

1ère partie
Production
de la vapeur

2ème partie
Utilisation
de la vapeur

3ème partie
Production
de glace

4ème partie
Memento
Technologique

5ème partie
vers d'autres
horizons



5ème Partie "Vers d'autres horizons"

La 5ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org regroupe diverses rubriques relatives à l'énergie solaire



Accédez à la
documentation
complète de

www.soleil-vapeur.org

CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE à VAPEUR à CALODUCS ÉTAGÉS

Le cuiseur solaire à vapeur est destiné à fournir de l'énergie thermique à une température supérieure à 100° C nécessaire pour les opérations de cuisson alimentaire à l'eau ou à la vapeur (soupes, légumes, braisages, toutes cuissons à l'eau..) ou agro-alimentaires (production de savon, utilisation en petites laiteries, abattoirs, production de pâte d'arachide, de bière...) ou autres (distillation de plantes, production de bio-diesel...). Elle est destinée aux régions disposant d'un bon ensoleillement, mais dont les ressources énergétiques traditionnelles sont ou deviennent peu abondantes. Lors d'une journée correctement ensoleillée, sa capacité de cuisson est de l'ordre de trois lots de 4 kg de légumes par jour dans le cas d'un capteur de taille moyenne comme ci dessus, mais sa puissance est modulable en fonction du nombre de tubes.



Ce capteur, à faire fonctionner en continu pendant six à sept heures par jour (le soleil

permettant), est destiné plus particulièrement à un usage professionnel du type artisanat ou micro-entreprise.

L'installation est composée

- d'un capteur solaire à tubes à double paroi sous vide et à caloducs, acheté dans le commerce,
- d'un transfert de chaleur vers une plaque de cuisson,
- d'un caisson isolant, abritant la plaque chauffante et le récipient de cuisson de 8 litres au maximum. L'énergie solaire est gratuite, mais sa collecte ne l'est pas : l'important en matière d'énergie solaire n'est pas tant de collecter l'énergie, que d'éviter de la gaspiller une fois qu'elle a été collectée !

Le cuiseur est un "piège à chaleur" : tout rayonnement solaire qui traverse le tube à double paroi sous vide est transformé en chaleur, laquelle est piégée de toutes parts par l'isolation ; sa seule issue est alors la "zone froide" du système, à savoir la plaque sur laquelle repose le récipient de cuisson, dénommée "plaque chauffante" du point de vue de l'utilisateur.

Conçu au cours de 2014, construit en 2015, le cuiseur à caloducs étagés a été présenté publiquement pour la première fois lors du Village Alternatiba d'Evreux, en Septembre 2015, et à Montreuil en Décembre 2015.

La documentation est en accès libre sous licence ""Créative Commons – Attribution/Share Alike" :
- les travaux de soleil-vapeur peuvent être utilisés, y compris à des fins commerciales, sous réserve de mentionner leur origine.

- tout utilisateur peut effectuer des modifications, y compris à des fins commerciales, sous réserve que ces modifications soient publiquement disponibles avec les mêmes droits que les travaux originaux.



Sommaire de la rubrique

Page

5	SECTION I CALODUC, CAPTEUR, CUISEUR
5	§ 1 Le principe du caloduc
5	§ 2 Les capteurs solaires à caloducs
6	§ 3 Du capteur au cuiseur
7	SECTION II LES CAPTEURS À CALODUCS
7	§ 1 Les différentes sortes de capteurs solaires
7	§ 2 La question du collecteur des capteurs à caloduc
8	§ 3 Quel capteur choisir ?
8	§ 4 Quelle dimension de capteur ?
9	§ 5 Un problème crucial : le transport des tubes

10	SECTION III LE SUPPORT DU CUISEUR
10	§ 1 Quelle hauteur pour le support du cuiseur ?
12	§ 2 La charpente en bois
12	A) la face avant du chevalet
13	B) la face arriere du chevalet
13	C) le cadre support du premier etage de caloducs
14	D) le support du caisson isole de cuisson
14	E) une vue d'ensemble
15	F) une configuration plus adaptée aux zones intertropicales
15	§ 3 quelques détails d'exécution
15	section de bois
15	le dégauchissage
16	équerrage
17	préassemblage
17	percements
17	traitement de surface
17	assemblage par boulon
17	charnières
18	§ 4 installation du premier étage sur son cadre support

19	SECTION IV LA PLAQUE DE CUISSON
19	§ 1 Principe, conception et calculs
20	§ 2 Version « assemblage usiné et boulonné. »
20	A) présentation
21	B) la plaque supérieure
23	C) la plaque inférieure
25	D) les piquages
25	E) l'entretoise extérieure
26	F) l'entretoise intérieure
26	G) les joints toriques
26	H) la boulonnerie
27	§ 3 version "assemblage soude"
27	plaque supérieure
27	entretoise extérieure
27	entretoise intérieure
27	plaque inférieure
27	entré-sortie de vapeur
27	départ pour accessoires

30	SECTION V LE CAISSON ISOLÉ
30	§ 1 La base du caisson isole
30	cotés gauche et droit
31	face arrière
31	face avant
31	platine support d'accessoires
33	brides de maintien de la soupape et du robinet de purge

- 34 supports de la plaque chauffante
- 36 installation de la plaque chauffante
- 37 panneaux de fermeture supérieur et inférieur de la base du caisson isolé
- 37 § 2 Le corps intermédiaire
- 38 paroi extérieure
- 39 paroi intérieure
- 40 panneaux de fermeture supérieur et inférieur
- 41 § 3 Le couvercle
- 42 § 4 Proposition de débit de la feuille de contreplaqué

43 SECTION VI LA PLOMBERIE

- 43 Vademecum des diamètres et filetages
- 44 § 1 Les accessoires de la plaque chauffante
- 44 a) le manomètre
- 45 b) la soupape
- 46 c) le robinet de purge
- 46 d) équipement de la plaque vapeur
- 47 e) raccordement des accessoires, et installation sur la platine
- 49 § 2 Le tuyau souple entre la plaque chauffante et le collecteur
- 52 § 3 Une première épreuve d'étanchéité
- 53 § 4 Equipement du collecteur du côté opposé au caisson
- 54 § 5 L'alimentation sous pression

55 SECTION VII L'INSTALLATION DU CUISEUR

- 55 §-1 Installation de la charpente
- 55 l'orientation générale
- 55 l'inclinaison du cadre-support du premier étage
- 55 si besoin : confectionner une estrade
- 55 la réorientation périodique du capteur
- 55 installation du caisson isolant à l'intérieur d'un bâtiment ?
- 56 trois points-clé à vérifier lors de l'installation :
- 56 §-2 Installation du support du caisson
- 56 § 3 Installation du caisson isolant
- 57 § 4 Installation des tubes à caloduc du premier étage
- 57 § 5 Installation d'une occultation des tubes

58 SECTION VIII FONCTIONNEMENT ET UTILISATION

- 58 § 1 Fonctionnement et utilisation du caloduc du second étage
- 58 A) l'eau
- 58 la qualité de l'eau
- 58 remplissage du caloduc
- 58 en fin de journée
- 58 contrôle de la quantité d'eau
- 58 ajout d'antigel ?
- 59 B) en cours de cuisson
- 59 C) l'à-sec de la chaudière

- 59 les causes
- 59 les conséquences
- 59 les remèdes
- 60 § 2 Fonctionnement et utilisation du caisson isole
- 60 A) la question du transfert thermique entre la plaque à vapeur et le récipient
- 61 B) le choix du récipient de cuisson
- 61 couvercle du récipient
- 61 modification des anses et poignées.
- 61 event de vapeur
- 61 C) installation du récipient dans le caisson :
- 61 le récipient
- 62 l'isolation
- 62 D) montée en température
- 62 E) maintien en température
- 62 la marmite norvégienne
- 63 F) cuisson à l'eau et cuisson à la vapeur
- 63 G) cuisson en auto-cuiseur
- 63 § 3 fonctionnement général du cuiseur
- 63 a) six heures par jour ?
- 63 b) le mode d'emploi

64 SECTION IX LES PERFORMANCES ET LEUR CONTRÔLE

- 64 § 1 température, pression, chaleur latente et casserole d'eau
- 64 la relation température -pression
- 64 la notion de chaleur latente
- 65 il serait possible d'utiliser d'autres fluides thermiques
- 65 dans une casserole,
- 65 § 2 les instruments de mesure
- 65 le manomètre
- 65 le thermomètre
- 65 le chronomètre
- 66 § 3 le test du litre supplémentaire d'eau bouillante
- 66 pour effectuer un test précis
- 66 effectuer les calculs
- 66 puissance effectivement disponible pour l'utilisateur

67 SECTION X AMÉLIORATIONS ENVISAGEABLES

69 SECTION XI QUELQUES ASPECTS NON TECHNIQUES

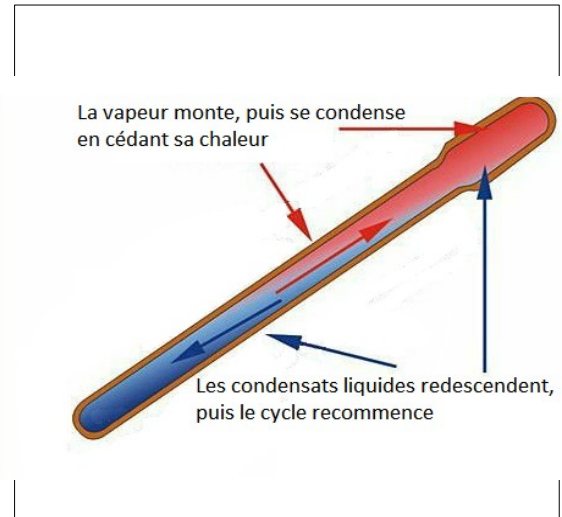
- 68 §-1 Energie solaire et contraintes
- 68 § 2 Quelques aspects économiques
- 69 § 3 Quel(s) modèle(s) d'utilisation du capteur ?

SECTION I – CALODUC, CAPTEUR, CUISEUR

§1 LE PRINCIPE DU CALODUC

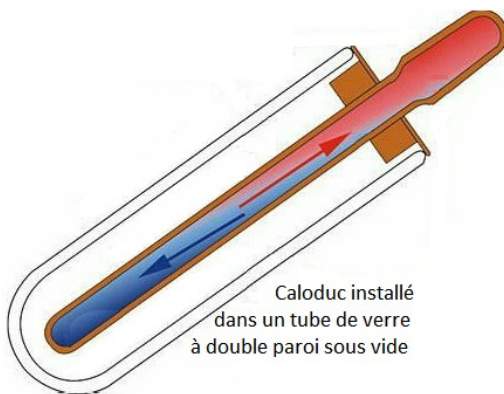
Le caloduc est un dispositif de transfert de chaleur, à l'instar du gazoduc qui transporte du gaz ou de l'aqueduc qui transfère de l'eau. Dans une configuration simple, le caloduc est un simple tube hermétiquement fermé, installé verticalement ou quelque peu incliné, et contenant un liquide, par exemple à base d'eau. Si l'on apporte de la chaleur en partie basse du tube, alors le liquide s'évapore, les vapeurs se dirigent vers le haut du tube, elles cèdent leur chaleur à la partie haute du tube, et se condensent ; les gouttes de condensats retombent vers le bas du tube, puis le cycle recommence. La vapeur montante et les gouttes descendantes se croisent donc à l'intérieur du même tube.

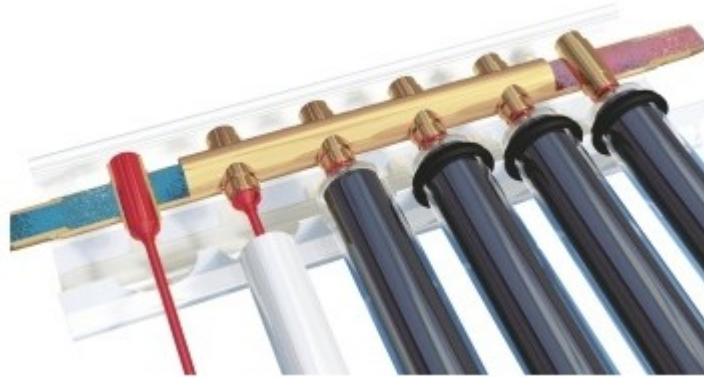
Une abondante documentation est disponible sur le Web aux mots clé "caloduc" et "heat pipes".



§2 LES CAPTEURS SOLAIRES À CALODUCS

En installant le caloduc à l'intérieur d'un tube en verre à double enveloppe sous vide (analogue à une longue bouteille "thermos" transparente) on obtient un capteur solaire. Cette technologie, initiée par l'université de Sydney à partir de 1975 (wikipedia / "tube sous vide") a fait l'objet de nombreuses améliorations : noir absorbant, témoin de vide... Elle est désormais très largement répandue pour la production d'eau chaude sanitaire.





Détail de la liaison entre les caloducs et le collecteur

§ 3 DU CAPTEUR AU CUISEUR.

Pour la production d'eau chaude sanitaire, le niveau de température nécessaire est de l'ordre de 80° C, mais les capteurs à caloducs sont capables de produire de la chaleur à un niveau de température bien plus élevé, de l'ordre de 130 à 140° C : leurs capacités sont sous-utilisées. On constate même une température "de stagnation", c'est à dire lorsque il n'y a pas d'extraction de la chaleur récupérée, de l'ordre de 200° C.

D'où l'idée d'utiliser les 130 à 140° C disponibles pour effectuer des opérations de cuisson à 100° C : cuissons à l'eau, braisages, etc.

Et pour transférer la chaleur depuis le capteur jusqu'au récipient de cuisson, l'idée retenue fut... d'installer un autre caloduc au dessus des caloducs du capteur : la partie haute du capteur devient en même temps la partie basse d'un second caloduc, dont la partie haute est la plaque chauffante du cuiseur.

Le cuiseur est donc bien du type "à caloducs étagés", il comprend deux niveaux de caloducs, et trois niveaux de vapeur : la vapeur des caloducs des tubes à vide, la vapeur du caloduc du second étage (environ 3 bar/144° C), et la vapeur à pression atmosphérique produite dans le récipient de cuisson.

La différence de température de quelques petites dizaines de degrés entre la source de chaleur (130 à 140° C) et la température d'utilisation (100° C) peut sembler faible. En fait, elle est tout à fait suffisante, l'équipe de soleil-vapeur.org en avait d'ailleurs eu l'expérience lors de travaux antérieurs sur les cuiseurs solaires à vapeur.

SECTION II LES CAPTEURS à CALODUCS

Le premier étage du cuiseur étant constitué d'un capteur à caloducs acheté dans le commerce, le propos est ici de fournir quelques rapides indications à leur sujet. Le lecteur trouvera toutes les informations complémentaires sur le Net

§ 1 LES DIFFERENTES SORTES DE CAPTEURS SOLAIRES

Les capteurs solaires se répartissent en deux grands groupes : les capteurs photovoltaïques et les capteurs thermiques. Les capteurs photovoltaïques convertissent le rayonnement solaire directement en électricité et relèvent de la haute technologie. Il ne sera pas question ici de ce type de capteur, ni de batterie, ni de câble électrique. (Toutefois, concernant un dispositif de cuisson et la stérilisation médicale solaires photovoltaïques, on pourra consulter la rubrique éponyme, 5ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org, à paraître en début 2016)

Les capteurs thermiques convertissent le rayonnement solaire en chaleur, et se répartissent en deux grandes catégories : les capteurs plans, et les capteurs à concentration.

Les capteurs thermiques plans ne nécessitent pas de suivi, sont beaucoup plus simples d'utilisation, mais ils sont physiquement limités en température, (usuellement moins de 100° C) et ne conviennent pas pour la cuisson.

Les capteurs à concentration (paraboliques, cylindro paraboliques, à miroirs, à miroirs "Fresnel"...) produisent de la chaleur à un niveau de température plus élevé, mais ils nécessitent un suivi du soleil, d'où certaines complications qui les rendent peu attrayants pour des installations de petite taille comme celle qui nous intéresse ici, de l'ordre de 0,5 à 1 kW disponibles pour l'utilisateur.

Les capteurs à caloducs et à tubes sous vide ne sont pas à proprement parler des capteurs plans puisqu'ils concentrent quelque peu le rayonnement solaire, mais ils ne nécessitent pas de suivi du soleil, et récupèrent aussi bien le rayonnement diffus que le rayonnement direct. De plus la double enveloppe sous vide limite drastiquement les pertes thermiques.

Un peu de concentration, et très très peu de pertes : telle est la recette du succès de ce type de capteur solaire pour obtenir un bon niveau de température et un bon rendement..

§ 2 LA QUESTION DU COLLECTEUR DES CAPTEURS A CALODUC

Vus de l'extérieur, tous les capteurs à caloducs sous tube à vide se ressemblent, les tubes ont les mêmes dimensions et suivent peu ou prou la même technologie.

Il y a toutefois une différence entre les fabricants, au niveau du collecteur horizontal recevant le bulbe des caloducs du premier étage. Dans la plupart des cas le collecteur est un simple tube sur lequel sont brasés à espaces réguliers des réceptacles en cuivre, dans lesquels viennent se loger les bulbes des caloducs du premier étage. Pour peu que le collecteur soit légèrement en pente, cette disposition permet parfaitement aux condensats de s'écouler jusqu'au fond du caloduc du second étage.

D'autres fabricants proposent des collecteurs formés de deux tubes parallèles, parfois non

rectilignes, qui enserrant le réceptacle des bulbes. Cette disposition est certainement tout à fait adéquate pour ce qui est du propos initial du fabricant, l'un d'eux précise qu'elle permet d'éviter les brusques qui subissent des alternances nuisibles de variations de températures. Mais pour ce qui est de notre propos, la prudence s'impose quant à la possibilité pour les condensats de retourner au fond du caloduc dans le cas de tubes collecteurs non rectilignes. Pour le moment, les collecteurs formés d'un seul tube rectiligne semblent être le bon choix.

Dans ces collecteurs circule généralement de l'eau ou bien un liquide caloporteur à base d'eau. La Pression Maximale de Service usuellement indiquée par les fabricants est de 6 bar (avec une Pression d' Epreuve de 9 bar?)

Pour le cuiseur proposé ici, la pression d'utilisation est de trois bar, avec deux soupapes de sécurité tarées à cette valeur. La vapeur est un gaz, et en cas d'accident une explosion de gaz est beaucoup plus dangereuse qu'une explosion due à un liquide, mais compte tenu des valeurs en jeu ici, il n'y a pas d'exagération majeure quant au risque encouru.

Les collecteurs adaptés à notre usage comportent généralement un petit tube à chaque extrémité destiné à recevoir une sonde de thermomètre

§ 3 QUEL CAPTEUR CHOISIR ?

Hormis la question du collecteur, il ne semble pas y avoir de préférence pour tel ou tel autre fabricant ou revendeur.

Certains revendeurs proposent un réflecteur à installer derrière les tubes, en aluminium anodisé, avec des ondulations parfois présentées... comme des CPC. Les petites ondulations servent à la rigidité de la tôle, et ne sont en rien des CPC. Le réflecteur a un certain intérêt lorsque le soleil est "face au capteur", les rayons qui passent entre les tubes (et entre les deux enveloppes de verre?) sont alors récupérés, mais cet effet est très atténué lorsque le soleil est de part et d'autre du capteur. Il est difficile d'avoir un avis tranché sur la question.

Nota : il existe également des capteurs à circulation d'eau sous tubes à vides, qui ne sont d'aucune utilité pour notre usage.

Le prix d'un capteur "18 tubes -1,80m" est de l'ordre de 500 à 600 euros en 2015, hors transport.

La question du transport des tubes est très délicate, moins en raison de leur fragilité qu'en raison de leur encombrement qui les rend très vulnérables aux chocs. La question du transport doit avoir été examinées dans tous ses détails avant achat, voir sur ci dessous § 5

§ 4 QUELLE DIMENSION DE CAPTEUR ?

Le cuiseur proposé ici est construit à partir d'un capteur de 18 tubes de 1,80 mètres. Ce type de capteur est disponible dans différentes dimensions, entre 8 et 30 tubes.

Dans des installations de petite taille, la puissance thermique dépend de la surface de captation des rayons solaires, mais la puissance disponible pour l'utilisateur n'est pas proportionnelle à cette surface : il faut tenir compte ici de l'effet d'échelle, d'autant plus redoutable en matière thermique qu'il est souvent mal évalué – quand il n'est pas franchement ignoré. Lorsque la dimension diminue, la puissance diminue encore plus rapidement, puis s'effondre complètement. Ce n'est pas le lieu de débattre ici de la question -laissons là aux thermiciens !- mais il serait naïf de ne pas en tenir

compte.

Aussi par prudence, il faut éviter pour le moment de construire un cuiseur à partir d'un capteur de 8 tubes. Il serait toujours possible de recouvrir partiellement un capteur de 18 tubes, et de mesurer finement les conséquences de l'effet d'échelle...

Quant au capteur de 30 tubes, là aussi il faut être prudent : quelle quantité maximum d'énergie la plaque chauffante est-elle capable de transférer au récipient de cuisson ? Cette valeur n'est pas encore connue expérimentalement (il sera toujours possible... de retirer quelques tubes du capteur...).

Il existe une version "balcon" de tubes sous vides, beaucoup moins long, mais à ce jour il n'est pas possible de fournir un avis autorisé sur le sujet.

Il ne faut donc pas avoir d'appréhension majeure quant à la puissance thermique du système. L'ordre d'idées de sa capacité est "trois lots de quatre kilogrammes de légumes par jour, par un temps correctement ensoleillé" pour un capteur de 18 tubes de 1,80m. En fait, le résultat final dépend beaucoup plus du conducteur que du cuiseur : est-il vraiment utilisé à plein temps pendant six heures par jour?

§ 5 UN PROBLEME CRUCIAL : LE TRANSPORT DES TUBES

Concernant leur résistance, les tubes en verre sont tout à fait correctement dimensionnés. Ils sont également très bien emballés par paquets de 20 tubes dans des cartons, et cet emballage convient parfaitement lorsqu'il s'agit d'empiler des cartons identiques dans un container maritime : ils sont parfaitement à l'abri des chocs.

