), entourés de forêts).

Conclusion

Nous jugeons que notre objectif de conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect est bien réalisé et atteint, les essais et tests ont montré un succès pour sécher plusieurs produits alimentaires tel que : les tomates, les piments, les haricots vert et les écorces d'orange.

Nous avons constaté une perte de masse très importante pendant une période courte dans un climat qui n'était pas trop chaud.

Conclusion générale

L'étude bibliographique réalisée a montré que le séchage solaire est un domaine de recherche très large et approfondi, soit du point de vue théorique ou expérimental.

Le séchage étant une opération unitaire de la technologie des industries agroalimentaires, il en existe plusieurs modes de séchage du plus lent au plus rapide.

Le séchage solaire reste le mode de séchage le plus répandu au monde ; avec des variantes de séchage direct et indirect.

Dans ce travail, nous avons exposé toutes les étapes suivies dans la réalisation du séchoir solaire, avec le choix des matériaux et des dimensions

Durant notre travail nous avons pu mettre en pratique nos connaissances acquises pendant le cursus universitaire, ainsi surmonté les différentes difficultés rencontrées dans la prestation de certaines opérations de fabrication, ce qui nous a poussé à les fabriquer avec nos propres moyens.

Cette étude nous a permis de comprendre les différents processus de séchage solaire ainsi que les points de contaminations à éviter.

En perspective de notre travail, on prévoit l'installation d'instruments de mesures pour effectuer des manipulations servant à déterminer les cinétiques de séchage pour plusieurs produits alimentaires de la région.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail servira aux prochaines promotions d'étudiants à venir et à tous ceux qui s'intéressent au domaine de séchage en général.

- [1] **Souheyla Khaldi.** Étude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie. Université bourgogne Franche-Comté, 24 septembre 2018.
- [2] **Ahmat Tom.** Contribution au séchage solaire des produits carnés : modélisation et réalisation d'un séchoir adapté aux pays tropicaux. L'école nationale supérieure d'arts et métiers le 10 juillet 2015.
- [3] **BENAMMAR Roumaïssa et GOURI Kaouther.** Séchage solaire des produits agricoles université de Ouargla, (2018)
- [4] **HOUHOU Hatem:** Étude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires, université Biskra, (2007)
- [5] **M. Daguenet** Les séchoirs solaires : théorie et pratique, (1985)
- [6] **Robin Alexandre** Sécheur solaire 2003 / 2004.
- [7] **André charreau et Roland cavallé** Techniques de l'ingénieur – génie des procédés Séchage Appareillage et choix d'un procédé, j 2484-2 ; 2484-16.
- [8] **Amelin et Souriau:** Fabrication de cuiseurs et de séchoirs solaires, CTA, 2014.
- [9] **Bonazzi et Dumoulin:** "Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes." (2011).
- [10] **Michel Daguenet.** Les séchoirs solaires : Théorie et pratique. UNISCO (1985).
- [11] **Boussalia A.** Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire de Magister Université Constantine, (2010).
- [12] **PAUL SABATIER** Contribution aux assemblages hybrides (boulonnés/collés). UNIVERSITÉ TOULOUSE III.(2006)
- [13] **Jean François Beniguel,** thèse de doctorat : Modélisation du comportement mécanique des assemblages de structures soudées.(2002)
- [14] Site **Twaalf Ambachten,** Les technique vertes des "douze Artisans "
- [15] **Chevalier,** ouvrage : Guide du dessinateur industriel. (2003)
- [16] **Patrick BLAIN,** Technique de l'ingénieur « CAO et méthodologie de conception »

document B 2 810.

[17] Borhen LOUHICHI, thèse « Intégration CAO/Calcul par reconstruction du modèle CAO à partir des résultats éléments finis », 2008.

[18] www.SolidWorks.com.

Annexes

Fiche technique, panneau solaire modèle CCLAMP CL680.