Mais lorsqu'il s'agit de transporter un seul carton de tubes dans un camion de messagerie, alors la catastrophe est quasiment assurée : pour peu que le carton de deux mètres de long soit posé sur une palette de 1,20m (donc avec un porte à faux de 40 cm de chaque côté), et qu'il soit nécessaire de manutentionner deux ou trois fois le colis avec un transpalette, en lui faisant effectuer des demi-tour à l'intérieur d'un camion de 2,40m, alors les chocs sont tels que pas un seul tube ne résiste, quel que soit le nombre de tours de papier-bulles à chaque extrémité du colis.

La seule solution consiste à confectionner une caisse dans laquelle sera déposé le colis avec des sangles. La caisse doit être conçue de façon à

- être autoportante, c'est à dire suffisamment rigide. Ce ne sont pas les tubes qui doivent assurer la rigidité de la caisse (comme dans le cas d'un emballage en carton...). Une fois posée sur une palette, la caisse ne doit pas se déformer quelle que soit la façon dont elle est prise en charge.

- être suffisamment résistante pour supporter les impacts de manutention, sans les transmettre aux tubes.

Enfin, si la caisse est transportée dans une remorque attelée à une voiture, prévoir une remorque avec amortisseurs (*en plus* des suspensions) pour éviter que le moindre dénivelé ne provoque une demi-douzaine de soubresauts.

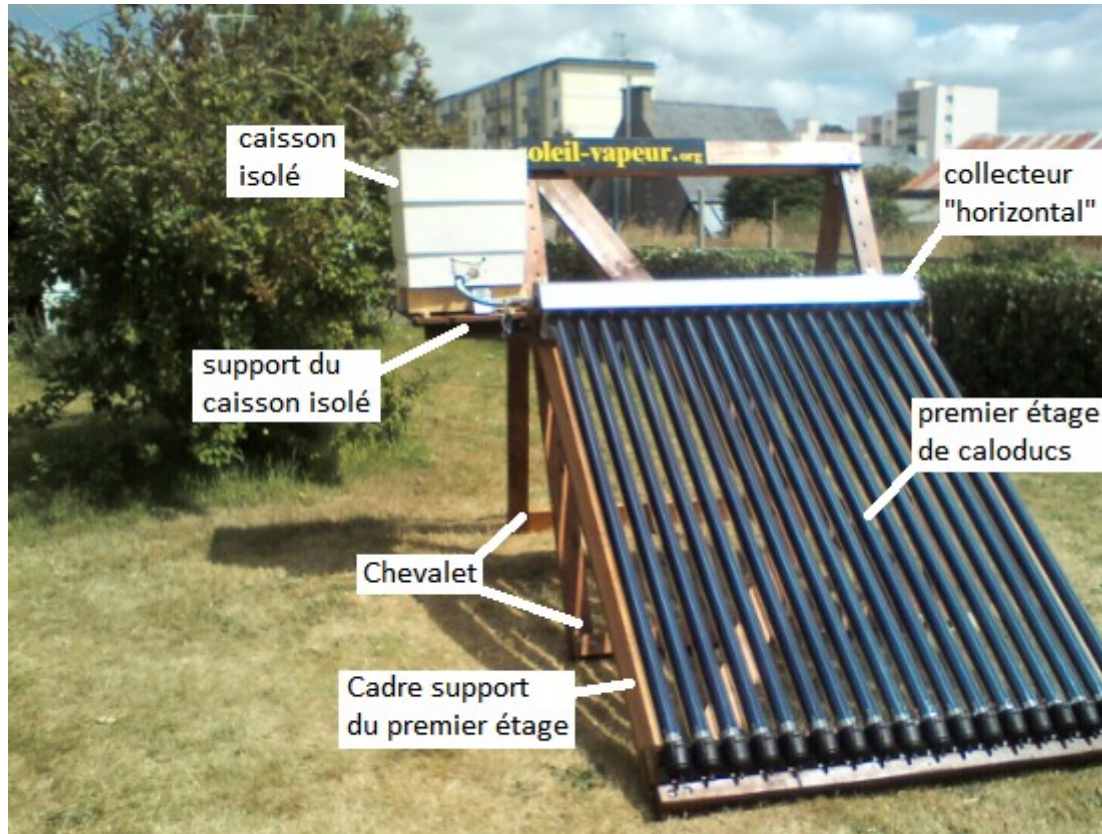
La confection d'emballages pour le transport suit des normes bien précises, qu'il convient de respecter. Il existe également des dispositifs de caisses-palettes.

La caisse fabriquée par soleil-vapeur a permis de transporter des tubes sur plusieurs milliers de kilomètres sans aucun dommage.

SECTION III LE SUPPORT DU CUISEUR

Le support du cuiseur proposé ici est une charpente bois, délibérément rustique et quelque peu surdimensionnée, mais tous les dispositifs (support métallique, support en maçonnerie, support en terre...) sont admissibles, tant qu'ils permettent au cuiseur d'être stable, correctement orienté, et correctement incliné en fonction de la latitude du lieu.

Le support du cuiseur présenté ici comprend un chevalet, un cadre support du premier étage, et un support du caisson isolé de cuisson.



§ 1 QUELLE HAUTEUR POUR LE SUPPORT DU CUISEUR ?

La hauteur du chevalet dépend de l'inclinaison que l'on souhaite donner au capteur, qui elle même est fonction de la latitude, et de la saison. En première approche, cette hauteur devrait permettre aux rayons solaires d'être perpendiculaires au capteur à l'heure de midi solaire au jour de l'équinoxe, , mais

- il n'est pas indispensable ni même possible que les tubes soient en permanence "parfaitement" d'équerre avec le rayonnement solaire : le soleil est en permanence en mouvement (apparent!) dans le ciel, matin et soir il est beaucoup plus bas dans le ciel qu'à l'heure de midi, etc ..., et c'est un des intérêts de ce capteur que de ne pas nécessiter de suivi du soleil. La position fixe du capteur est donc toujours un compromis, son fonctionnement sera toujours meilleur à certaines périodes de la

jours qu'à d'autres moments. C'est après quelques semaines ou quelques mois de convivance avec le capteur que son utilisateur sera en mesure de préciser la configuration la plus adéquate correspondant à ses modes d'utilisation.

- sous l'équateur exactement, le capteur devrait en théorie être à l'horizontale, mais c'est impossible en raison des caloducs du premier étage, qui nécessitent une inclinaison minimum (15 °?). Le capteur fonctionnera donc mieux à une saison, et un peu moins bien à la saison "opposée". Il sera toujours possible de le réorienter périodiquement, mais ne commençons pas à compliquer inutilement la situation.

À titre indicatif :

soit une pièce de bois figurant le cadre support du premier étage, de longueur $L = 2.00$ mètres, dont une extrémité est surélevée d'une hauteur H , et dont l'autre extrémité repose sur le sol en formant un angle α avec l'horizontale.

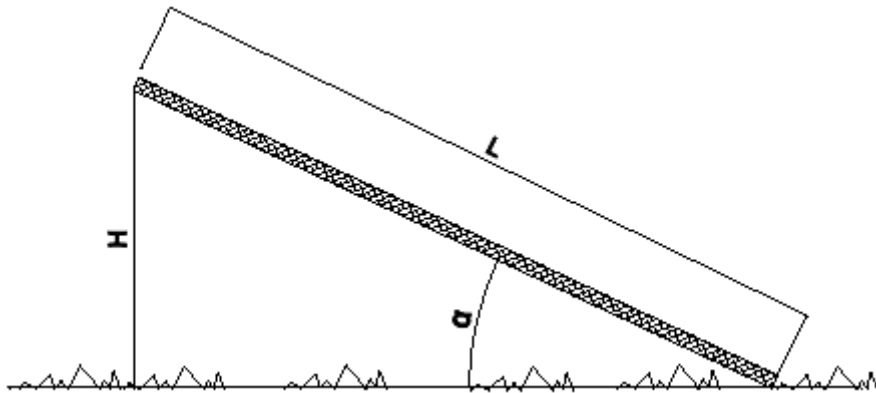


Tableau des valeurs de H en fonction de l'angle α

$$H = \text{Sinus}(\alpha) * L$$

Dans le cas présent : $L = 2,00$ mètres

α	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°
Sin α	0,258	0,342	0,422	0,5	0,573	0,642	0,707	0,766	0,866	0,939
H (m)	518	684	845	1 000	1 147	1 285	1 414	1,532	1,732	1,879

Sur la banquise, le capteur serait pratiquement vertical ; serait-ce une utopie ? Sur ce sujet, voir la rubrique "Les capteurs à caloducs, un dispositif de chauffage pour le Grand Nord ?", dans la 5ème partie de la documentation.

Le chevalet proposé ici est très haut permet d'incliner le premier étage sous différents angles avec un important débattement, il convient à un cuiseur "de démonstration". Pour un cuiseur à poste fixe, il n'est que de s'adapter aux circonstances locales.

§ 2 LA CHARPENTE EN BOIS

Le chevalet proposé ici n'est pas symétrique, la face arrière étant moins haute que la face avant. Ce choix n'est pas indispensable. Pour des latitudes peu élevées, il semble préférable d'avoir un chevalet symétrique.

Les dimensions sont en centimètres, comme usuellement pour le travail du bois.

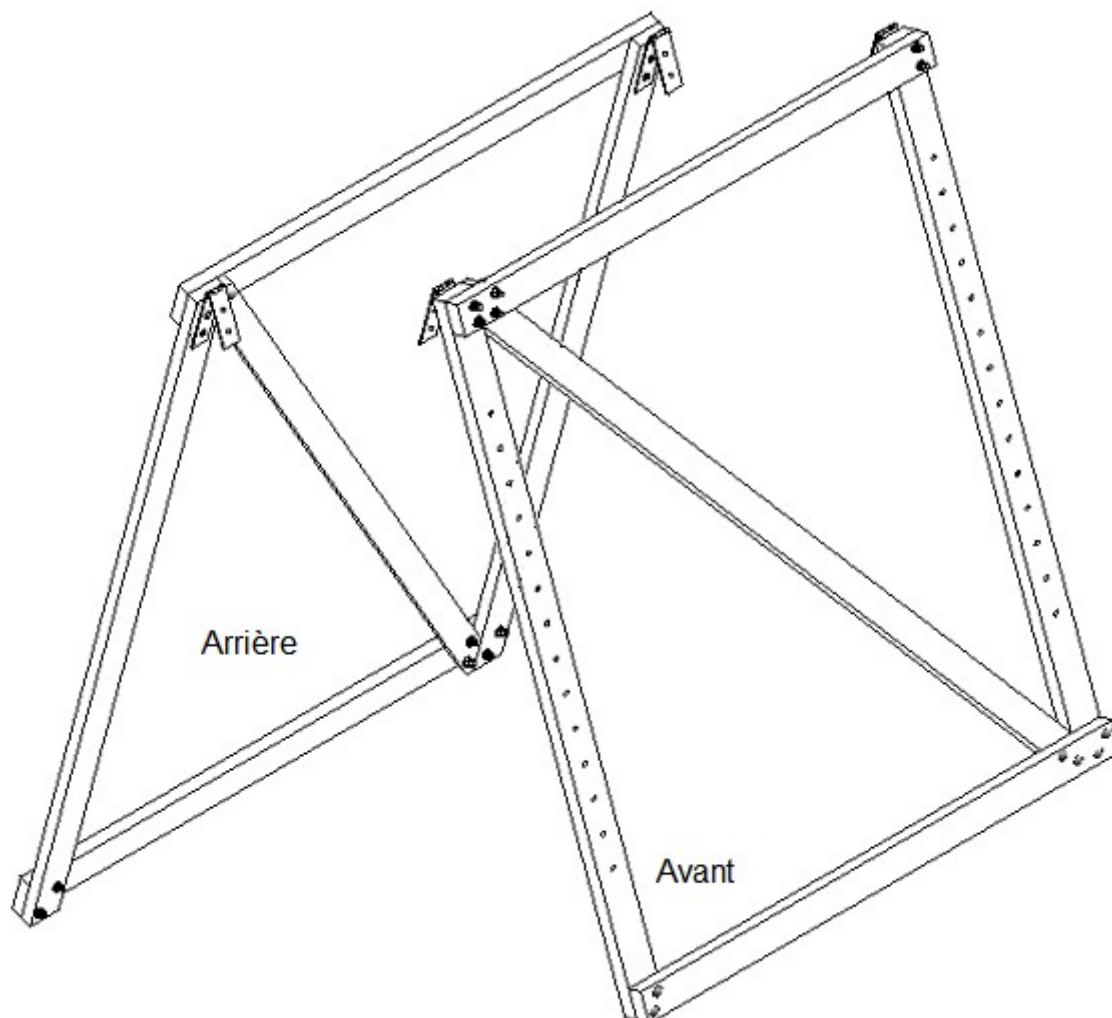
A) - LA FACE AVANT DU CHEVALET

section de bois : 9 x 3,5 cm environ, selon approvisionnements

Deux montants L = 205 ; Deux traverses L = 150 ; Une diagonale L = 250 environ ;

Percements pour recevoir le cadre support : les deux montants sont percés pour recevoir le cadre support du premier étage, percements diam 12 ou 13mm, écartement 100 cm. L'entraxe entre les deux files de percements correspond à l'entraxe des charnières installées sur le cadre support ; entraxe entre les deux files de trous proposé ici : 140 cm, à confirmer

Charnières de liaison entre la face avant et la face arrière : voir ci dessous § 3 ; ces charnières de liaison sont fixées par deux boulons de chaque côté, qui servent en même temps à l'assemblage de la traverse et du montant correspondant.



B) LA FACE ARRIERE DU CHEVALET

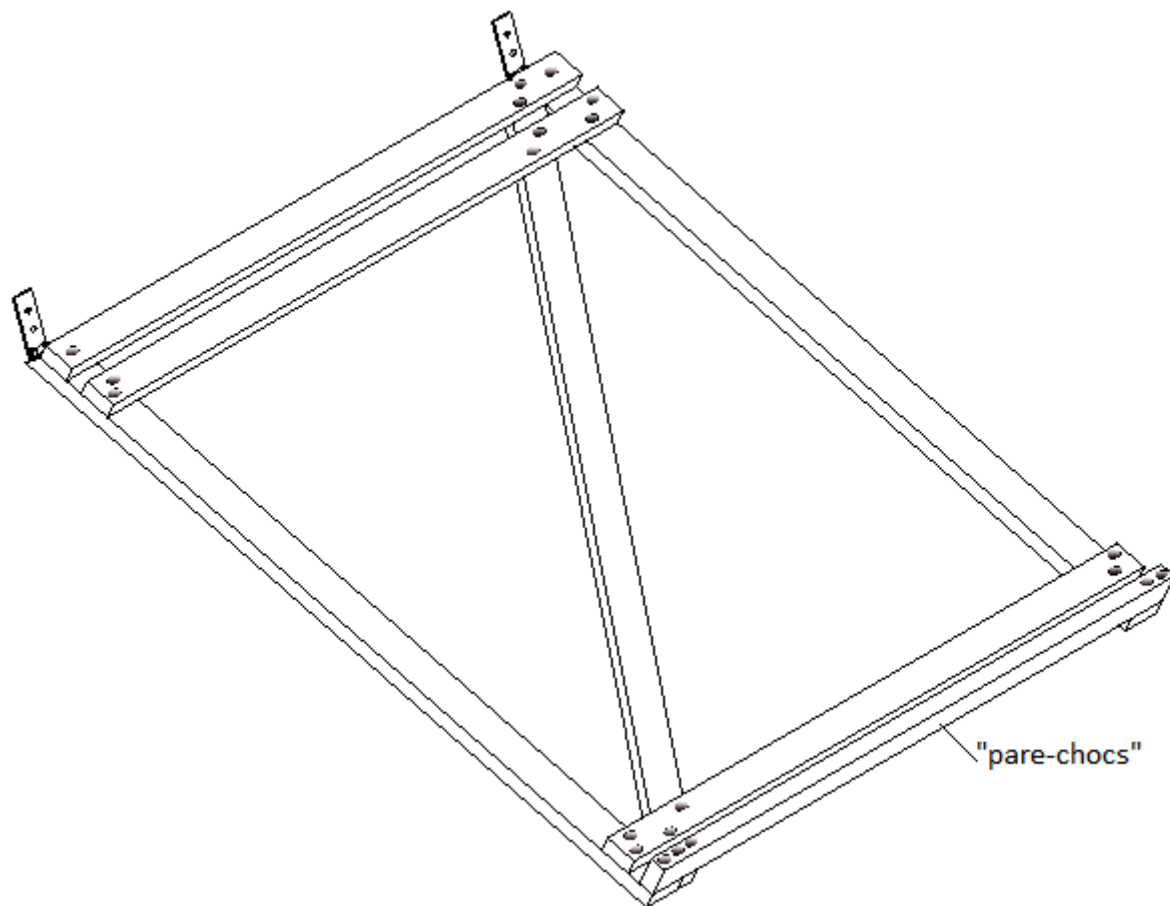
Deux montants $L = 178$; Deux traverses $L = 150$; Une diagonale $L = 220$ environ ;

C) LE CADRE SUPPORT DU PREMIER ETAGE DE CALODUCS

- deux montants $L = 205$, à confirmer selon le plan exact du capteurs, voir § 4 ci dessous
 - deux traverses hautes, $L = 150$, à confirmer, qui recevront le collecteur,
 - une traverse basse, $L = 150$ qui recevra le rail supportant les tubes sous vide,
 - une diagonale, $L = 250$ environ
- un « pare chocs » inférieur, en protection de la partie basse du cuiseur, de section plus carrée

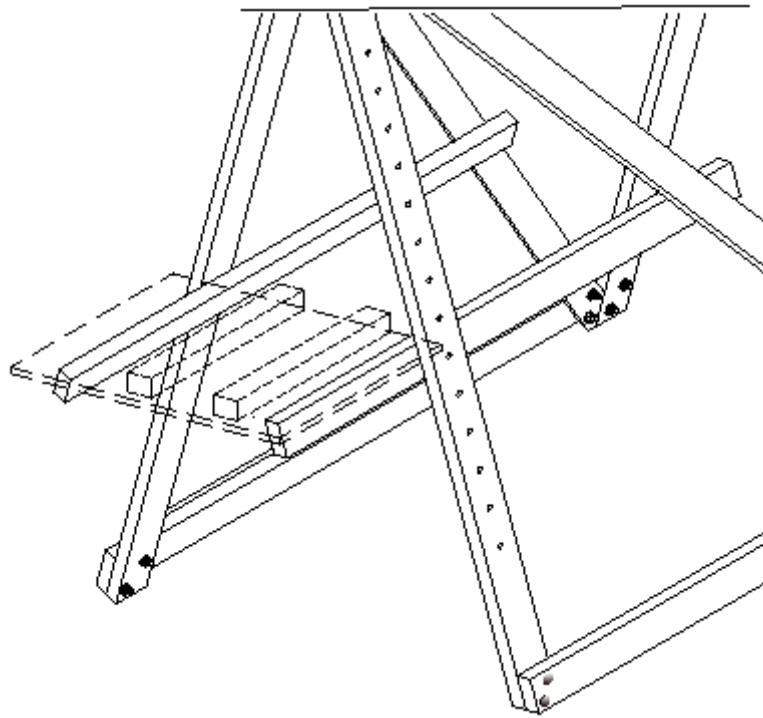
Charnières pour l'attache au chevalet : elles sont maintenues au cadre par un seul boulon, de façon à pouvoir l'orienter quelque peu afin de faciliter le geste lors de l'installation du cadre sur le chevalet: même entraxe entre les charnières que la série de trous 140 cm, à confirmer. Faire un ou deux percements supplémentaires dans les charnières (coté chevalet) pour pouvoir affiner le réglage de l'inclinaison du collecteur lors de l'installation sur le chevalet, voir la section VII "installation".

Boulons d'attache du cadre sur le chevalet : diam 8 ou 10 mm, pour des percements diam 12 ou 13, (afin de faciliter l'installation du cadre); écrou papillon si possible, et rondelle large.

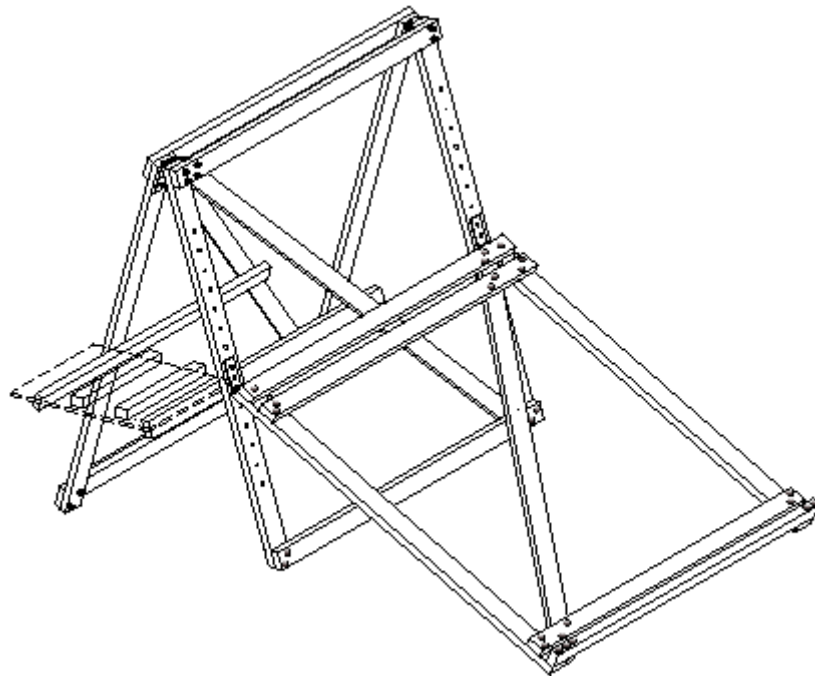


D) LE SUPPORT DU CAISSON ISOLE DE CUISSON

Deux longerons fixés sur le chevalet supportent une plaque sur laquelle reposera le caisson isolé. Le caisson doit être (impérativement!) légèrement plus haut que le collecteur afin que le caloduc fonctionne bien. Si besoin, il sera toujours possible d'affiner le réglage en interposant des chevrons ou autres sous le caisson.

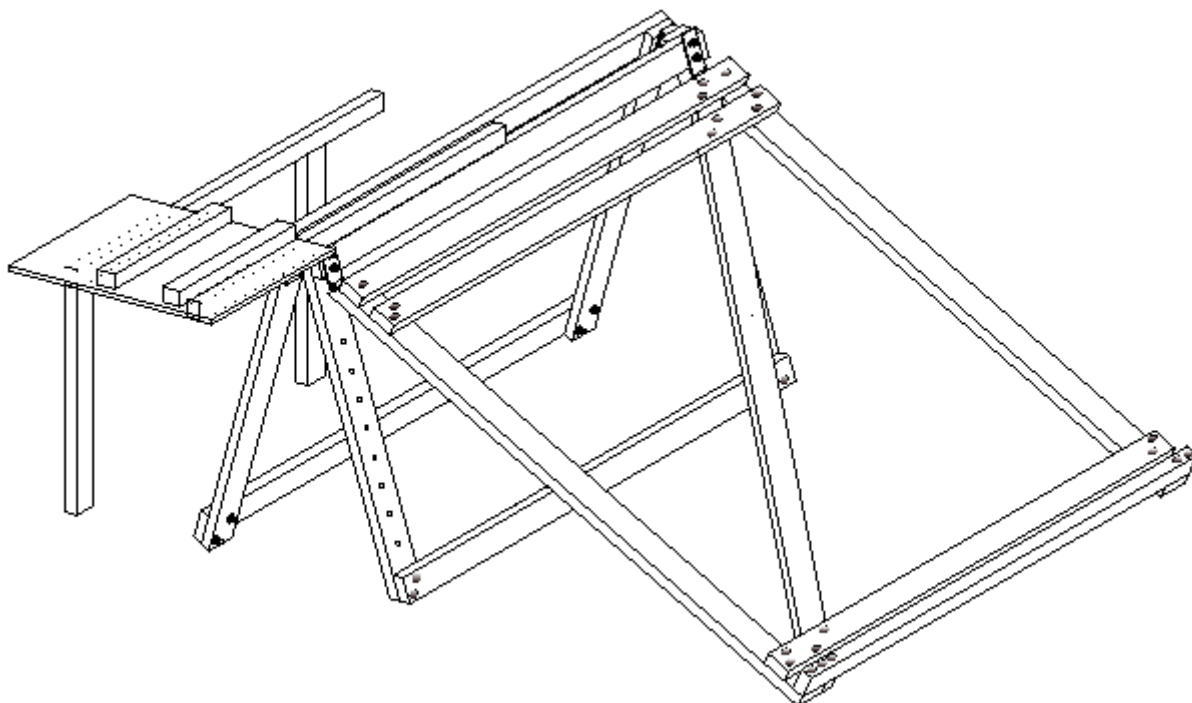


E) UNE VUE D'ENSEMBLE



F) UNE CONFIGURATION PLUS ADAPTÉE AUX ZONES INTERTROPICALES

Le cadre support du premier étage repose sur la tête d'un petit chevalet, le support du caisson isolé repose pour moitié sur la tête du chevalet et pour moitié sur des montants fichés au sol.



§ 3 QUELQUES DETAILS D'EXECUTION

Ci dessous, quelques conseils pour le néophyte, que le professionnel chevronné voudra bien considérer avec beaucoup de mansuétude.

Section de bois environ 9 x 3,5 cm, selon les usages commerciaux locaux. Veiller à l'absence de nœud important, c'est à dire qui affaiblirait la pièce de bois sur plus d'un quart de sa section.

le dégauchissage

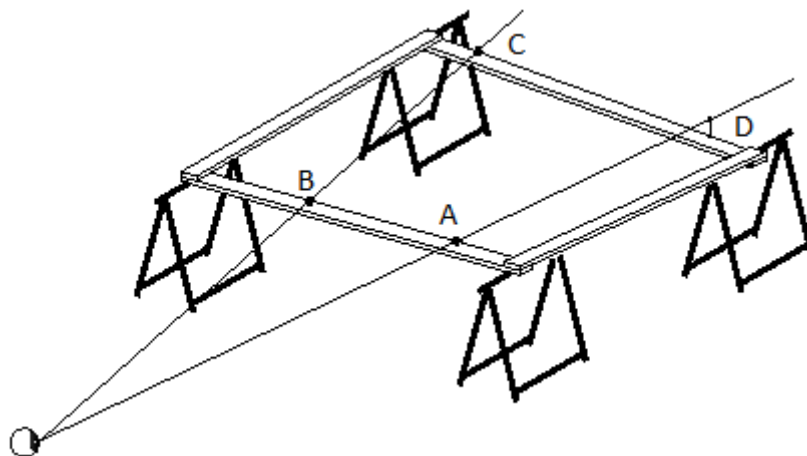
Avant de percer et d'assembler, il est indispensable de dégauchir la face avant du chevalet.

Une ligne et un point déterminent un plan ; par contre quatre points ne sont pas forcément sur un même plan : il est indispensable ici de dégauchir les assemblages.

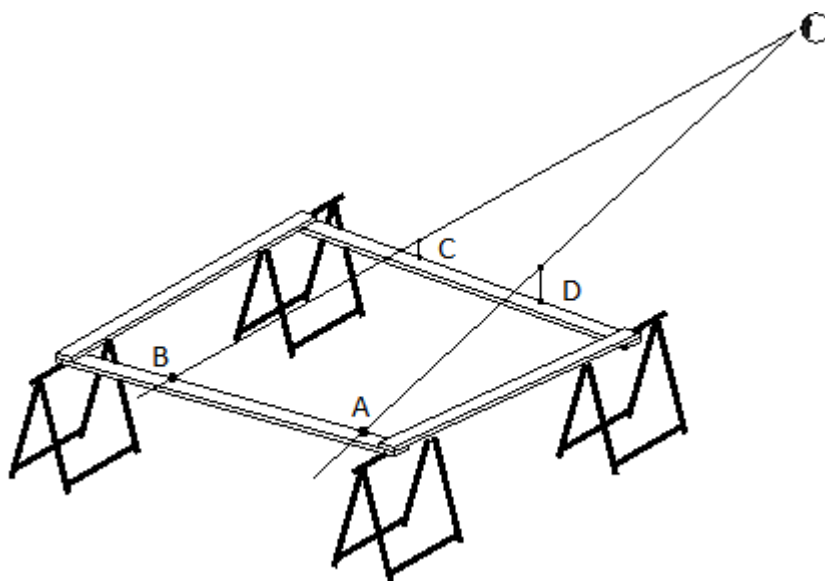
On suppose ici que l'assemblage s'effectue sur quatre tréteaux. Le dégauchissage consiste à s'assurer que les deux montants (ou les traverses) sont bien dans un même plan, que l'ensemble n'est pas "voilé". Pour ce faire, il convient de porter l'oeil au niveau du plan formé par les deux montants ;

Il est donc indispensable que l'observateur baisse non pas son regard mais baisse son oeil au niveau des deux montants : un vague coup d'oeil porté "d'en haut" ne fournit strictement aucune indication, et c'est un bon moyen d'avoir ensuite un support de cuiseur bancal sans trop comprendre pourquoi.

En fonction des indications de l'observateur, caler sous le bois ou sous les chevalets, jusqu'à satisfaction. L'usage du niveau n'est pas interdit, mais il est superfétatoire et bien moins précis que le dégauchissage "à l'oeil".



Ci dessus : il convient de caler jusqu'à satisfaction, au droit du point D



Ci dessous : les indications fournies par l'observateur, qui ne se baisse pas au niveau de l'assemblage, ne sont d'aucune utilité.

Equerrage

Affiner ensuite l'équerrage, non pas en utilisant une équerre de menuisier, mais en mesurant les diagonales qui doivent être égales

préassemblage

Préassembler l'ensemble avec des vis à bois provisoires avant de percer, lasurer, et boulonner.

perçements

On peut alors procéder aux perçement,

Veiller à bien tenir la perceuse d'équerre par rapport aux pièces de bois : il est très utile alors d'avoir l'avis d'une tierce personne observant l'opérateur avec un peu de recul. Si les trous sont "de travers", un éventuel démontage ultérieur devient rapidement une "galère"

Diamètre des perçements : percer à 8.0 mm (ou 10.0 mm) pour des boulons de 8 (ou de 10), de façon à faire un assemblage "à trous bouchant", beaucoup plus satisfaisant qu'un assemblage où les boulons ont du jeu.

Lorsque les têtes de boulons sont à noyer, percer préalablement à la mèche plate sur quelques millimètres

Traitement de surface : après perçement des trous pour les boulons et avant assemblage final, quelques couches de lasure seront les bienvenues.

assemblage par boulons M 10 Un bon choix : les vis à tête ronde collet carré « TRCC »



Les écrous des traverses supérieures sont à orienter vers l'extérieur du chevalet, afin de ne pas gêner sa fermeture.

charnières :

ci contre : charnière
bichromatée castorama.fr
Réf : 570744

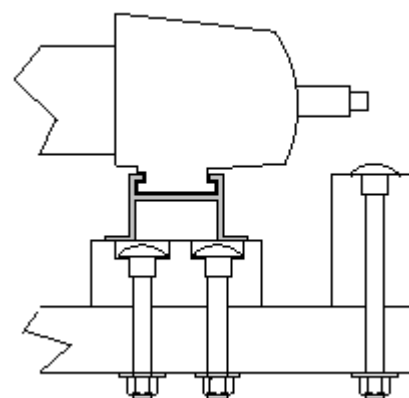
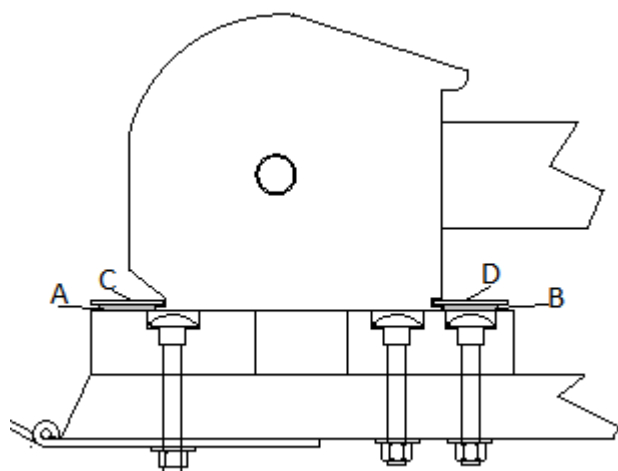
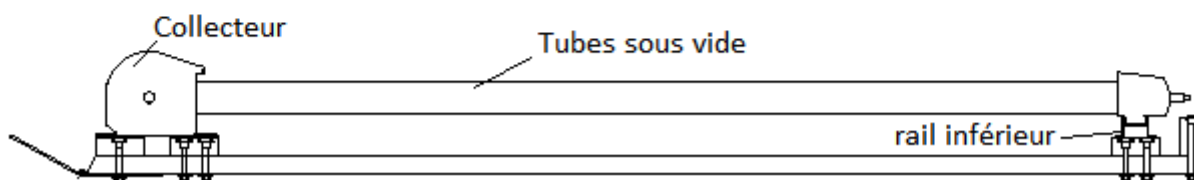
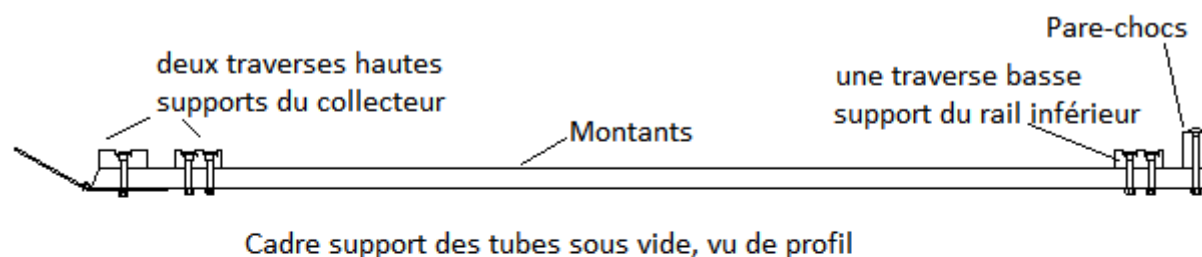


Afin de ne pas gêner la fermeture du chevalet, il est souhaitable de décaler quelque peu les têtes de boulons ; ne pas hésiter à repercer les charnières, et à limer le collet carré des boulons. On peut aussi préférer des vis à tête plate, et fraiser autant que besoin la charnière, ou bien encore cintrer quelque peu la charnière.

Sur le chevalet, les charnières sont fixées par deux vis de chaque côté ; sur le cadre support des tubes, les charnières sont fixées par une seule vis de chaque côté, de façon à pouvoir rectifier quelque peu leur orientation pour faciliter le montage

§ 4 INSTALLATION DU PREMIER ETAGE SUR SON CADRE SUPPORT

Toutes les indications proposées ici sont à adapter en fonction des détails du capteur à caloducs qui a été acheté. En vue de leur installation, ces capteurs sont en général fournis avec un stand qui n'est ici d'aucune utilité, sinon pour connaître, en faisant un « montage à blanc », la distance exacte entre le rail inférieur et le collecteur supérieur



De part et d'autre du collecteur, visser deux profilés plats en aluminium, section 30 x 3 mm environ (repères A et B, couleur grise); installer le collecteur, puis visser deux autres profilés plats pour le maintenir (repères C et D)

Percer et visser le rail (couleur grise) à bonne distance du collecteur

SECTION IV LA PLAQUE DE CUISSON

La plaque chauffante, dite aussi plaque chauffante, est la zone froide du second étage du caloduc, c'est une originalité du dispositif de cuisson solaire à caloducs étagés. Elle est introuvable dans le commerce, il faut donc la fabriquer.

§ 1 PRINCIPE, CONCEPTION ET CALCULS

Le principe est de disposer d'un corps creux dont la face supérieure reçoit le récipient de cuisson. On peut, dans un premier temps, se la représenter comme une grande boîte de camembert vide. La vapeur pénètre dans la boîte par le fond, se dirige vers la zone froide qui est la face supérieure (paradoxalement dénommée "plaque chauffante" du point de vue de l'utilisateur), et se condense. Les gouttes de condensats tombent au fond de la boîte et retournent vers la zone chaude du caloduc, en empruntant le même chemin que la vapeur mais en sens inverse. Les deux flux – flux gazeux de vapeur et flux liquide de condensats – se croisent donc dans le tuyau souple reliant les deux extrémités du caloduc, mais sans se mélanger, grâce à la pente et à la courbure adéquates du tuyau, grâce aussi à la faible vitesse de la vapeur, de l'ordre de 1 mètre par seconde.

Plusieurs conditions sont donc à respecter lors du dessin

- la résistance : la Pression Maximale de Service à prendre en compte est de 6 bar, la pression usuelle étant de 3 à 4 bar manométriques. La Pression d' Epreuve sera donc de $6 \times 1,5 = 9$ bar.
- l'étanchéité ; noter que la vapeur est un gaz, et que l'étanchéité aux gaz est toujours beaucoup plus délicate à réaliser que l'étanchéité aux liquides.
- la surface de la plaque supérieure doit correspondre aux dimensions du fond du récipient ; plus elle est importante, meilleur sera le transfert thermique, mais une plaque trop grande est inutile, voire nuisible en raison des pertes thermiques qui en résultent.
- seul l'aluminium convient pour la plaque supérieure, afin d'assurer un bon transfert thermique.
- l'état de surface de la face supérieure recevant le récipient de cuisson doit être correct: planéité et bon état de surface, sont des conditions sine qua non d'un bon transfert thermique.
- l'écoulement des condensats vers la sortie doit être facilité. On se contentera ici de mettre l'ensemble plaque et caisson en léger faux-niveau sur 5 mm lors de l'installation du caisson sur le chevalet, mais d'autres solutions sont envisageables pour faciliter l'écoulement des condensats au fond de la plaque vers la sortie.
- pour limiter le mélange des flux gaz-liquide dans le coude de sortie et dans le tuyau, prévoir une petite cloison de séparation des flux sur la plaque inférieure (voir schémas ci dessous).

Quelle hauteur intérieure faut-il prévoir ? Une hauteur de 25 mm donne toute satisfaction, mais elle pourrait probablement être réduite à 20 mm.

Quel diamètre pour l'orifice d'entrée/sortie ? Par expérience, un bossage + coude 3/4", suivis d'un tuyau souple de diam 13 mm intérieur, conviennent, mais sans pouvoir affirmer qu'il s'agit là d'un optimum.

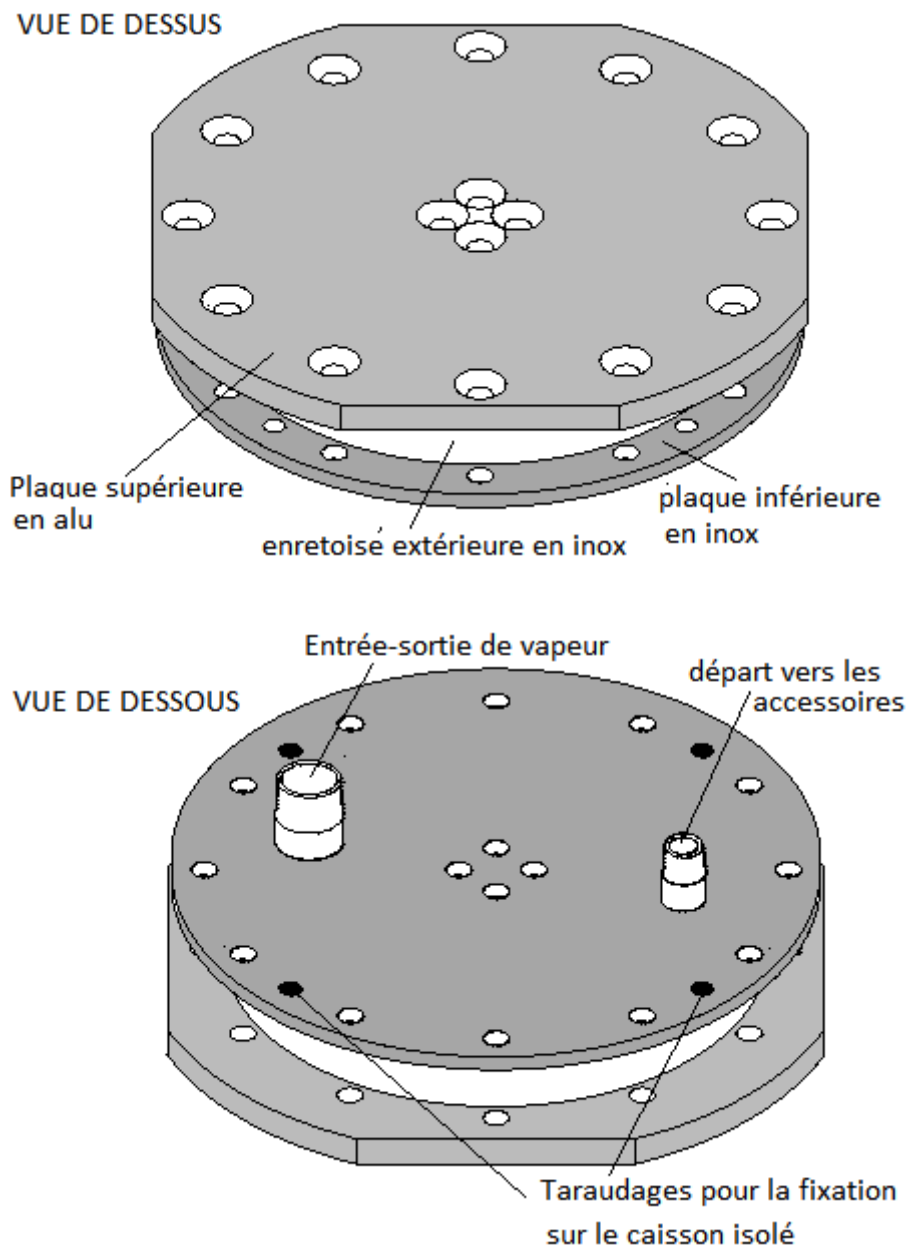
Enfin, il convient de noter que **la présente documentation ne contient aucun calcul de résistance des matériaux** : c'est donc au constructeur, professionnel ou non, de prendre ses responsabilités et d'effectuer les calculs nécessaires.

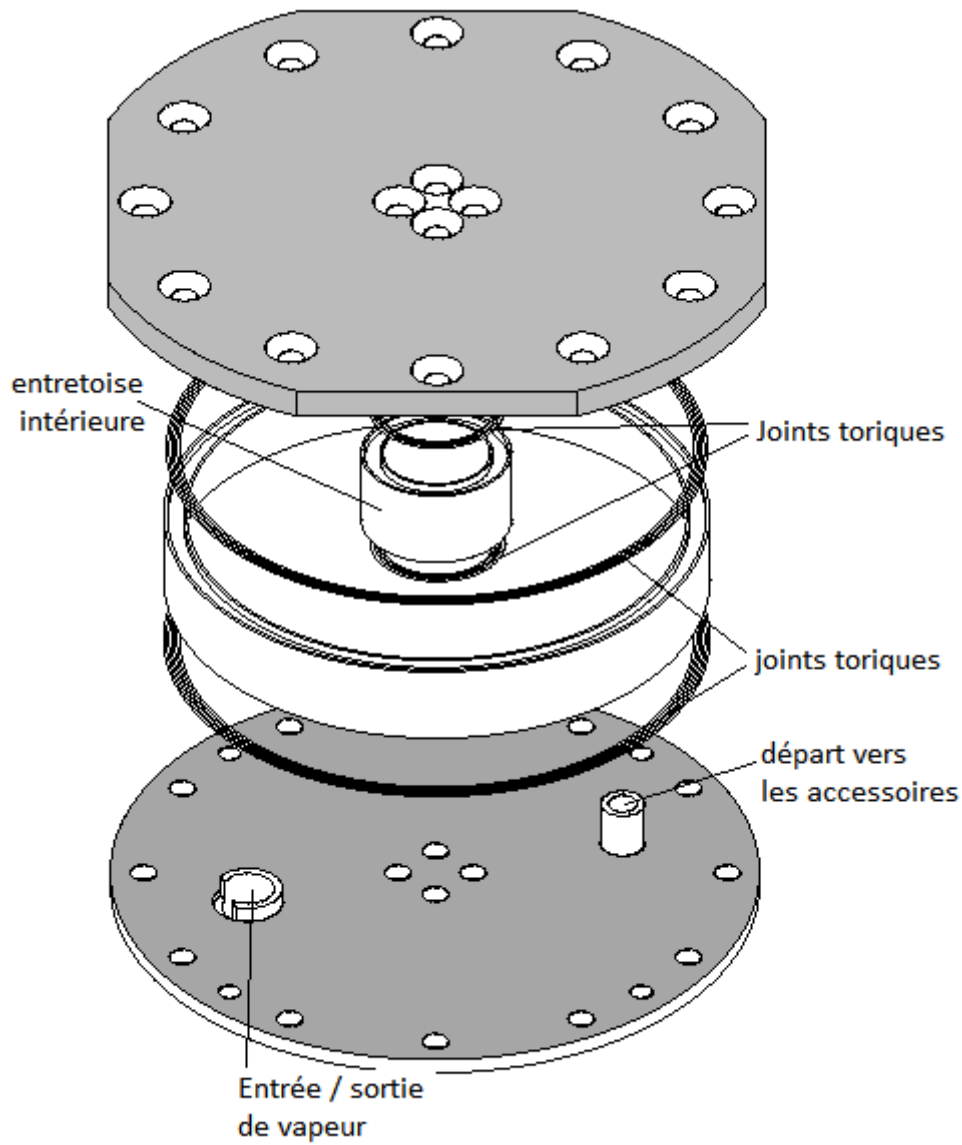
Assemblage boulonné ou assemblage soudé ? Sous réserve de respecter les quelques conditions ci dessus, le choix de la version dépend en grande partie des moyens disponibles et des préférences du constructeur.