Chargeur solaire Panneau solaire pliable 8w 6V Chargeur de port USB portable

Pas de batteries lithium-ion intégrées Génération directe de la lumière du soleil, pas de batterie au lithium intégrée, et ne vous inquiétez pas de tous les problèmes causés par l'exposition à des températures élevées.

L'énergie solaire est écologique et économe en énergie!

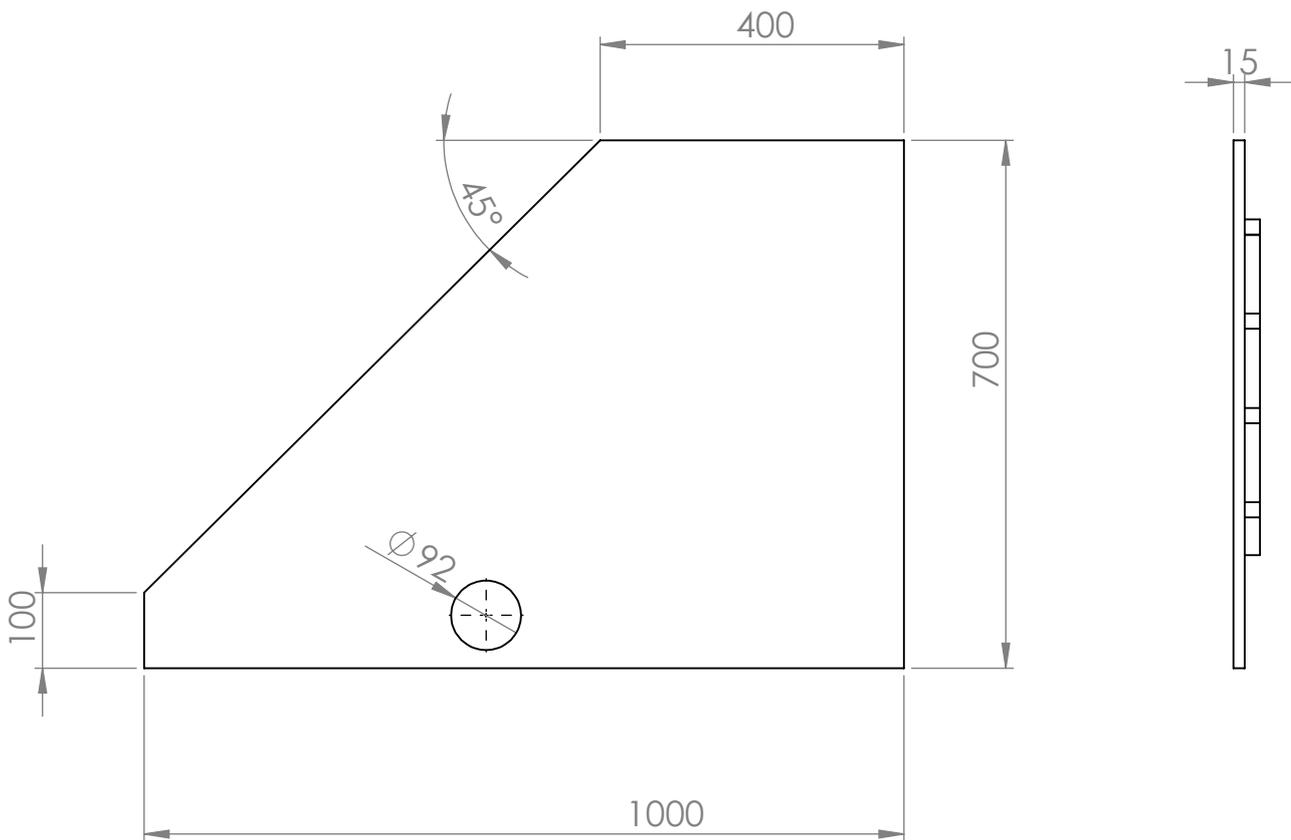
Caractéristiques:

- 8 WATTS
- 6V
- PUISSANCE TENSION MAXIMALE (V_{pm}) 6V
- COURANT DE PUISSANCE MAXIMUM (I_{mp}) 1,3 A - TENSION DE CIRCUIT OUVERT (V_{oc}) 11V
- COURANT DE COURT-CIRCUIT (I_{sc}) 0,6 A
- HAUTEUR: 27 CM LARGEUR: 19 CM
- AVEC 5 bornes
- Connectez directement le téléphone portable au panneau
- Non batterie

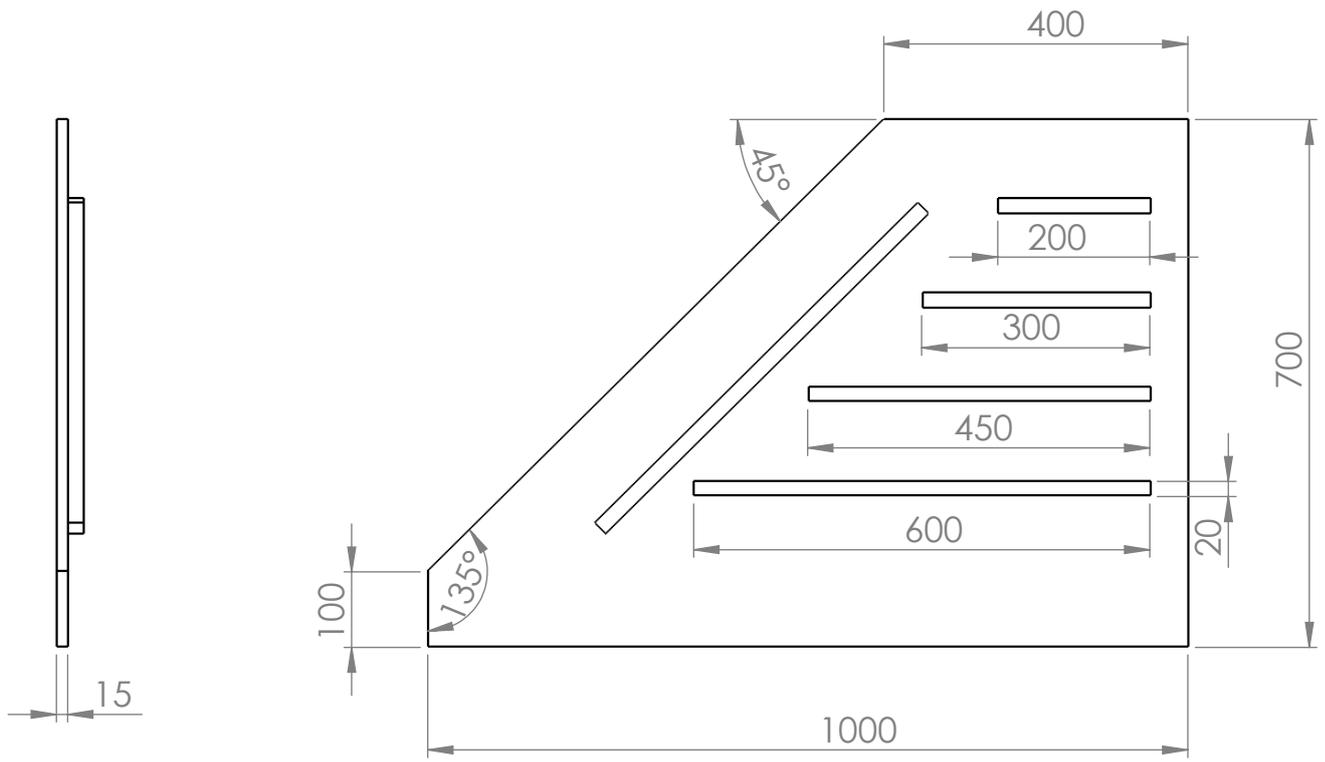
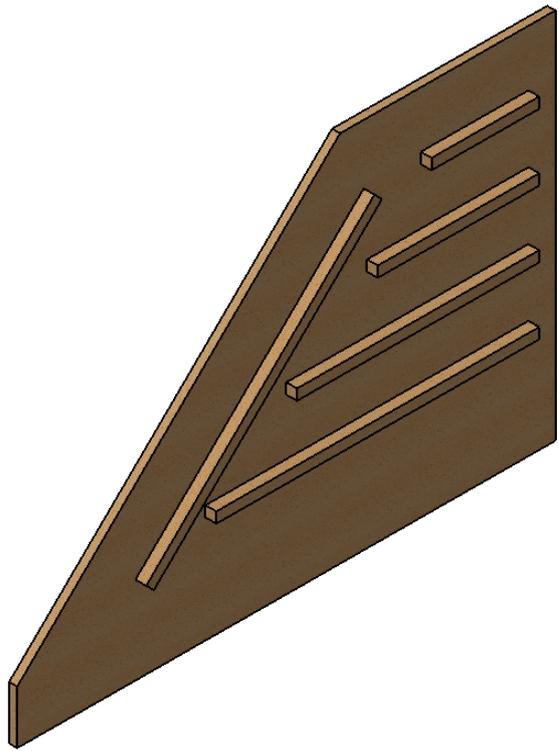
Pour votre achat, vous recevez:

1x panneau solaire 8W 6V

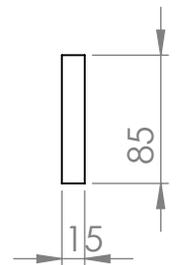
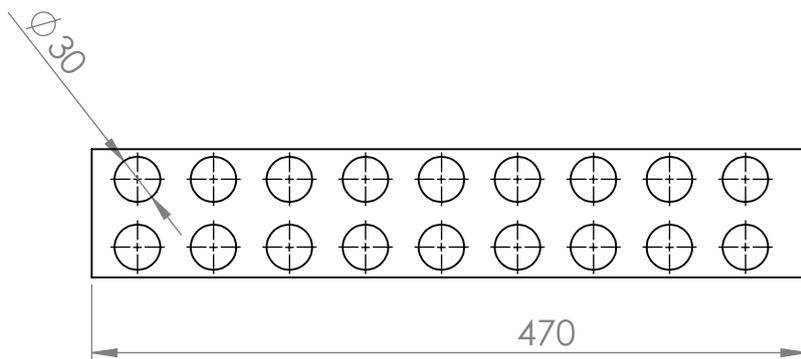
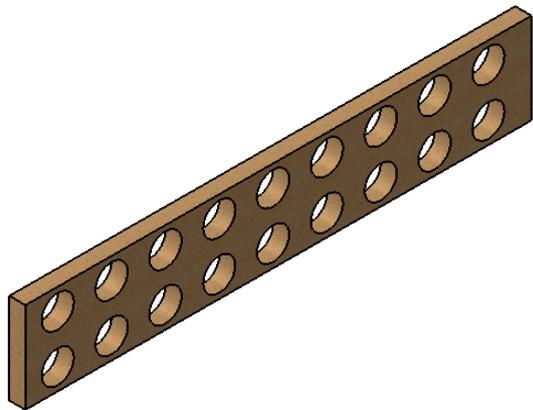
1x Multiport