§ 2 VERSION « ASSEMBLAGE USINÉ ET BOULONNÉ. »

A) PRESENTATION

C'est la méthode qui a prévalu lors de la confection des premiers exemplaires, mais rien n'indique que ce soit la meilleure solution. L'étanchéité est assurée par des joints toriques, et afin de limiter les risques de fuite les deux couronnes de boulons sont disposées en dehors des zones sous pression de vapeur.





B) LA PLAQUE SUPÉRIEURE est une plaque d'aluminium épaisseur 9,52 mm, disponible en dimensions 203 x 203 mm / 8" * 8" (MSCdirect.com # 02255693), dans laquelle a été découpé un cercle diam 220 mm, d'où la forme définitive peu usuelle de la plaque.

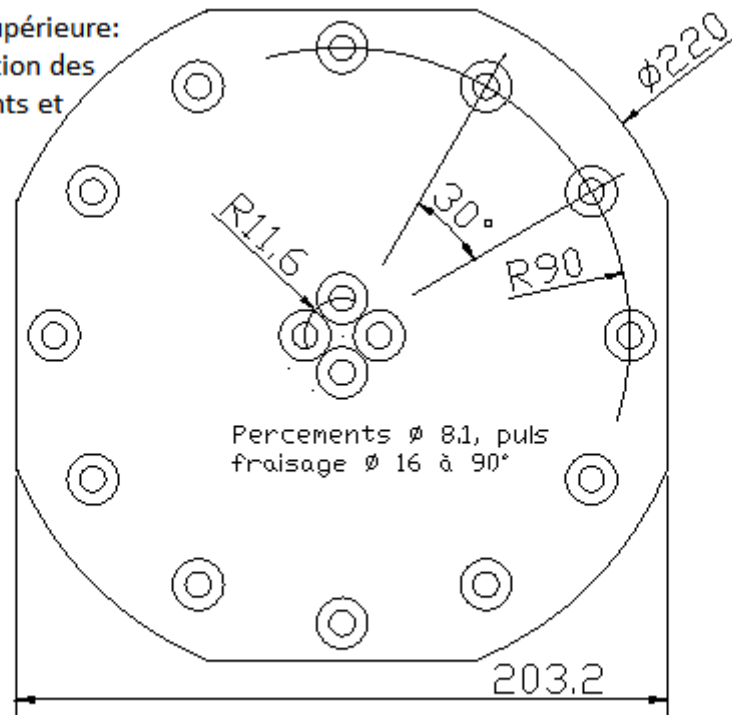
La plaque a été dressée sur une fraiseuse pour une bonne planéité et un bon état de surface, puis détournée à la scie sauteuse ; (pour l'aluminium, éviter d'utiliser une lame avec une denture trop fine qui se bourre facilement).

La découpe a été achevée sur un tour : percer le centre de la plaque en son centre jusqu'à mi-épaisseur avec un foret à centrer, puis presser la plaque contre le mandrin avec la contre-pointe afin d'usiner le chant.

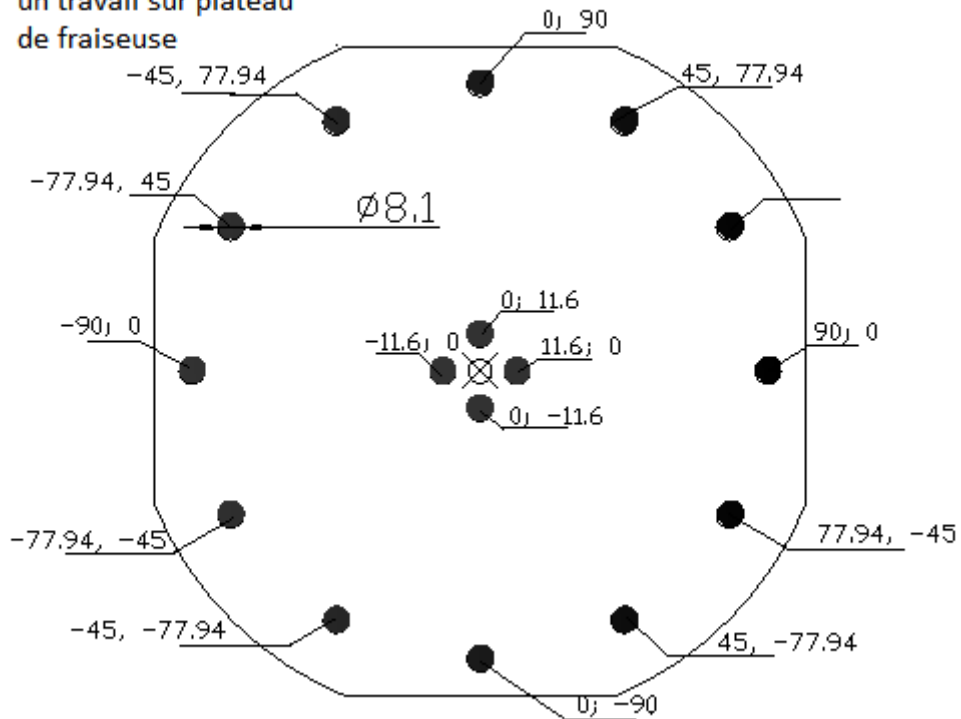
Percements au diamètre 8,1 mm (ou 8,5 dans le cas d'un tracé manuel).

Fraisages au diamètre 16 mm pour les têtes de vis, avec une fraise adaptée à la tête de vis. Contrôler impérativement chaque fraisage, de façon à ce que la tête de vis ne dépasse pas de la plaque

Plaque supérieure:
implantation des
perçements et
fraisages

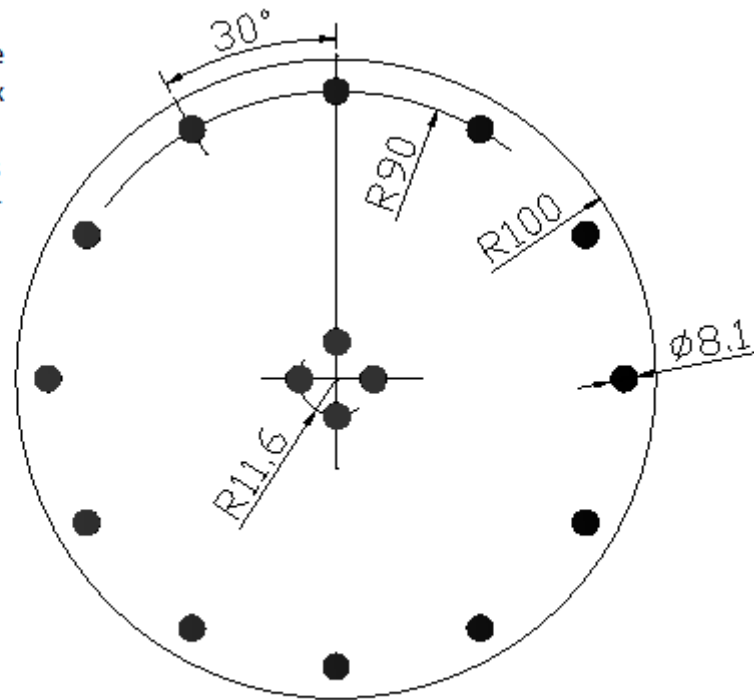


Cotes des perçements pour
un travail sur plateau
de fraiseuse

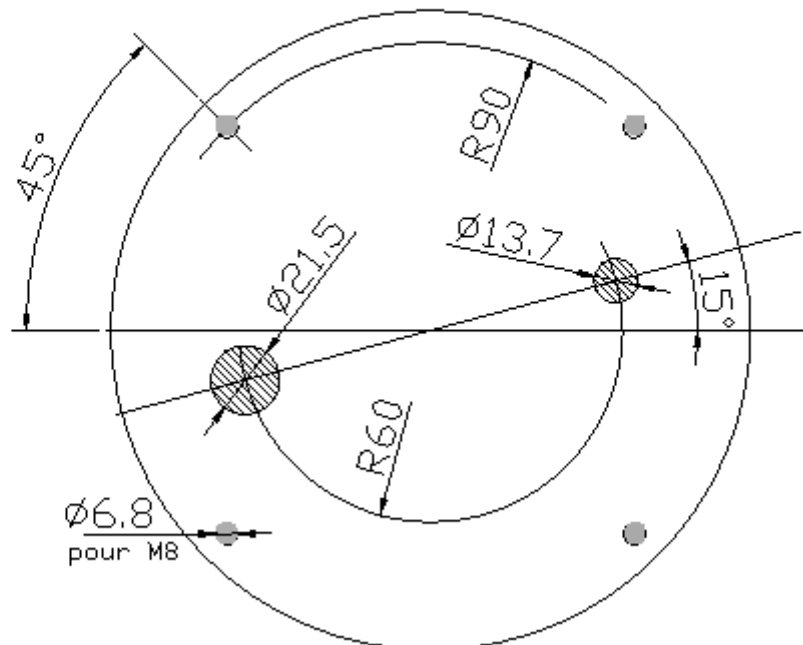


C) LA PLAQUE INFÉRIEURE est en inox épaisseur 5 mm, Ø 200 m, ou éventuellement en aluminium

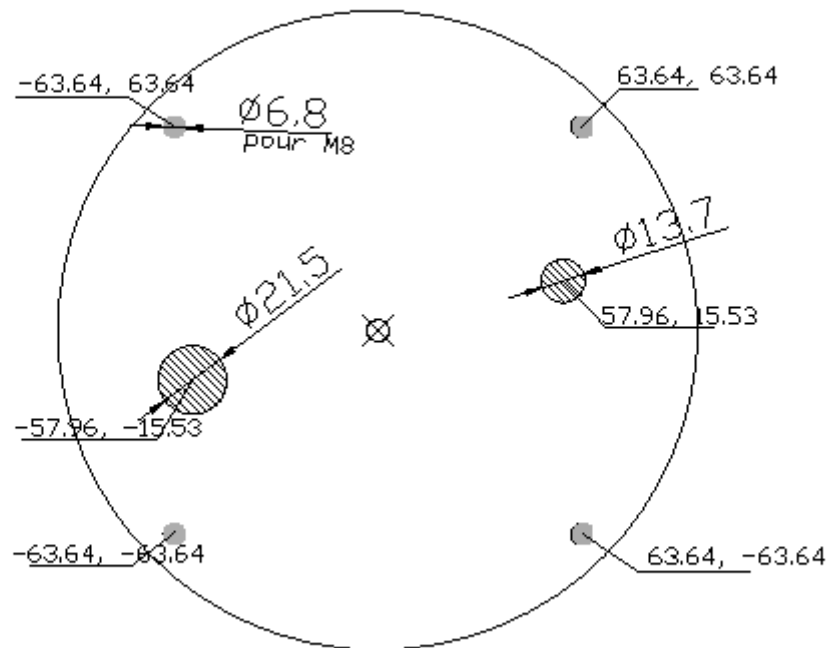
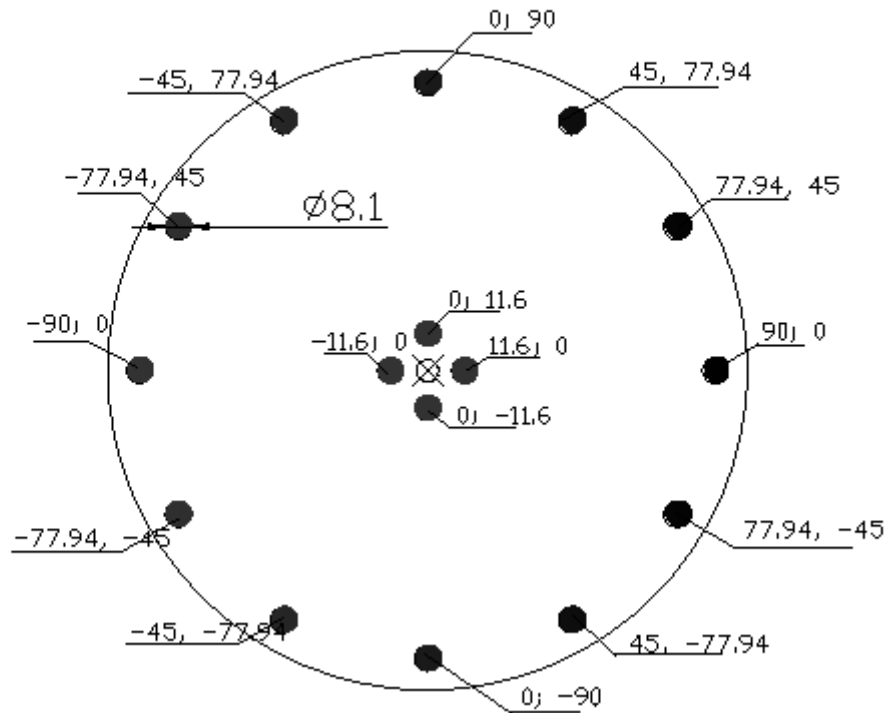
Plaque inférieure
diam 200 en inox
ep 5 mm;
Implantation des
perçements pour
boulonnage



Plaque inférieure: implantation de quatre
perçements pour installation sur le caisson
(perçements $\phi 6.8$ mm pour taraudage M8),
et implantation de perçements pour piquage
1/2" - tube diam 21.3, et piquage 1/4" - tube
diam 13.5

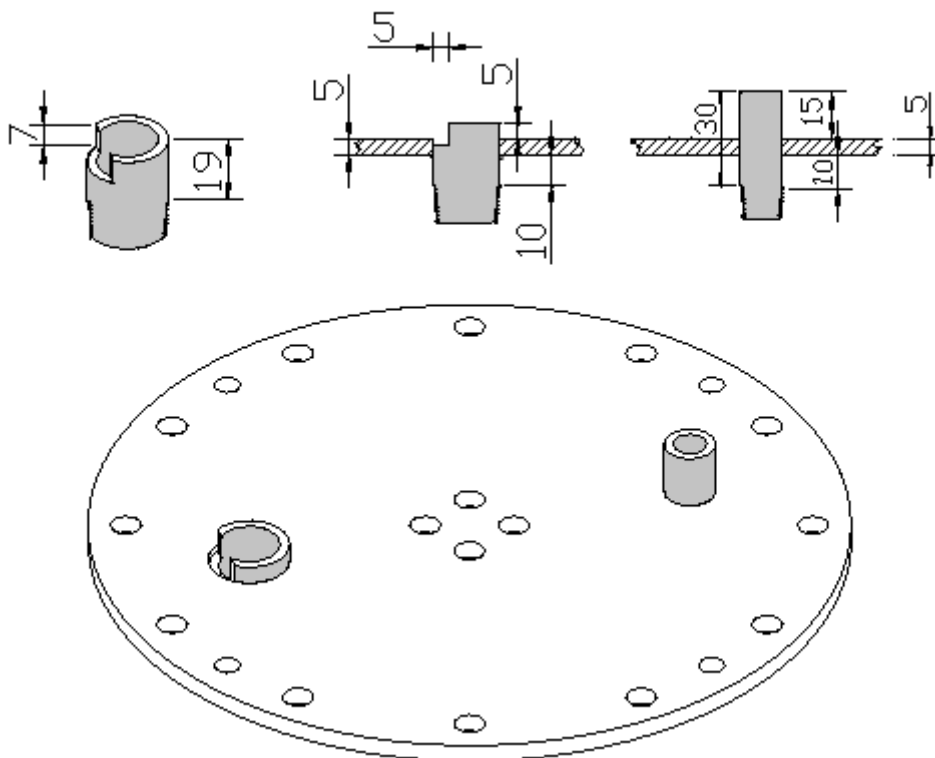


Plaque inférieure en inox:
cotes pour travail sur fraiseuse



D) LES PIQUAGES

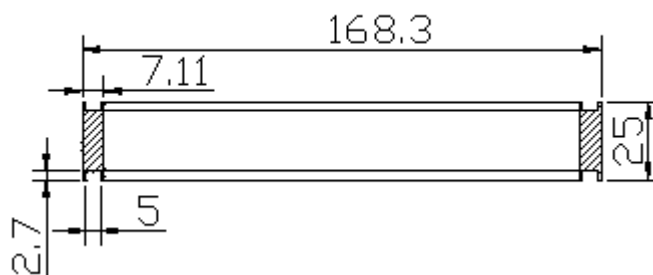
Les deux piquages sont confectionnés dans des demi-bobines en acier inox. En guise de cloison de séparation des flux pour l'entrée-sortie, faire pénétrer le bossage 3/4" sur 5 mm environ à l'intérieur, après avoir ouvert une échancrure de 10 mm de large environ. Lors de l'assemblé, l'échancrure "tourne le dos" au petit piquage destiné aux accessoires.



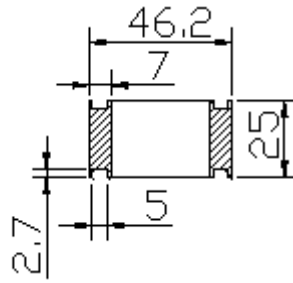
E) L'ENTRETOISE EXTÉRIEURE est débitée dans un tube inox de 6 pouces, Diamètre nominal 150 mm, diam réel 168,3 mm, épaisseur 7,11 mm, dit « tarif 40 », dit aussi « schedule 40 ». Ce type de tube existe aussi en aluminium. L'approvisionnement n'est pas aisé : ces tubes sont vendus en longueurs de 6 mètres... En pratique, la seule solution est de trouver l'adresse d'un chaudronnier compatissant (le cas échéant : s'adresser à soleil-vapeur.org).

La hauteur de 25 mm n'a rien d'impératif.

Les cotes de gorge pour joints torique sont impératives



F) L'ENTRETOISE INTERIEURE



G) LES JOINTS TORIQUES

- pour l'entretoise extérieure : joints \varnothing intérieur 158,34, \varnothing de tore 3,53 Matériau Fluocarbone /DF 801 ou similaire (bonne tenue à la température). Référence Le Joint Français 166307 ou 166306 (aux USA : Dash number 259).

- pour l'entretoise intérieure : joint \varnothing intérieur 34,52 , \varnothing de tore 3,53, Le Joint Français 129409 ou 129408 (aux USA Dash number 220)

Les joints toriques sont disponibles en ligne par exemple sur oring.fr. Consulter si besoin le catalogue en ligne Le Joint Français.

H) LA BOULONNERIE

Boulonnerie : prévoir impérativement de la boulonnerie inox à tête chc dont la résistance est connue. Les vis à tête plate galvanisées disponibles en grande surface sont à proscrire, car leur résistance (très faible!) n'est ni indiquée ni certifiée. Utiliser impérativement des rondelles grower ou des rondelles fendues, en raison de l'alternance des cycles chaud/froid. Couple de serrage : se référer à la documentation ; il est inutile de serrer excessivement.



§ 3 VERSION "ASSEMBLAGE SOUDE"

Toutes les pièces doivent donc être en aluminium. Ne pas hésiter à surdimensionner quelque peu les épaisseurs d'aluminium, un léger excès d'aluminium sera sans dommage pour le cuiseur : avec une chaleur massique de 0,94 Joule par gramme et par degré Celsius contre 4,2 pour l'eau, l'aluminium est 4,5 fois plus facile à chauffer que le même poids d'eau.