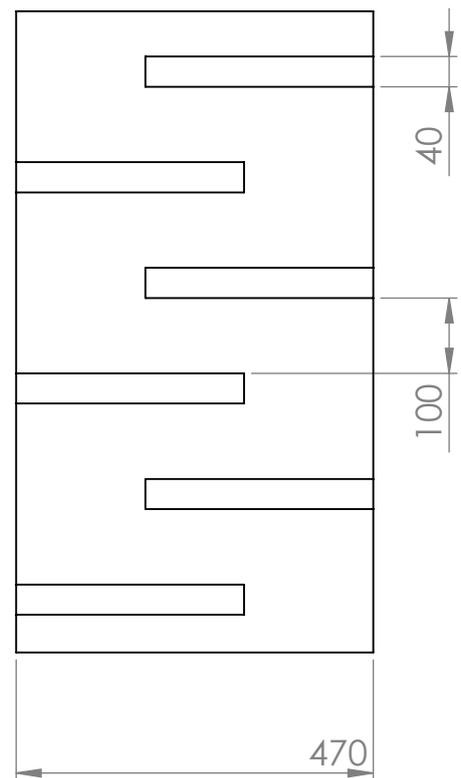
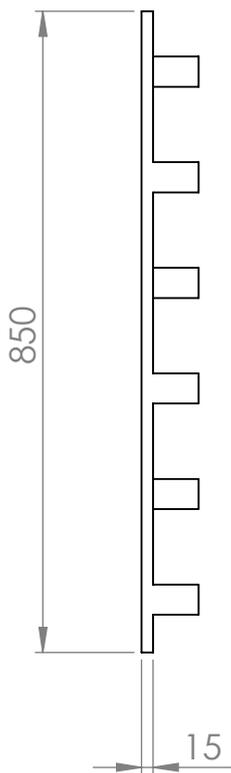
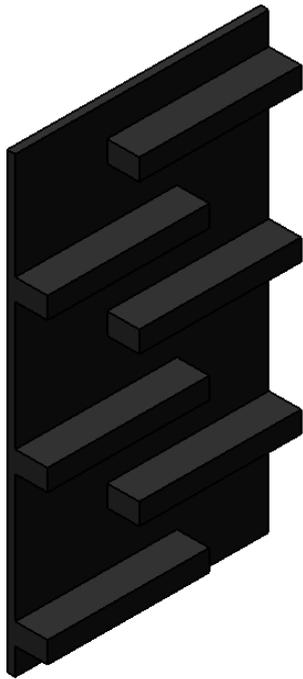
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		DJETTOU Tarek
A4	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE 1:10	Étagère cotè droite	BOIS
		01/02/2020



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU		DJETTOU Tarek
A4	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE 1:10	Étagère cotè gauche	BOIS
		01/02/2020



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU		DJETTOU Tarek
A4	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE 1:10	Grille	BOIS
		01/02/2020



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU

A4

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

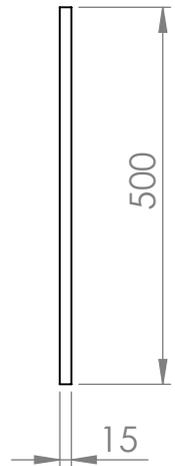
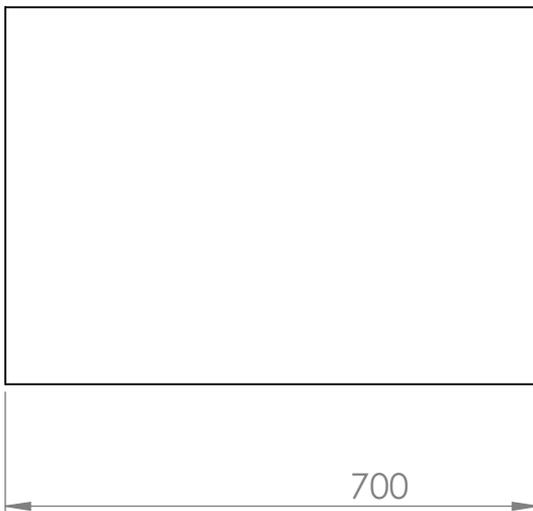
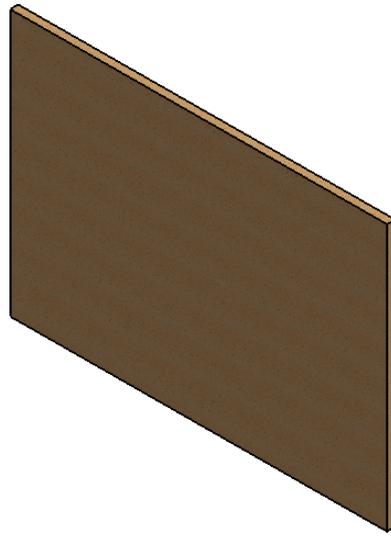
ECHELLE 1:10