Plaque supérieure en alu ep 8 ou 10 mm, Ø 220

Entretoise extérieure hauteur 25 mm en tôle d'aluminium épaisseur ? Diamètre extérieur 168 mm

Entretoise intérieure : rond alu Ø 18 mm plein, L = 40 mm environ, à souder au centre de la face inférieure de la plaque supérieure

Plaque inférieure

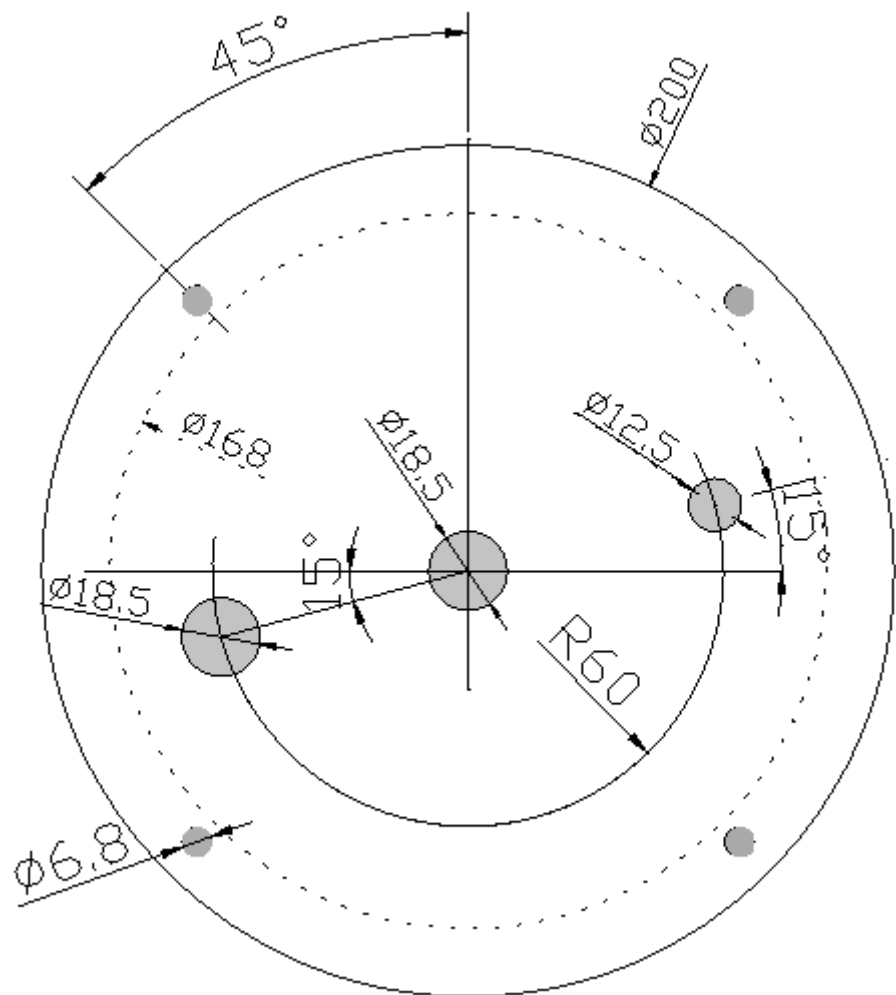
Plaque alu ep 8 mm ;

4 percements Ø 6,8 pour taraudages M 8
1 percement Ø 18,5 pour entrée/sortie
1 percement Ø 12,5 pour les accessoires
1 percement Ø 158,5 pour l'entretoise intérieure

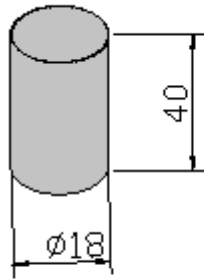
Entrée-sortie de vapeur

Elle pourrait être confectionnée dans du rond plein en alu Ø 18 mm (voir par exemple metalaladecoupe.com), à percer au Ø 12 mm, et à échancrer comme pour la version "assemblage usiné et boulonné"

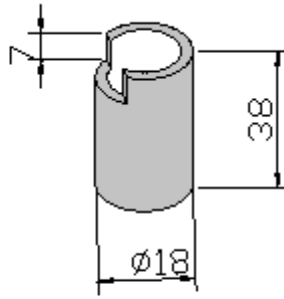
Départ pour accessoires : en alu Ø 12 mm, à percer à Ø 5 mm



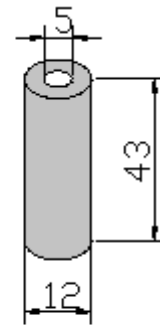
Si les percements sont effectués sur une fraiseuse, voir les cotes au § précédent



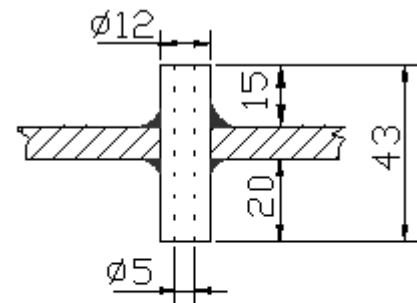
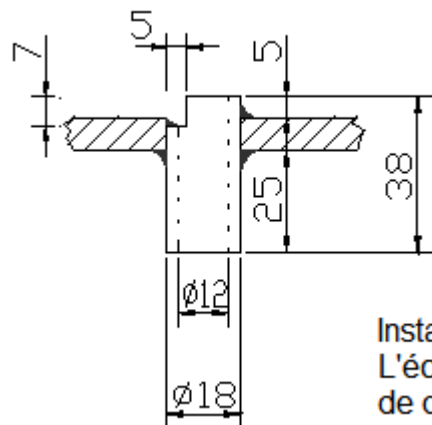
Entretoise
intérieure



Entrée-
sortie, à percer
à Ø 12



Départ vers les
accessoires



Installation sur la plaque inférieure.
L'échancrure "tourne le dos" au piquage
de départ vers les accessoires

le raccordement avec la plomberie s'effectuera avec des raccords bicones "à olives" Ø 18 et Ø 12.
par exemple

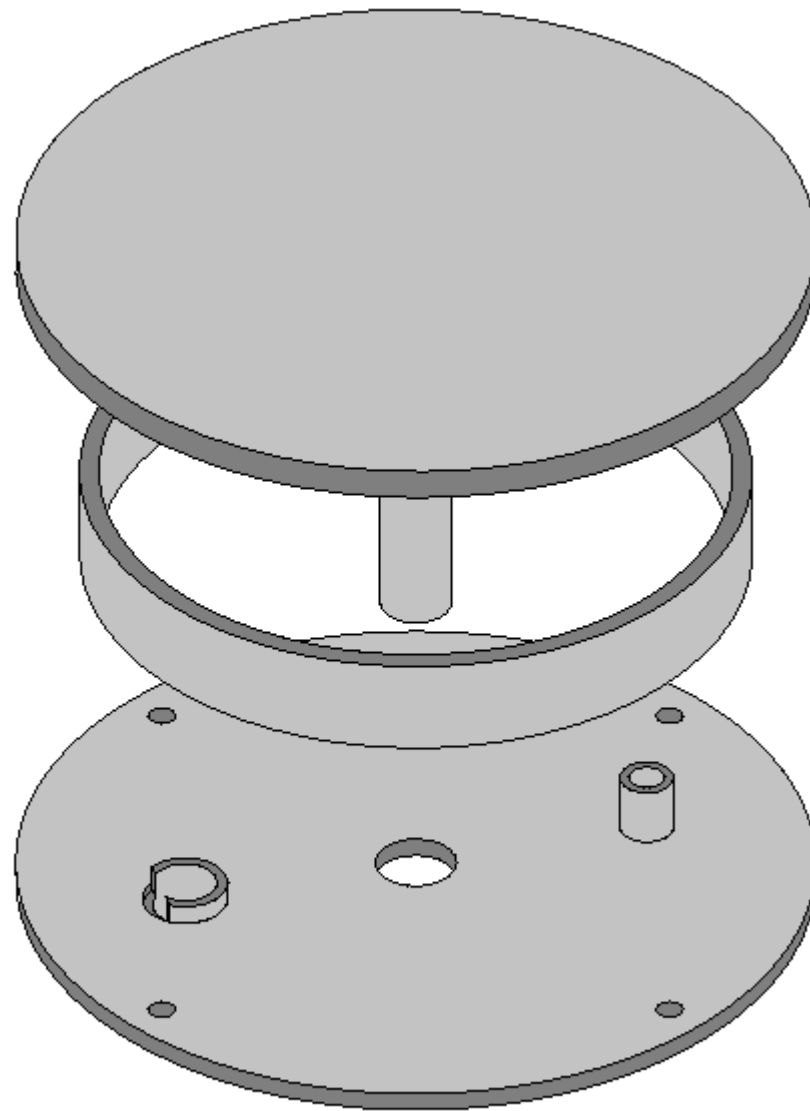
- leroymerlin.fr manchon laiton biconique D 18 – 15 x 21 (=1/2") Réf 65817395

: castorama.fr raccord union bicone male 12x17xØ 12 Réf : 511935

si besoin, reprendre la surface des deux piquages avec de la bande abrasive fine (240 ou plus) pour assurer un bon contact avec le biconne.

Version "assemblage soudé" : vue d'ensemble

Après soudure, reprendre si besoin le surfaçage de la plaque supérieure sur un tour ou bien à la fraiseuse, pour éliminer toute trace de bombé.



SECTION V LE CAISSON ISOLE

L'énergie solaire est gratuite, mais sa collecte coûte cher ; et on ne répétera jamais assez qu'en matière d'énergie solaire, le problème n'est pas tant de la collecter que d'éviter de la perdre après l'avoir captée. L'isolation est donc une condition de bon fonctionnement du cuiseur solaire.

Le caisson isolé présenté ci dessous est construit avec du contreplaqué de 5 mm et des tasseaux de 22 mm, mais tout autre procédé de construction conviendrait, pourvu que le but recherché soit atteint.

Il comprend trois éléments :

- la base, qui contient la plaque chauffante
- le corps intermédiaire, qui contient le récipient,
- le couvercle, qui coiffe le tout

Les trois éléments s'emboîtent avec un recouvrement et un léger jeu.

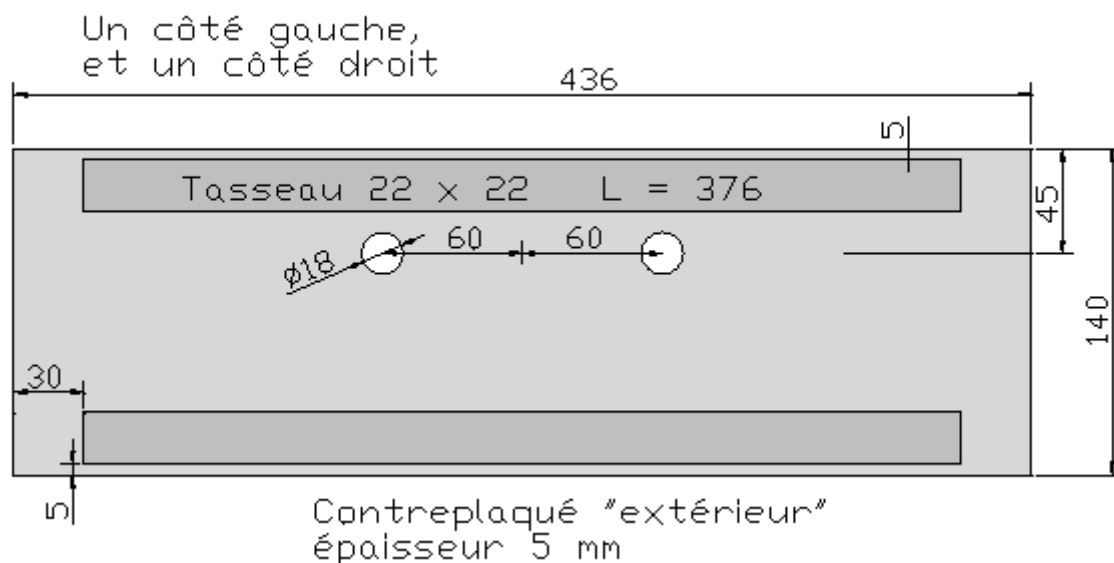
Le contreplaqué est de qualité "extérieur", c'est à dire que la qualité de la colle utilisée pour le confectionner lui permet de supporter une ambiance humide. Il est indispensable de le peindre.

Tous les assemblages sont collés-vissés, la visserie de base étant de la vis à tête cruciforme

§ 1 LA BASE DU CAISSON ISOLE

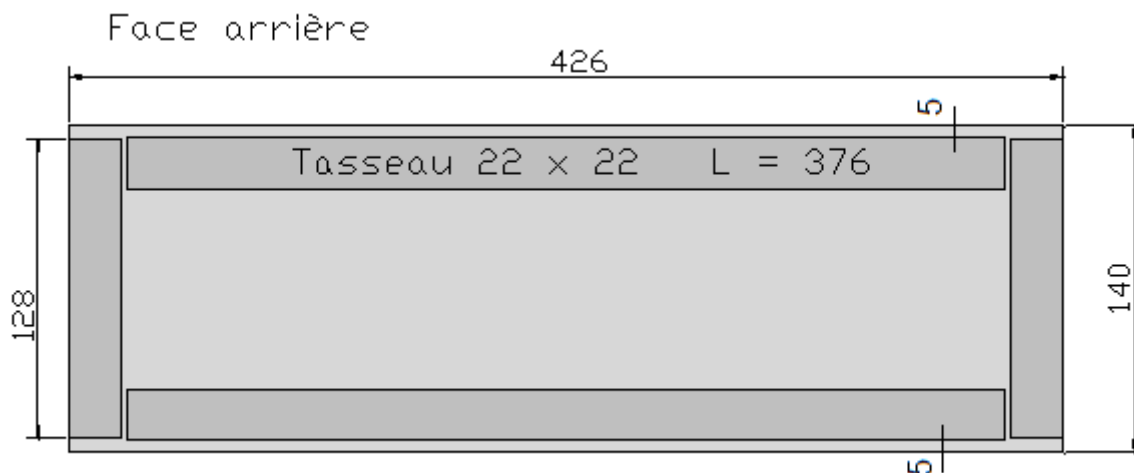
Cotés gauche et droit

Les deux percements $\varnothing 18$ mm environ sont prévus pour installer ultérieurement des poignées en cordelette



Sur l'un des côté, on peut laisser un tasseau supérieure en attente, afin de faciliter la mise en place des deux supports de la plaque chauffante

Face Arrière



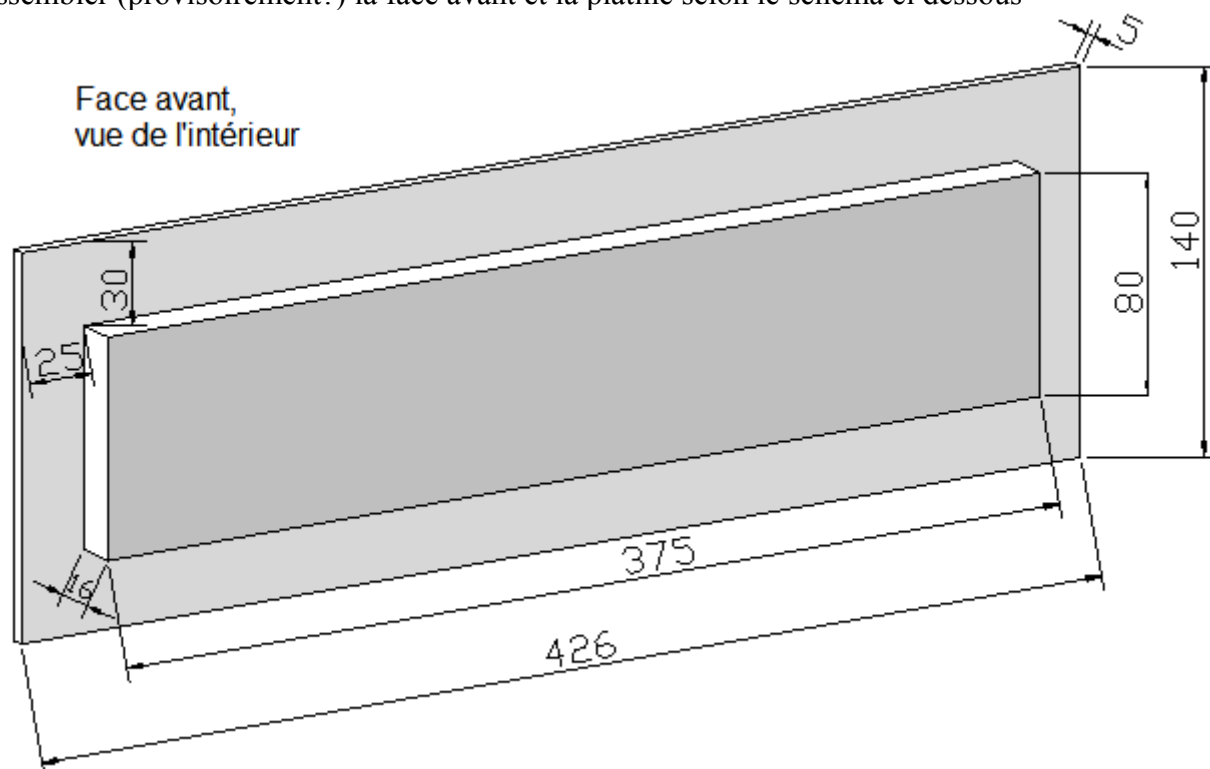
Face Avant

La face avant supporte les accessoires : manomètre, soupape de sûreté, et robinet de purge. Il est indispensable d'approvisionner ces accessoires et de les préparer (voir ci dessous « Plomberie ») avant de confectionner la face avant de la base du caisson isolé.

Débitier la face avant en contreplaqué de 5 mm, dimensions 426 x 140

Débitier la **platine support d'accessoires** en panneau de contreplaqué de 16 mm, 375 x 80.

Assembler (provisoirement?) la face avant et la platine selon le schéma ci dessous



Sur la platine de 16 mm, tracer et percer à la scie cloche de 65 mm pour l'emplacement de la purge et de la soupape.

Débitier ensuite une **contre-platine** pour le manomètre, en contreplaqué 16 mm, 116 x 80. Fixer provisoirement la contre-platine sur la platine ; tracer et percer les emplacements de boulons et du manomètre sur toute l'épaisseur.

Déposer la contreplatine, et chanfreiner l'emplacement du manomètre sur la platine et sur la contre-platine.. Le corps du manomètre est au diamètre 63 mm, c'est donc la collerette, à l'avant du manomètre, dont le diamètre est légèrement supérieur, qui sera maintenue à l'intérieur des deux chanfreins.

Si le corps du manomètre est en matière plastique (ce qui n'est pas véritablement recommandé), il n'y a pas de collerette. Les logements sont alors à percer à la scie-cloche diamètre 60, et la contreplatine viendra s'appuyer sur l'arrière du manomètre

Le manomètre doit être du type « à sortie axiale », c'est à dire vers l'arrière au centre du manomètre (et non pas vers le bas)

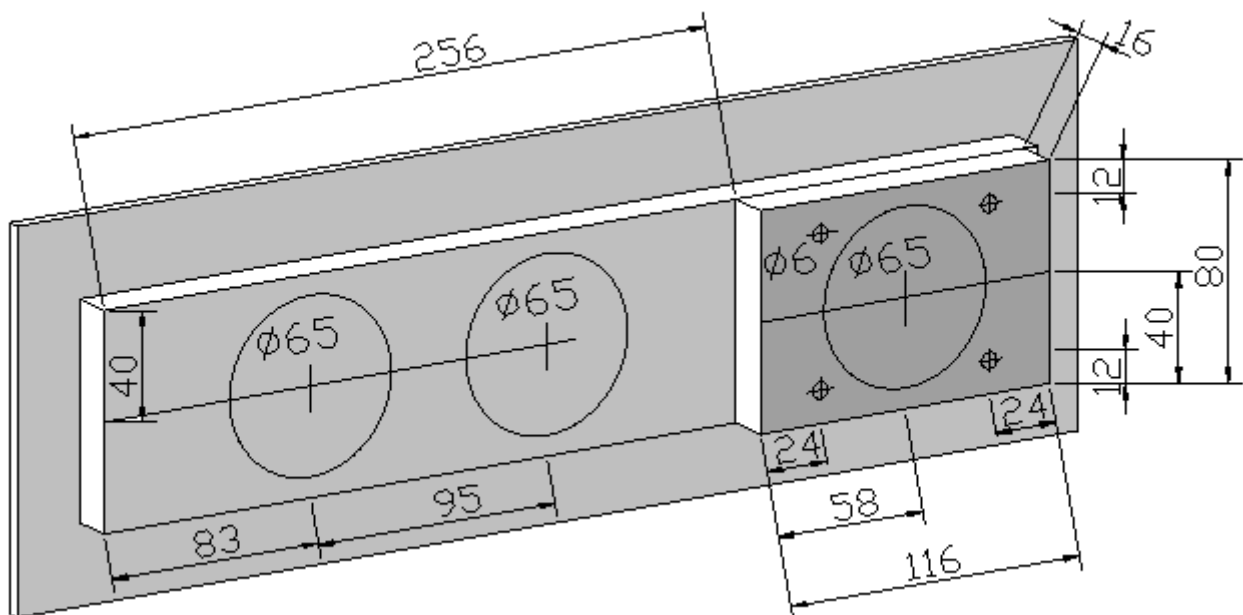


Mano avec collerette



mano sans collerette

(sans échelle)



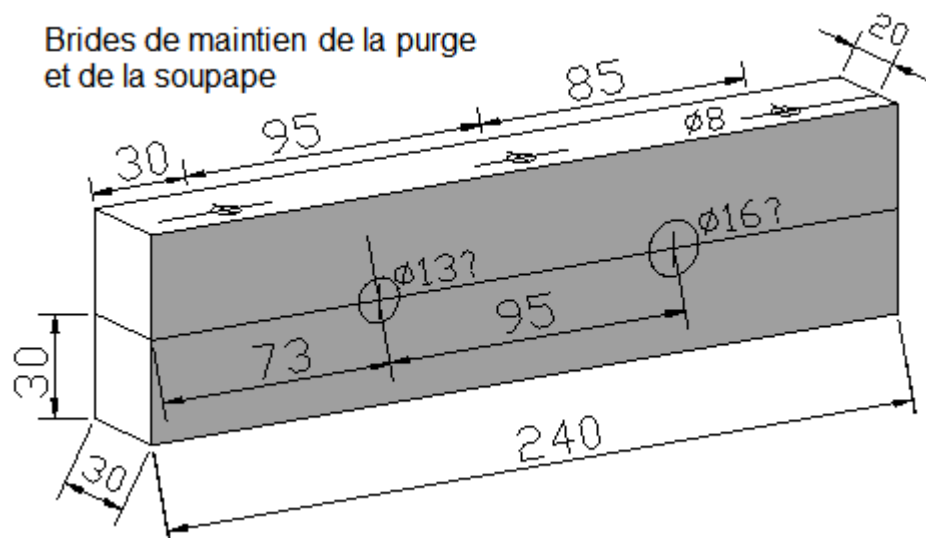
Brides de maintien de la soupape et du robinet de purge :

Préparer deux tasseaux 30 x 30 L = 240.

Effectuer trois percements Ø 8 mm pour boulons M8 d'assemblage des deux tasseaux.

Assembler les tasseaux, puis tracer et percer les emplacements de la soupape et de la purge en fonction du diamètre réel des accessoires.. Après percement :

- ovaliser largement les demi-percements à la rape ou à la grosse lime, de façon à bien serrer ultérieurement la soupape et la purge,
- chanfreiner très largement les ouvertures sur la face avant, au ciseau à bois, pour faciliter ultérieurement la manœuvre de la purge et le réglage de la soupape, tout en maintenant ces deux accessoires suffisamment en retrait du nu extérieur du caisson afin de les protéger d'éventuels chocs.



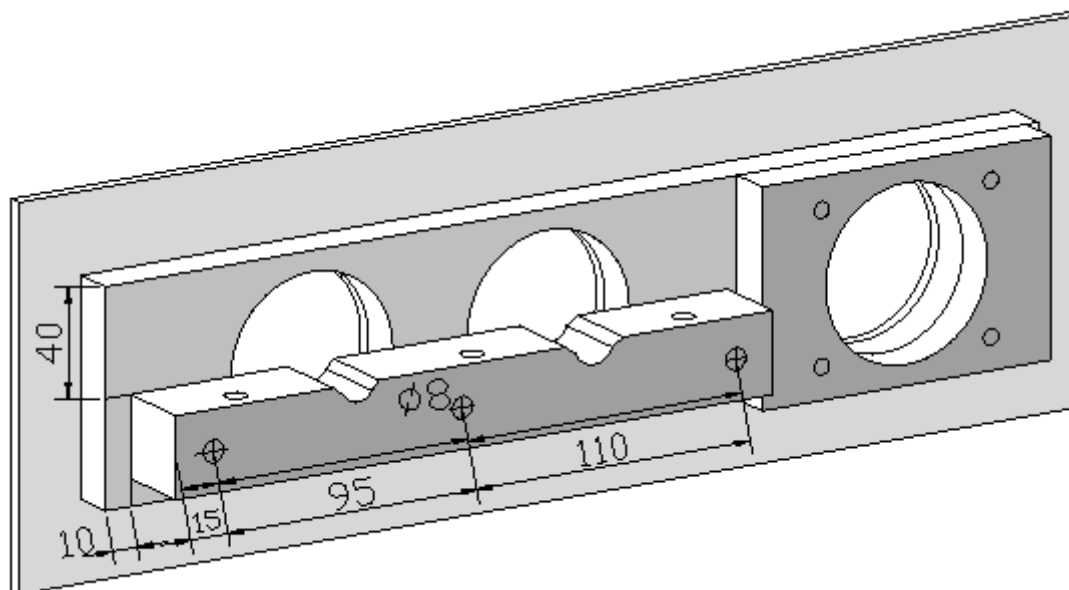
Installer la demi bride inférieure à demeure sur la platine, la demi bride supérieure restant amovible.

Percer au diamètre 8 mm pour des boulons poeliers M 6

Pour serrer les deux demi brides, utiliser des boulons à tête hexagonale. Forcer la tête du boulon dans le tasseau, après un petit chambrage au foret de 10 mm, afin de la bloquer ; cela facilitera les vissages-dévisages ultérieurs.

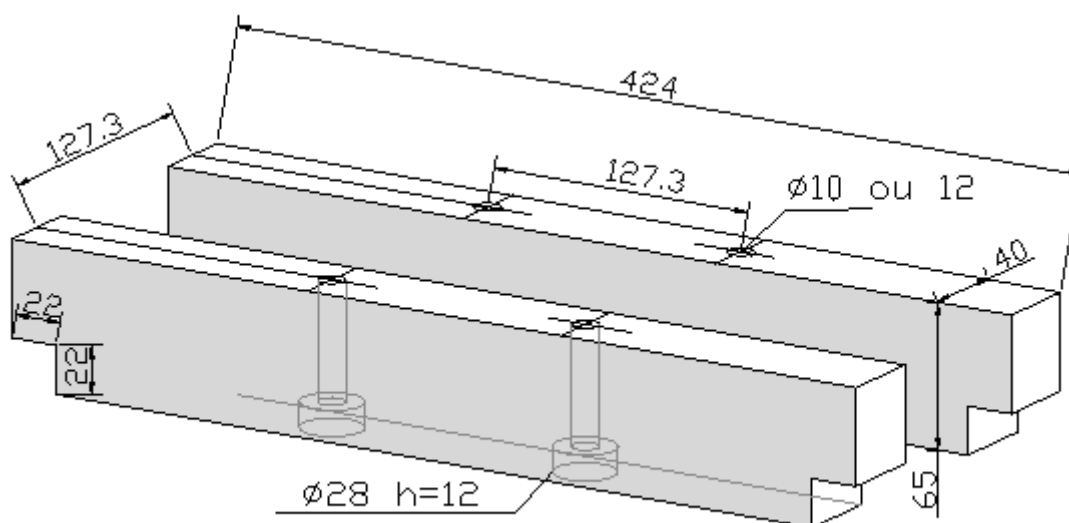
Pour le manomètre, utiliser des boulons poeliers M4

Achever enfin la face avant, en installant les tasseaux 22 x 22 comme pour la face arrière.

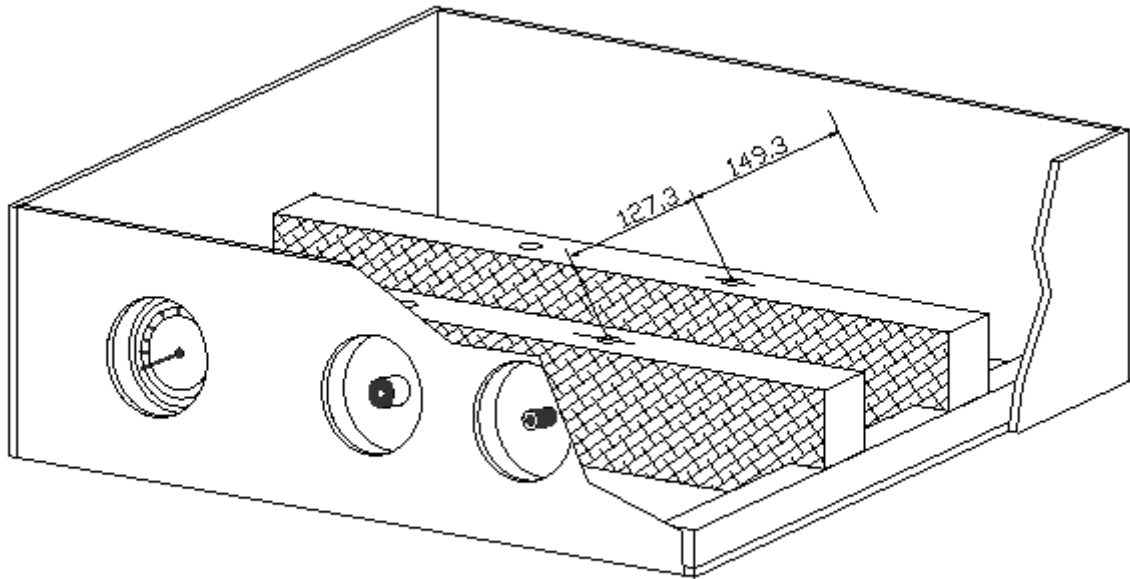


Supports de la plaque chauffante

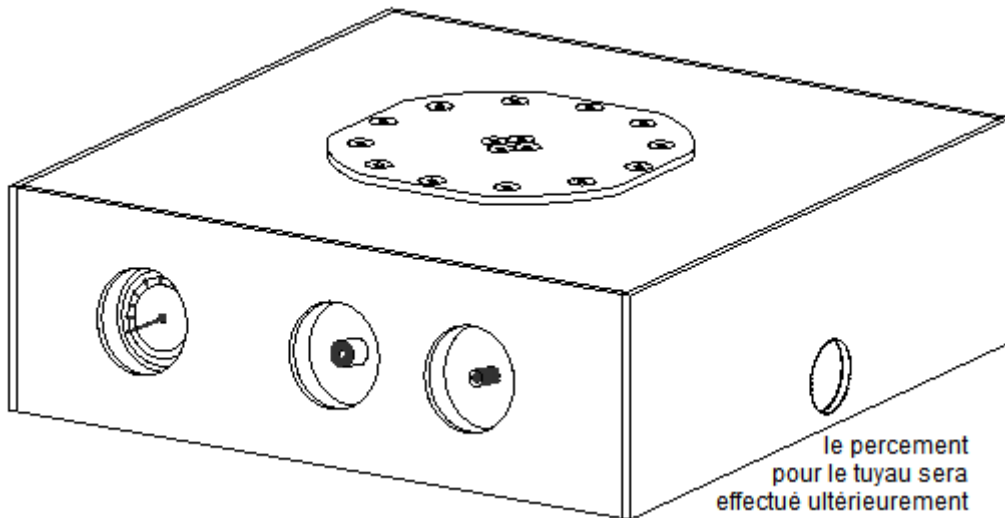
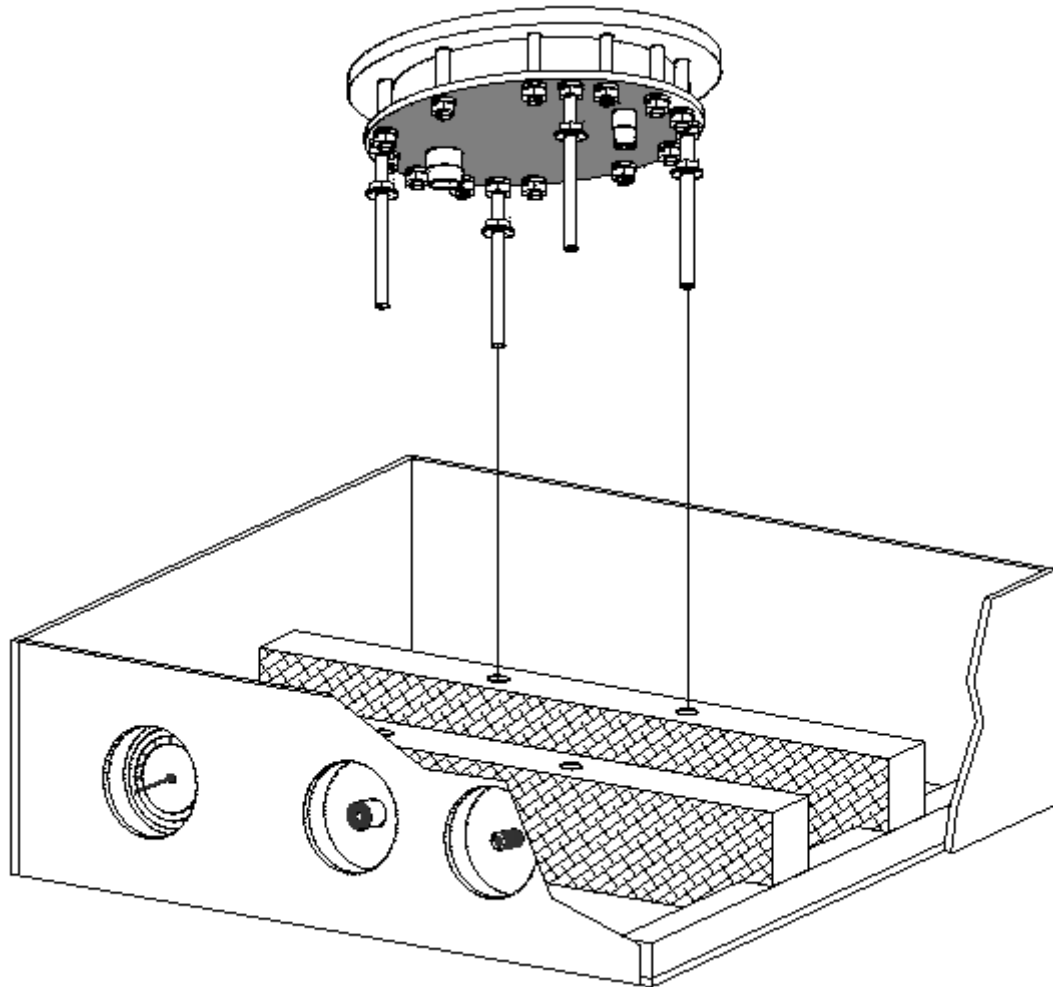
Confection des deux supports dans du tasseau 40 x 65 ; percements \varnothing 10 ou 12 pour recevoir les tiges filetées M8 de la plaque chauffante. En partie basse des percements, effectuer des chambrages pour noyer les écrous et rondelles (plus la clé de serrage). Les chambrages sont à effectuer à la mèche plate *avant* d'effectuer les percements.



Installation des supports dans la partie basse du caisson : les supports reposent sur les tasseaux du bas, vérifier leur fixation sur le contreplaqué de 5 mm.
Immobiliser les supports dans le caisson par quelques vis en bout des supports.



Installation de la plaque chauffante



Panneaux de fermeture supérieur et inférieur de la base du caisson isolé

Panneaux de contreplaqué 5 mm, 426 x 426

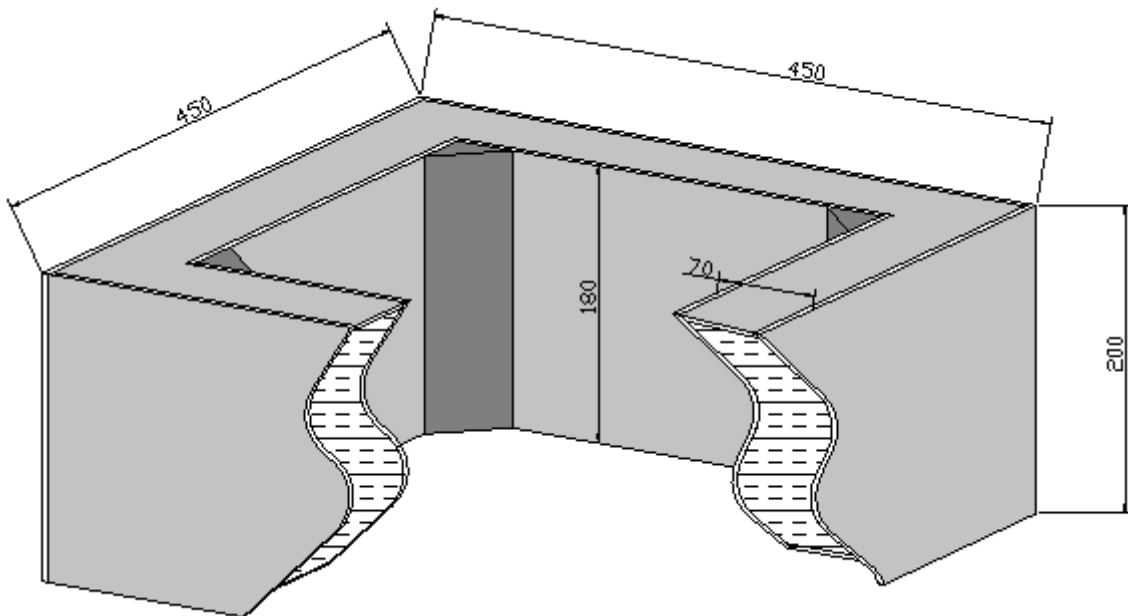
Le panneau inférieur peut être réalisé en deux ou trois parties. On peut aussi percer le panneau du fond au droit des tiges filetées supportant la plaque chauffante pour accéder aux écrous.

Le panneau supérieur est à échancrer selon la plaque chauffante, qui dépasse de quelques millimètres ; on peut le recouvrir d'une tôle d'aluminium de faible épaisseur.

Isolation de la base du caisson : Compte tenu des températures en jeu, au maximum 145 ° C, aucun isolant ne risque de prendre feu. La laine de verre ou laine de roche conviennent très bien

§ 2 LE CORPS INTERMÉDIAIRE

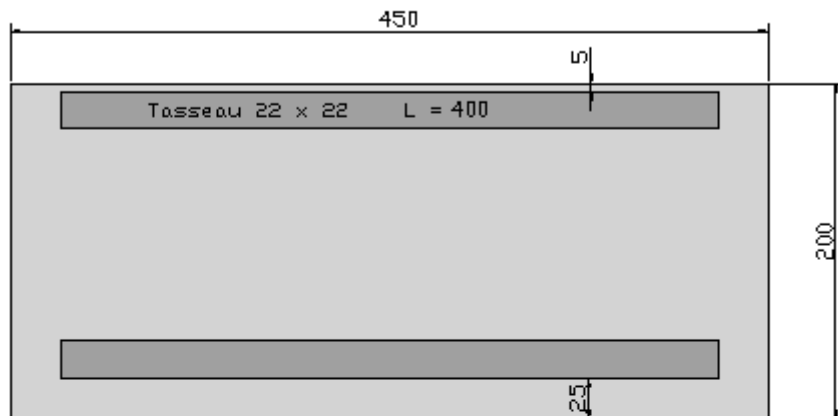
C'est un caisson sans fond ni couvercle, avec des doubles parois de 70 mm d'épaisseur contenant un matériau isolant. Afin de limiter les pertes thermiques, le corps intermédiaire s'encastre sur la base du caisson, sur une hauteur de 20 mm



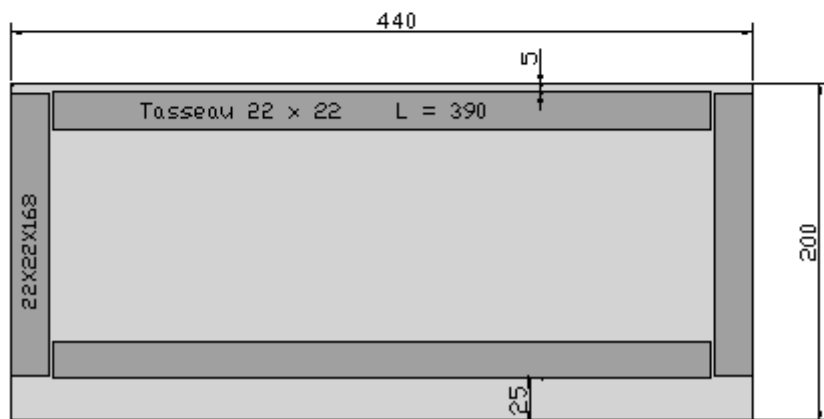
Paroi extérieure, cotés gauche et droite, vus de l'intérieur de la double paroi
faces avant et arrière, vues de l'intérieur de la double paroi

PARDI EXTERIEURE

Cotés gauche et droit

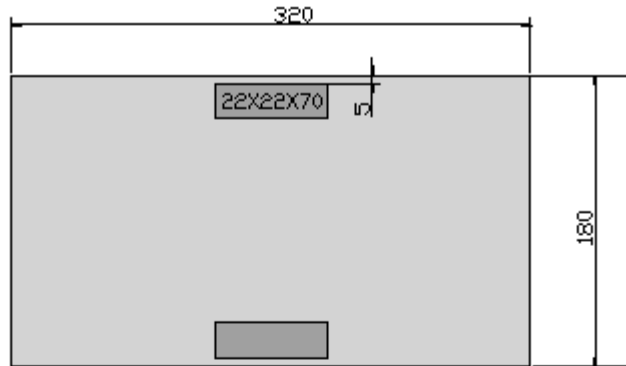


Faces avant et arrière

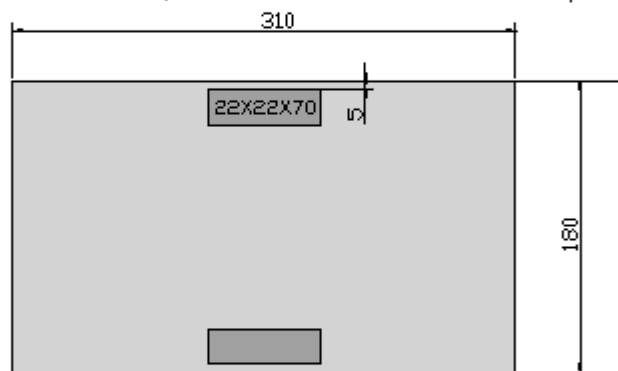


Paroi intérieure, côtés gauche et droite vus de l'intérieur de la double paroi
 faces avant et arrière, vues de l'intérieur de la double paroi
 vues de l'intérieur du caisson

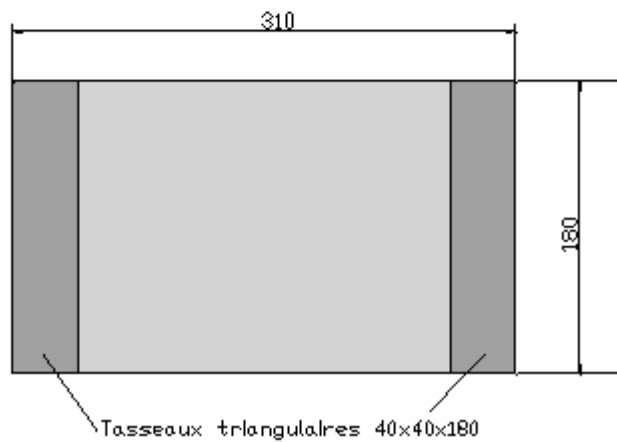
paroi Interieure
 Cotes gauche et droit



Faces avant et arriere, vues de l'intérieur de la double paroi

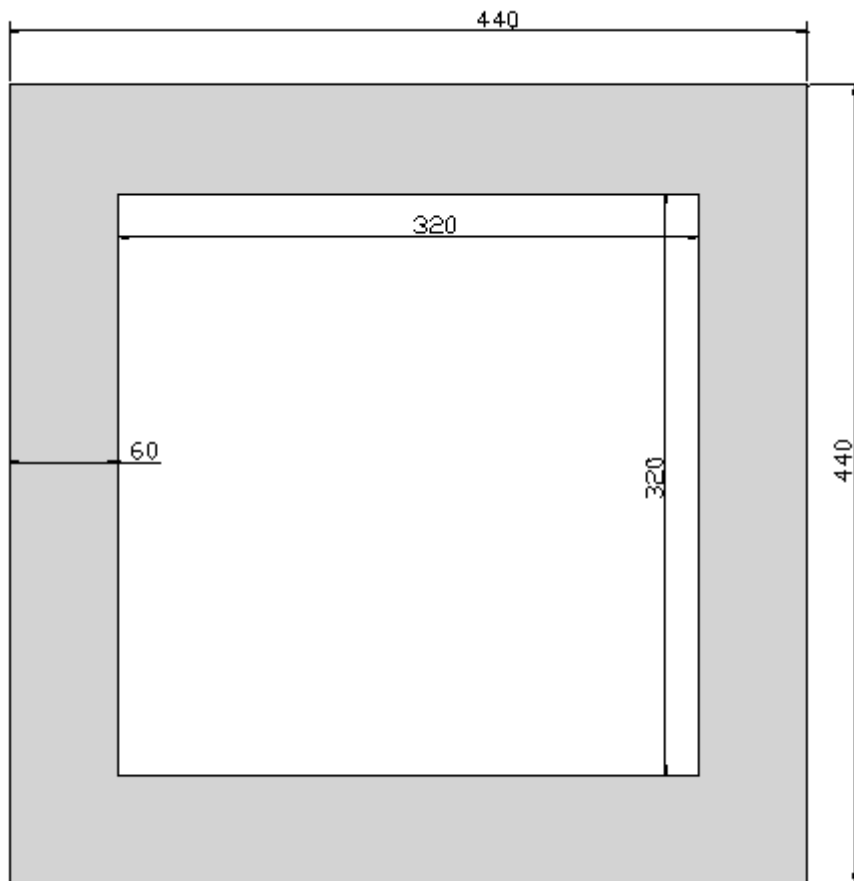


Faces avant et arriere, vues de l'intérieur du caisson



Si l'approvisionnement des tasseaux triangulaires s'avère trop difficile, et en l'absence d'une scie à ruban, il est toujours possible de les confectionner à la main : approvisionner un tasseau 40 x 40 bien droit de fil, le saisir dans l'étau avec un porte-à-faux de 30 cm, et débiter les 18 premiers centimètres au ciseau à bois...