Partie réfléchante

BOIS



01/02/2020



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU

A4

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

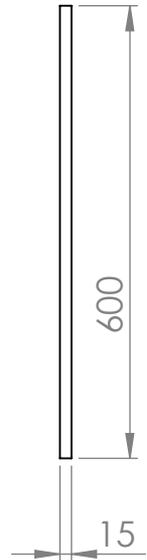
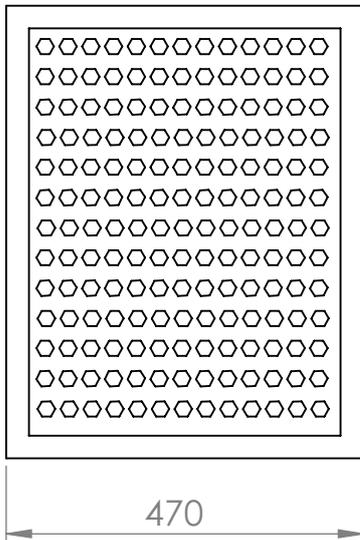
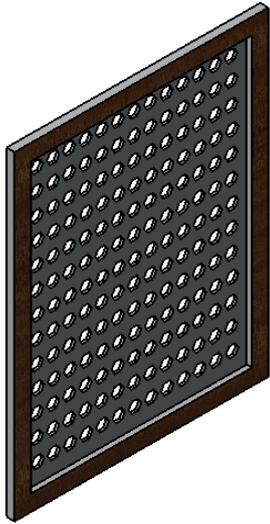
ECHELLE 1:10

Porte

BOIS



01/02/2020



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU

A4

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

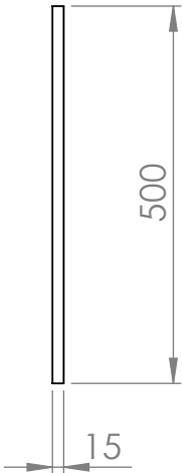
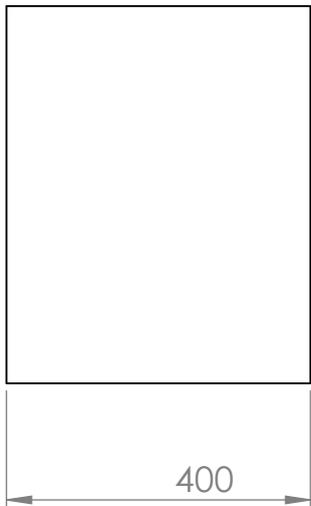
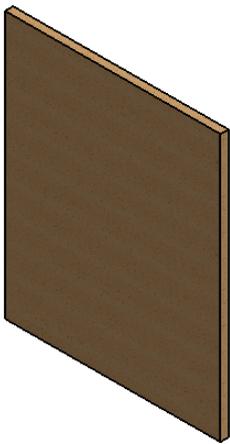
ECHELLE 1:10

Tamis

BOIS



01/02/2020



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU

A4

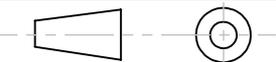
FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