Panneaux de fermeture supérieur et inférieur du corps intermédiaire : ils sont identiques

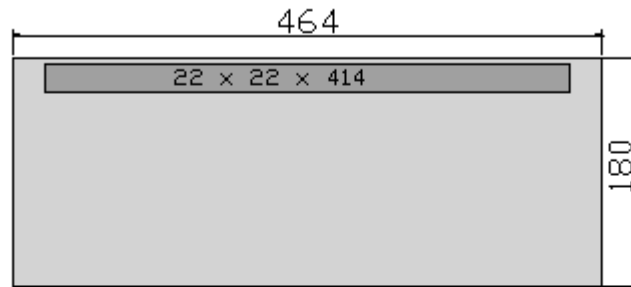


Avant ou pendant la peinture, boucher autant que possible les interstices pour éviter que la vapeur ne pénètre l'isolation.

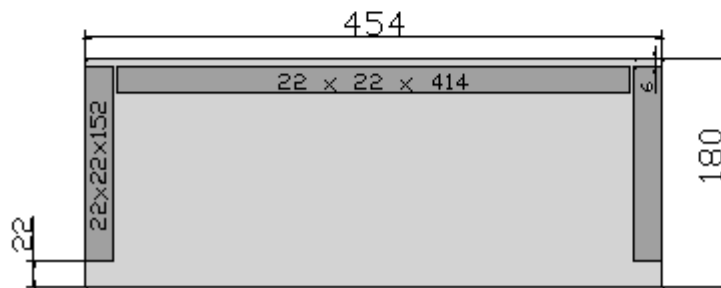
La laine de verre ou de roche ou autre conviennent pour l'isolation.

§ 3 LE COUVERCLE

Cotes gauche et droit

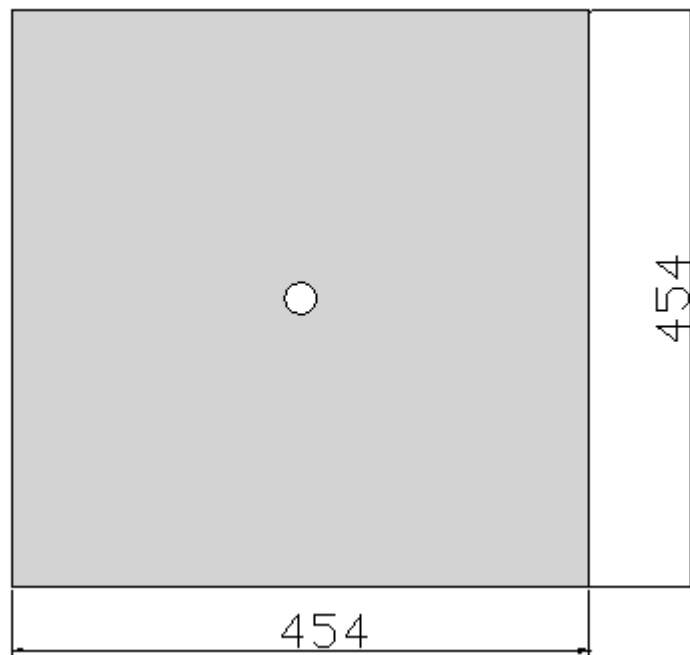


Faces avant et arriere



Le percement diam 24 mm au milieu du couvercle et de l'isolation est prévu pour le passage d'un évent de la vapeur provenant du récipient de cuisson.

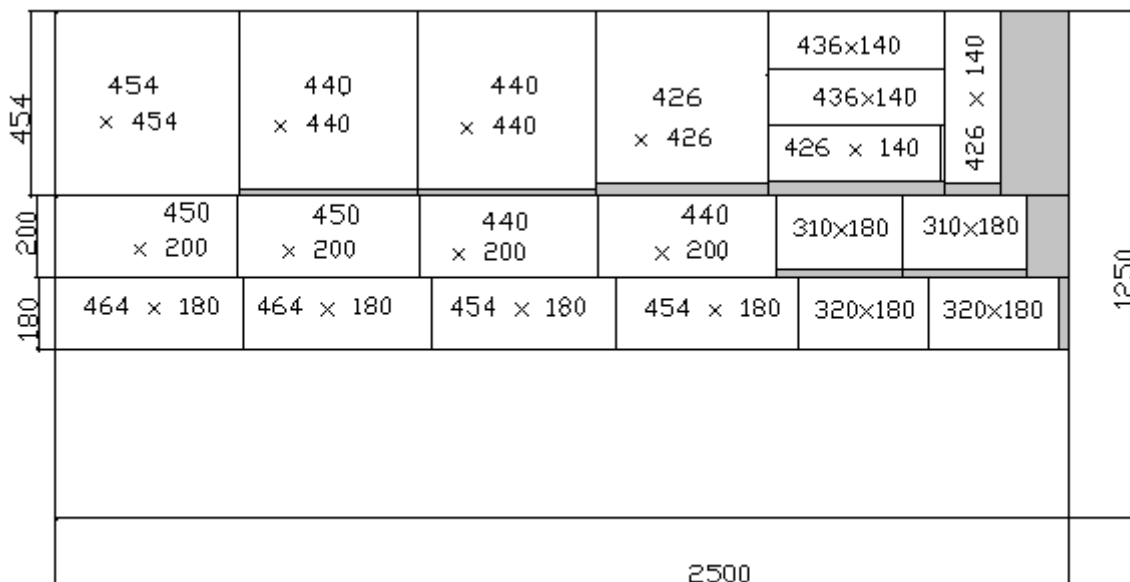
Isolation du couvercle : on peut utiliser par exemple des plaques de polystyrène extrudé en panneaux de 60 mm, du type Styrodur ou Styrofoam, plus résistants que le polystyrène expansé. Ce n'est cependant pas une solution excellente, le polystyrène extrudé gonfle avec la chaleur. Il faudra trouver un procédé d'isolation plus adéquat.



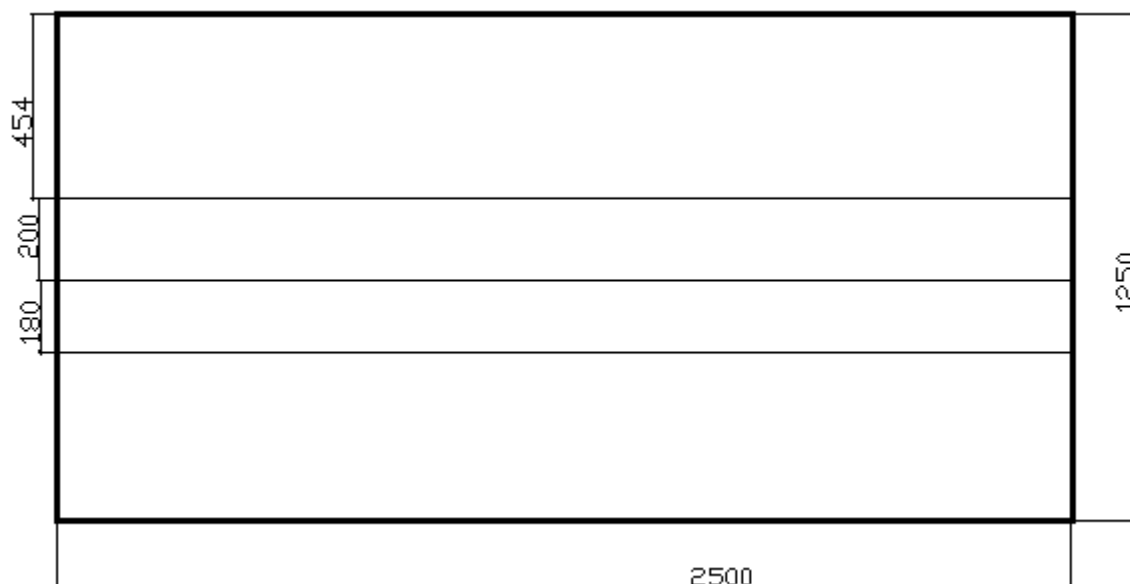
§ 4 PROPOSITION DE DEBIT DE LA FEUILLE DE CONTREPLAQUÉ

Le format des plaques de contreplaqué est usuellement de 1,25 x 2,50 m, plus rarement 1,22 x 244. Il est commode de faire débiter des bandes de contreplaqué, à recouper ensuite à la main.

Contre-plaqué 5 mm "Extérieur" : proposition de débit de la plaque ; dimensions hors l'épaisseur du trait de coupe ; le panneau de fermeture de la base du caisson ne figure pas dans ce débit.



Proposition de premières coupes :



SECTION VI LA PLOMBERIE

L'équipement de la plaque chauffante nécessite un minimum d'habileté manuelle en plomberie ... et beaucoup de persévérance. La surabondance de détails proposés ici ne doit pas être considérée comme une contrainte, mais comme une aide pour le néophyte. Il est toujours possible de faire autrement, et c'est souvent nécessaire compte tenu des possibilités d'approvisionnement. "La plomberie, c'est l'imagination au pouvoir"...

Le néophyte trouvera des renseignements sur la plomberie, les raccords, l'étanchéité des raccords, le brasage... en 4ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org, ainsi qu'en 1ère partie – Chap IV.

Ci dessous : un petit vademecum concernant les diamètres et filetages des tubes acier et raccords laiton que nous aurons à rencontrer.

DN 8	8 x 13	1/4	13,5	13,1		17	2
DN 10	12 x 17	3/8	17,2	16,7	15	19	2
DN 15	15 x 21	1/2	21,3	21	19	24	2
DN 20	20 x 27	3/4	26,9	26,4	24,3	29	2
DN 25	26 x 34	1	33,7	33,2			2,3

Diamètre
Nominal

Dénomination
"Gaz" française

dénomination
en pouces

Diamètre ex-
térieur réel

filetage
extérieur

filetage
intérieur

clé plate
usuelle

épaisseur
courante

Le **diamètre nominal** DN est un nombre sans unité utilisé comme référence pour désigner un ensemble de composants d'une même tuyauterie (tubes, raccords...) compatibles entre eux. La correspondance entre le diamètre réel des composants et le chiffre du DN est approximative. Dans le cas des tubes en acier, le chiffre du DN se rapproche quelque peu du diamètre intérieur du tube qu'il désigne

Tout cela semble bien compliqué de prime abord, mais peut se comprendre ainsi : l'épaisseur des tubes varie en fonction de la pression qu'ils ont à supporter ; pour des raisons pratiques et évidentes de compatibilité, c'est alors le diamètre intérieur qui varie, de façon à conserver une interchangeabilité des raccords.(sinon il en faudrait... trois ou quatre fois plus !)

La **dénomination française "Gaz"** est en principe désuète, mais elle est couramment employée. La dénomination officielle d'un tube est, en principe, le diamètre extérieur réel suivi de l'épaisseur du tube

La **dénomination en pouces** est souvent précédée de la lettre G ; le terme « pouces » s'écrit avec deux apostrophes, identiques aux guillemets français. Par exemple : raccord double Mâle G 3/8 "»
Un pouce = 25,4 mm ; La dimensions en pouces est une dimension nominale : rien (aucun diamètre,

ni intérieur ni extérieur...), dans un tube d'un pouce, ne mesure 25,4 mm...

Filetage Extérieur et Filetage Intérieur indiquent les diamètres des différents filetages, afin de les repérer facilement à l'aide d'un pied à coulisse. Ces cotes sont approximatives, notamment dans le cas des filetages en fonte ou en acier mâles, qui sont côniques.

Clé plate usuelle indique la clé généralement utilisée pour serrer un écrou de raccord pour le DN correspondant

Epaisseur courante des tubes correspond à la "série légère", usuellement disponible dans le commerce.

Les tubes de cuivre sont désignés par leur diamètre extérieur : Ø 4,8, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 22, 28 ... mm, puis parfois par leur épaisseur (usuellement 1 mm).

§ 1 LES ACCESSOIRES DE LA PLAQUE CHAUFFANTE

A) LE MANOMETRE

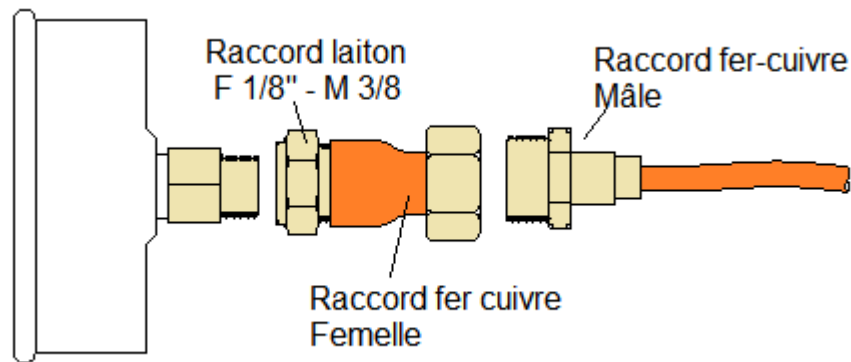
Manomètre, ou mano-vacuomètre ? Lorsque le cuiseur est en fonctionnement, la vapeur du second étage est à une pression de l'ordre de 3 à 4 bar manométriques, c'est à dire 4 à 5 bar absolus compte tenu de la pression atmosphérique qui est de l'ordre de 1 bar. Le manomètre de l'installation mesure la pression manométrique, mais lorsque l'installation se refroidit, la pression à l'intérieur du caloduc du second étage (qui est une enceinte fermée) descend en dessous de la pression atmosphérique. Si l'installation est équipée d'un manomètre ordinaire, ce dernier risque de ne pas apprécier le fait d'être maintenu hors de la plage de mesure pour laquelle il a été conçu, alors qu'un manomètre-vacuomètre, qui peut descendre jusqu'à -1 bar relatif, ne subit aucun dommage. A défaut d'utiliser un mano-vacuomètre, il convient de casser le vide après utilisation du cuiseur, par exemple en ouvrant le petit robinet de purge.

Le bon choix : mano-vacuomètre -1 à 5 bar "à tube de Bourdon", diamètre 63 mm, corps en inox, précision moyenne classe 1,6 ou 2,5, sortie arrière (et non vers le bas), avec ou sans glycérine. Voir par exemple : catalogue Wika, type 213/53, Ø 63 mm, référence 30175062 ; on peut préférer le manomètre -1 à 9 bar.

A défaut : manomètre 0-6 bar, par exemple Wika type 213/53, réf.13161831

A défaut : manomètre en boîtier plastique, série ordinaire, par exemple Wika série 111 soit en mano-vacuomètre avec sortie latérale, soit en manomètre avec sortie arrière. Noter que le manomètre, tel qu'il est installé dans le caisson, ne sera pas du tout soumis à la chaleur.

Equipement du manomètre : le raccordement du manomètre est usuellement un filetage parallèle 1/8" ou 1/4"



- approvisionner un raccord laiton "Femelle 1/8 (ou 1/4") / Mâle 1/4" ; réduire le filetage mâle sur un tour, au diamètre 12 mm ; braser le raccord laiton sur un raccord fer-cuivre à écrou prisonnier "Ø12-3/8".
- visser le raccord laiton sur le manomètre. Utiliser obligatoirement un produit d'étanchéité du type Filetfix ou autre ; les deux filetages étant parallèles, le Teflon est à proscrire.

Installation du manomètre sur la platine : serrer le mano entre la platine et la contre bride en contreplaqué

B) LA SOUPAPE

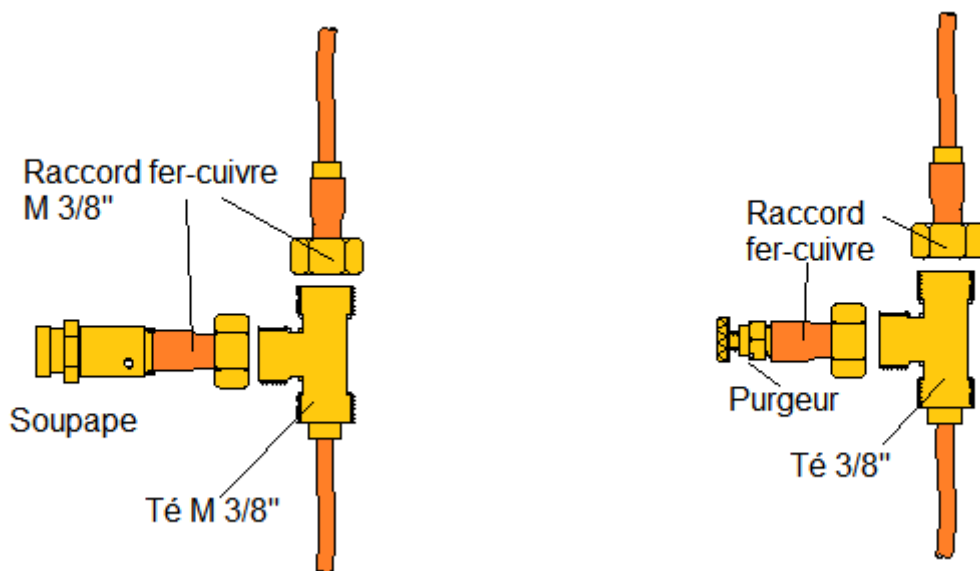
Le bon choix : soupape en provenance des USA, référence MSCdirect.com 78063195 ; réduire le filetage sur un tour, et braser sur un raccord fer-cuivre 3/8"

Pour régler ou modifier le tarage de la soupape : desserrer le contre écrou, puis visser ou dévisser la partie mobile pour contraindre plus ou moins le ressort. Il est utile de contrôler parfois l'état du siège de clapet, et l'état du clapet souple en silicone. Voir Documentation 1ère partie



soupape brasée sur un
raccord femelle à joint plat

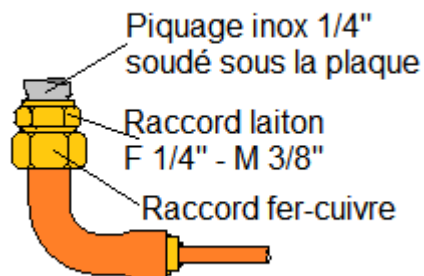
Installation sur la platine : serrer la soupape et le purgeur entre les deux tasseaux de 30 mm



C) LE ROBINET DE PURGE

C'est un robinet de purge de radiateur de chauffage central, du type "à pointeau", c'est à dire le plus simple qui soit, sans joint de caoutchouc. Réduire le filetage, et braser sur un raccord fer-cuivre 3/8"

D) EQUIPEMENT DE LA PLAQUE VAPEUR



Sur la plaque vapeur, le filetage du piquage prévu pour les accessoires est 1/4" conique, à équiper d'un raccord laiton " Femelle 1/4" – Mâle 3/8", apte à recevoir un joint plat. L'étanchéité entre le piquage et le raccord laiton s'effectue avec du Filetfix, ou avec du Teflon

E) RACCORDEMENT DES ACCESSOIRES, et INSTALLATION SUR LA PLATINE

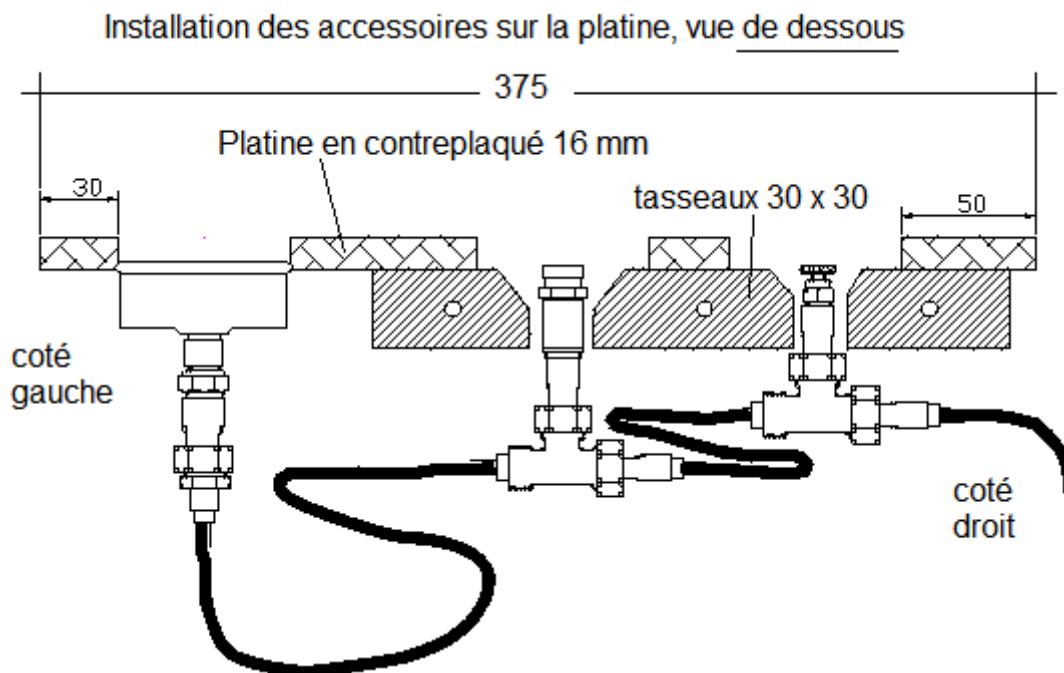
Un bon choix : l'utilisation de tube de cuivre \varnothing extérieur 4,8 mm, cintrable à la main, usuellement utilisé pour les circuits de freinage des poids lourds, à approvisionner chez les fournisseurs de pièces détachées pour garages automobiles. De nombreuses méthodes sont possibles pour les raccordements, entre autres les raccords à olive bicones. Ici c'est la solution du brasage qui est proposée, avec des raccords à joint plat 3/8" comme précédemment dans les autres installations de soleil-vapeur.



Raccord fer-cuivre 2 pièces \varnothing 8
écrou tournant 3/8"; par exemple:
Castorama ref 510124

Pour le brasage du tube \varnothing 4,8 sur les raccords fer cuivre : approvisionner des raccords fer-cuivre \varnothing 8 – 3/8" et de la barre laiton \varnothing 8 mm (par exemple: leroy-merlin ref 65286795) dans laquelle il sera possible de confectionner des petites fourrures.