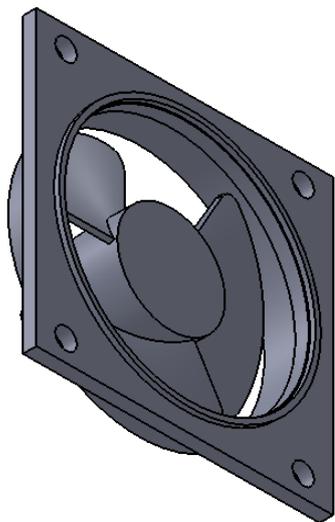
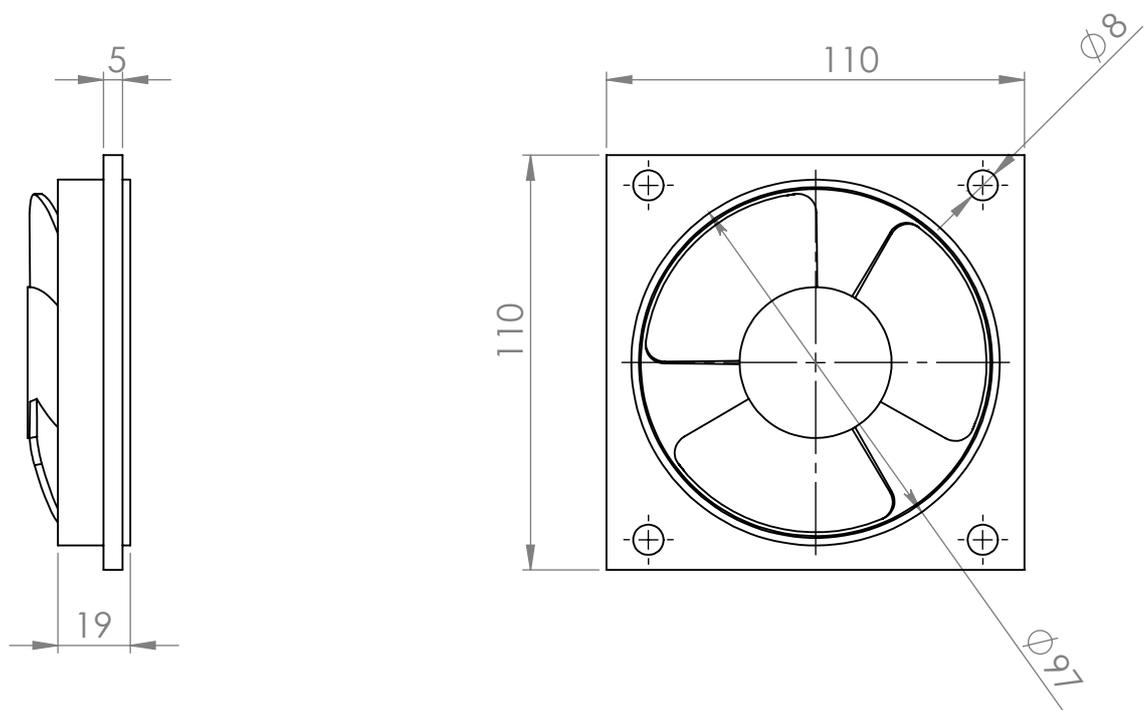
ECHELLE 1:10

Toit

BOIS



01/02/2020



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU

A4

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

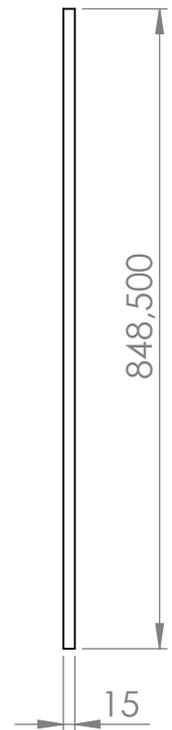
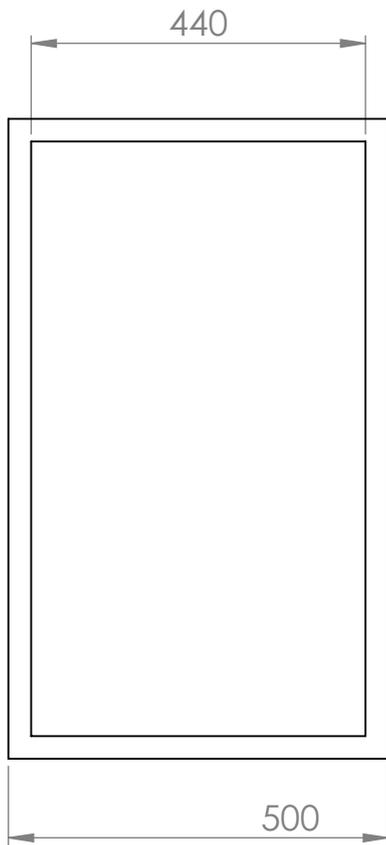
ECHELLE 1:10

Ventilateur

plastique

01/02/2020





UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU

A4

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

DJETTOU
Tarek

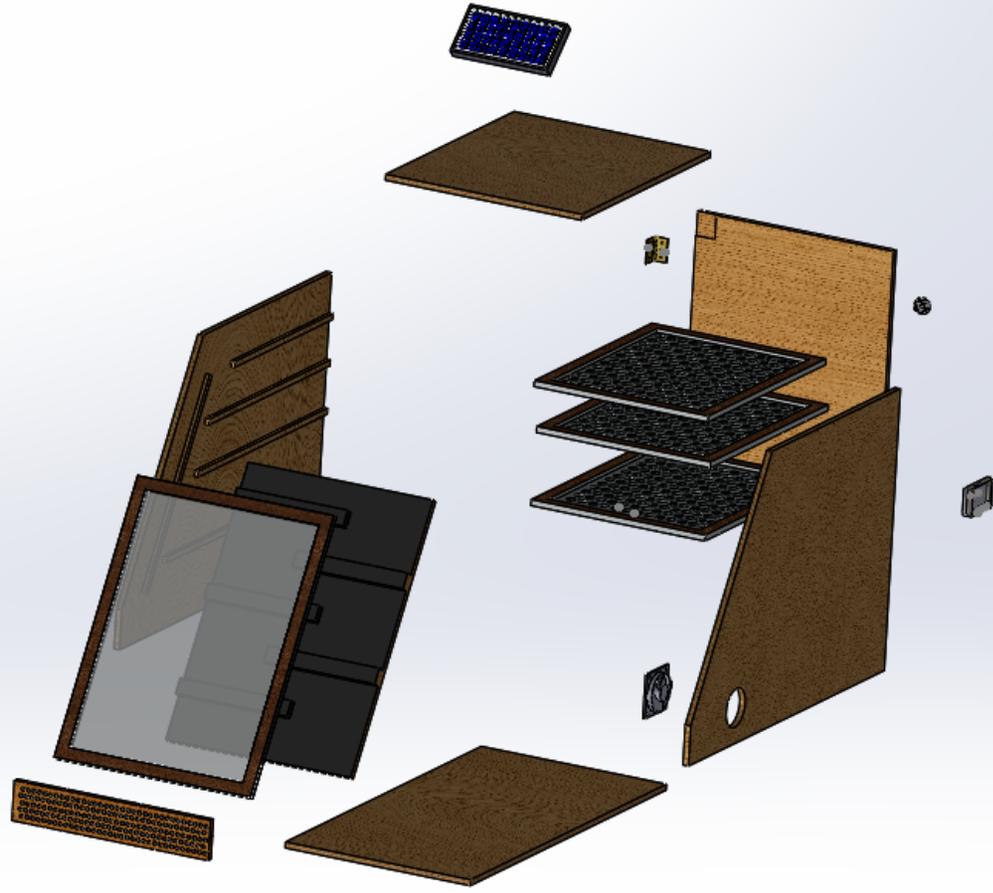
ECHELLE 1:10

vitre

BOIS



01/02/2020



1. Assemble the cabinet body and drawers. 2. Attach the glass door to the cabinet. 3. Install the top panel and secure it with screws. 4. Mount the drawers to the cabinet. 5. Attach the bottom panel and secure it with screws. 6. Install the hardware (handles and knobs). 7. Place the cabinet in the desired location.

*