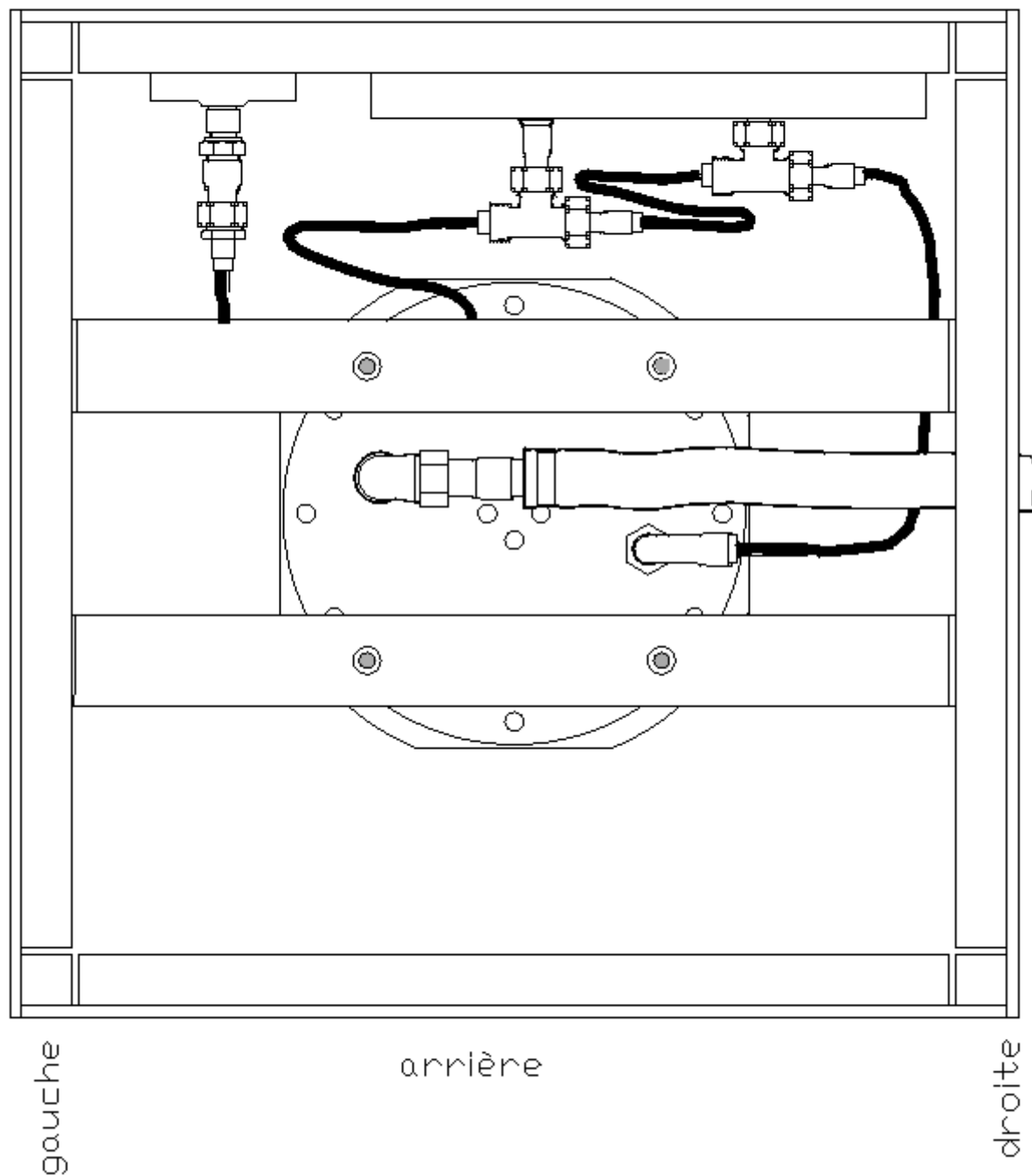
Les fourrures peuvent aussi être confectionnées dans de l'acier ordinaire, sous réserve d'effectuer des brasures "à l'argent 40 %".



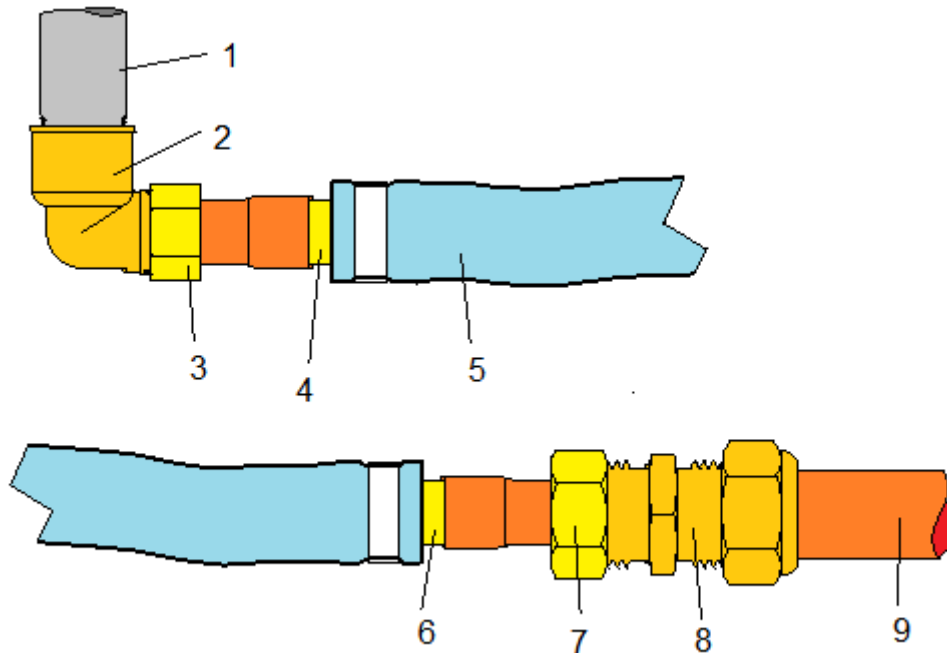
Faire des boucles avec le tube de cuivre, pour faciliter la mise en place des composants sur la platine. Au sujet des joints plats souples pour vapeur : consulter la doc de soleil-vapeur.

Caisson vu par le dessous

Avant



§ 2 LE TUYAU SOUPLE ENTRE LA PLAQUE CHAUFFANTE ET LE COLLECTEUR

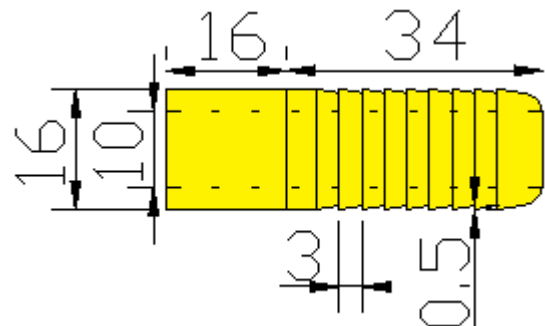


1- Piquage inox 1/2" soudé sous la plaque chauffante

2- coude laiton F 1/2" – M 1/2". Le filetage mâle du piquage inox étant cône, l'étanchéité est à réaliser avec du Teflon ou bien du Filetfix ou similaire. Veiller à la bonne orientation du coude. Si le filetage vient en butée avant serrage, il est possible, selon le cas, de raccourcir quelque peu le filetage mâle, ou de le continuer à l'aide d'une filière cône de plombier.

3- Raccord fer-cuivre 1/2"- Ø 16 mm

4- Douille en laiton Ø 16 mm brasée sur le raccord fer-cuivre. Il est quasiment impossible de trouver dans le commerce une douille du bon diamètre montée sur un raccord adéquat. La seule solution est souvent de fabriquer l'ensemble à savoir : confectionner une douille, et braser la douille sur le raccord fer-cuivre.



Confection d'une douille : le mécanicien-tourneur et le plombier-braseur sont deux corps de métier différents ; dans le cas d'une construction à l'unité, il sera nécessaire de faire la navette entre les deux

Tournage de la douille : dans du laiton de préférence, à défaut dans de l'acier sous réserve de braser ultérieurement à l'argent 40 %. Pour le brasage, le jeu préconisé est de
0,1 mm pour le brasage cuivre -phosphore (douille laiton uniquement)
0,07 à 0,08 mm pour le brasage à l'argent 6 % (douille laiton uniquement)
0,05 mm pour le brasage à l'argent 40 % (douille laiton ou douille acier)

(approvisionner préalablement le raccord fer-cuivre, et le remettre au tourneur)

Sur le schéma de douille proposé ci dessus, la partie annelée est délibérément plus longue que usuellement, en raison des problèmes d'étanchéité avec le tuyau souple.

Le percement est proposé à Ø 10mm pour ne pas trop faiblir la douille.

Diamètre extérieur des annelures : après essai avec le tuyau "Ø13 mm intérieur"

5 – Le tuyau souple

Deux flux en sens contraire circulent dans le tuyau. Le diamètre (réel!) intérieur retenu ici est de 13 mm, d'où une vitesse de vapeur de l'ordre de Un mètre par seconde, ce qui est très faible .

Un tuyau de qualité vapeur 6 bar/164° C convient, la qualité alimentaire n'est pas nécessaire.

Vérifier le rayon du courbure admissible par le tuyau, avant de l'approvisionner.

Pour déterminer la longueur du tuyau : faire une simulation de montage avec un tuyau quelque peu identique. Il est indispensable d'avoir une courbe régulière et surtout une **pente régulière sans point bas**, bref un parcours harmonieux : c'est là que repose en grande partie toute la subtilité du cuiseur. La longueur nécessaire est de l'ordre de cinquante centimètres de flexible proprement dit, Il est très difficile d'approvisionner une telle longueur de tuyau vapeur (ce pourrait être une occasion de contacter soleil-vapeur.org)

Le tuyau sera bien sûr à isoler, par tous moyens, le plus simple étant une chute de serviette éponge correctement mise en place et bien maintenue.

Collier de serrage : préférer un collier de serrage à vis, que l'on peut éventuellement resserrer, plutôt qu'un collier à oreilles. Préférer un collier large, par exemple Serflex 14 mm, pour éviter de blesser le tuyau, et veiller à utiliser un collier avec une tête de serrage correspondant au diamètre extérieur du tuyau. Si besoin, consulter la documentation Serflex.

Enfin, amarrer par tous moyens le tuyau souple à la traverse support de la plaque chauffante, pour éviter tout effort parasite du tuyau sur le raccord de la plaque chauffante, y compris lorsque la plaque est déconnectée du capteur ou bien lorsqu'elle est transportée... (C'est précisément pour pouvoir maintenir fermement le tuyau sur la traverse que l'orifice d'entrée-sortie de la plaque à vapeur été placé "au fond du caisson", alors qu'il aurait été plus logique pour des raisons thermiques et des raisons de pente, de le rapprocher le plus possible du collecteur)

Traversée de la paroi du caisson : percer le côté de caisson pour passer facilement le tuyau et le raccord. Ne pas hésiter à couper le tasseau inférieur du caisson, il sera possible ensuite de renforcer le caisson avec un "emplâtre" de contreplaqué qui servira en même temps à brider le tuyau.

Le tuyau souple est le talon d'Achille du cuiseur. Sous l'effet de la chaleur, le matériau souple du tuyau vieillit rapidement. Or dans un caloduc l'étanchéité est bien sûr indispensable, et de plus l'étanchéité à la vapeur est plus délicate à obtenir que l'étanchéité au liquide. La vapeur étant un gaz, elle est invisible (quand on "voit de la vapeur", on ne voit en fait que des gouttelettes d'eau déjà condensée à moins de 100° C), une légère fuite est donc indétectable, surtout si elle se produit à l'extrémité du tuyau qui est cachée dans l'isolation.

La douille a été rallongée de façon à pouvoir déplacer ou doubler le collier de serrage, mais ce n'est pas très satisfaisant. Deux autres solutions sont disponibles

- sertir le tuyau sur la douille, c'est à dire remplacer le collier par un tube en tôle légère qui est serti

sur le tuyau ; cette opération est à faire en atelier, avec une machine spécifique, cf par exemple les ateliers de réparation de flexibles hydrauliques,

- faire le choix d'un tuyau souple en acier inox : c'est LA solution, professionnelle et pérenne. Par exemple : tube souple Metalflex et collier Clamp à une extrémité ; à l'autre extrémité, un simple raccord fileté est suffisant.

En attendant une solution idéale, il est prudent d'avoir en réserve un peu de tuyau souple comme ci dessus.

6 et 7 Douille brasée sur raccord fer cuivre, comme précédemment. Femelle 3/4" -Ø 16 mm

En cas de démontage du cuiseur, c'est ce raccord qu'il convient de séparer du raccord bicône, l'autre extrémité du tuyau souple étant installée à demeure sur la plaque chauffante.

8 – Raccord à olive Male 3/4" - Ø 22 mm, dits aussi "bicône"

Par exemple : leroymerlin.fr Réf 65817493 ; vérifier que la face d'appui pour le joint plat est correcte

Sous réserve de vérification, les extrémités du collecteur du capteur à caloduc du commerce sont en tube de cuivre diam extérieur 22 mm, sur lesquels il est possible d'installer des raccords "bicône" à disponibles au rayon plomberie de certaines grandes surfaces de bricolage

L'étanchéité de ce type de raccord est effectuée par la compression de la bague bicône contre le tube cuivre (qui doit être sans défaut de surface), et contre les deux demi-raccords qui viennent aussi s'appuyer la bague.

quelques remarques :

- au sujet des raccords à joint plat : vérifier que la face d'appui qui recevra le joint plat est correcte et de largeur suffisante, sinon elle risque de couper le joint souple, et c'est une fuite assurée. Au besoin, reprendre la face d'appui sur un tour, en respectant la perpendicularité par rapport à l'axe.

- Au sujet des raccords à olive : Le profil des deux demi-raccords est adapté à l'angle du bicône, veiller à ne pas intervertir avec d'autres composants de plomberie

- Lors du serrage, le bicone rétreint quelque peu le tube de cuivre, il n'est donc plus possible de l'enlever, ainsi que l'écrou femelle situé entre le collecteur et le bicône. Donc pour le néophyte il est préférable de n'installer définitivement ce raccord qu'au dernier moment. Par précaution, on peut installer le raccord en extrémité du tube, et en cas de problème majeur il sera toujours possible de couper le tube et d'installer un autre bicône.

- lors du serrage du raccord fer-cuivre sur le raccord à olive, il est indispensable de bloquer ce dernier avec une clé plate, sans quoi il viendrait tourner autour du bicône, ce serait une fuite assurée ; le couple de serrage n'étant pas très élevé (ne pas écraser le joint plat!), une clé plate découpée dans de la tôle convient très bien.

- En principe un raccord bicone, s'il n'a pas été serré excessivement la première fois, peut être démonté et remonté "deux ou trois fois", mais c'est là une affaire de doigté ; hélas aucune information n'est publiée concernant le couple de serrage idéal

au final, seule l'épreuve d'étanchéité fera foi.

- si le collecteur est déposé, par exemple en cas de stockage ou de transport, protéger le filetage en extrémité du raccord bicône par un raccord adéquat.

9 - Sortie/entrée du collecteur du capteur

Il est possible mais non indispensable de raccourcir quelque peu le tube de cuivre Ø 22 mm
Le petit tube qui débouche à côté du tube du collecteur est prévu pour l'installation d'une sonde de thermomètre

10 - Les joints souples

Les joints pour eau, chaude ou froide, ne conviennent absolument pas. Il est indispensable d'utiliser des joints spécifiques pour la vapeur, à découper dans de la plaque de joint ep 1,5 mm (voir documentation soleil-vapeur).

Dans le cadre d'une construction à l'unité, il est possible de se procurer un ou deux décimètres carrés de plaque de joint auprès de soleil-vapeur.

Pour confectionner un joint :

- tracer les deux cercles sur la feuille de joint , pour effectuer des découpes concentriques
- effectuer d'abord le percement intérieur à l'emporte pièce (sinon le joint éclate) ;
- effectuer ensuite la découpe extérieure, éventuellement avec des ciseaux ; auquel cas, finir la découpe avec de la feuille abrasive

On trouve aussi dans le commerce, y compris en grandes surfaces de bricolage, des joints agréés pour le gaz résistant à une température de 360° C (?) , usuellement de couleur bleue.

Il est inutile de serrer excessivement les joints plats, qu'il peut être préférable de changer à chaque démontage/remontage du joint ; à chaque démontage, observer attentivement l'état du joint : a-t-il été trop serré auparavant ?

Si cela paraissait nécessaire (filetage arrivant en butée avant un serrage correct), il est possible de doubler les joints.

Toutes ces indications, fournies à au sujet des joints 3/4", sont valables pour les joints 3/8"

§ 3 UNE PREMIERE EPREUVE D'ÉTANCHÉITÉ

Après assemblage de la plaque chauffante, de ses accessoires et du tuyau, il est indispensable de procéder, en atelier (et non sur site) à une première épreuve d'étanchéité à l'air. Cela consiste à mettre l'ensemble sous pression d'air à environ 3 bar. Noter que l'étanchéité à l'air est plus difficile à obtenir que l'étanchéité à l'eau.

Utiliser un raccord avec valve et une pompe à air "à pied", à installer à l'extrémité libre du tuyau en interposant des réductions, voir documentation /Ière partie/chap IV/ Section VII. Régler la soupape sur 3,5 bar, et monter en pression jusqu'à 3 bars, puis surveiller le manomètre, qui ne doit pas bouger d'une largeur d'aiguille pendant 15 à 30 minutes. Traquer les fuites avec de l'eau savonneuse ou avec du produit détecteur de fuites du type "1000 bulles" sur tous les assemblages et raccords.

§ 4 EQUIPEMENT DU COLLECTEUR DU CÔTE OPPOSE AU CAISSON

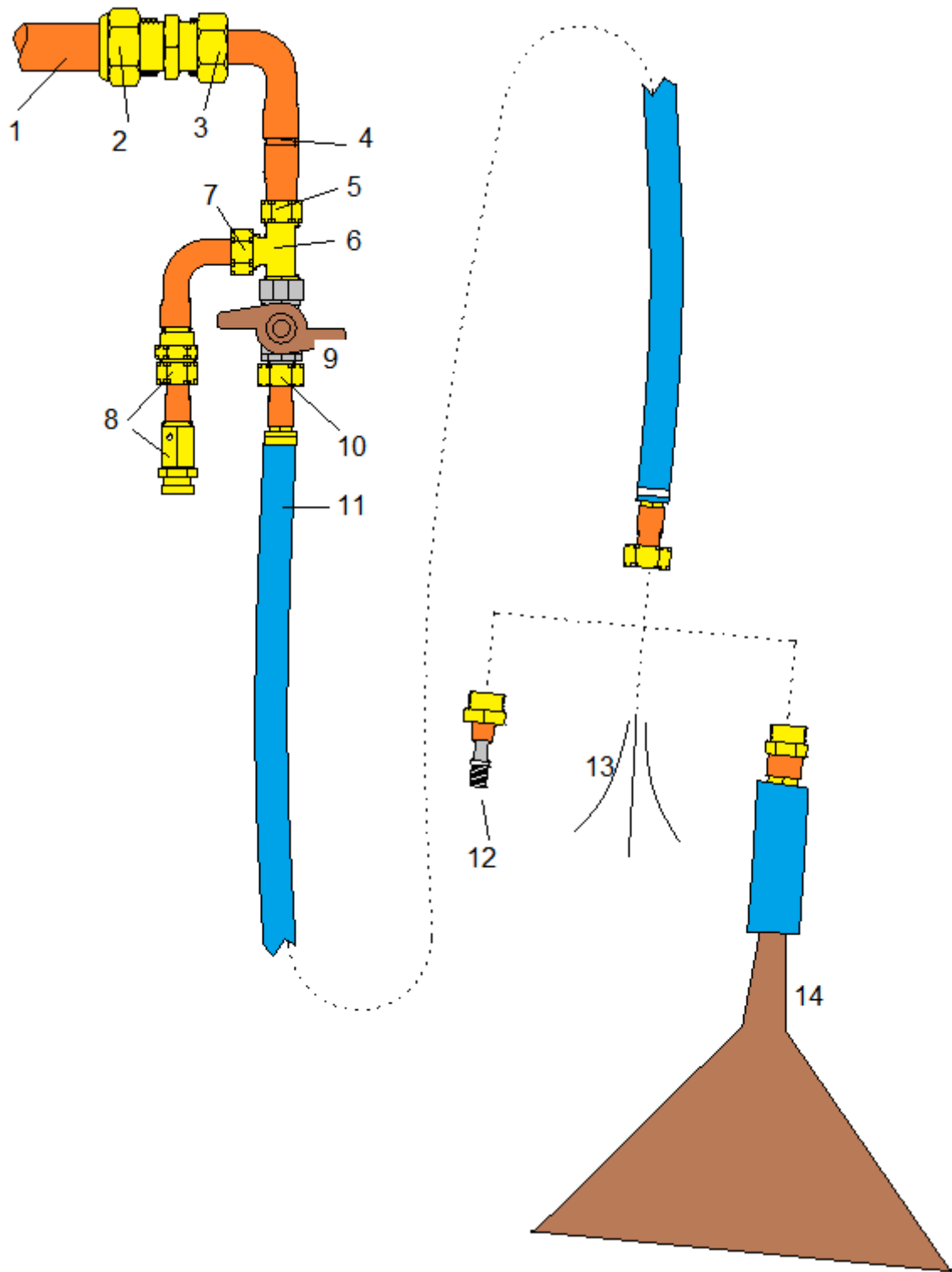
A cette extrémité du collecteur sont regroupés des dispositifs d'alimentation, de purge, et une soupape supplémentaire.

- 1 extrémité du collecteur
- 2- Raccord bicone Ø 22 / Mâle G 1/2" avec face d'appuis correcte pour recevoir un joint plat
- 3- raccord fer cuivre coudé F, G1/2" / Ø 12
- 4- manchon cuivre Ø 12
- 4- raccord fer-cuivre droit Ø 12 / F G3/8"
- 6- Te MMM G3/8"
- 7- raccord fer-cuivre coudé F 3/8" / Ø 12
- 8- soupape MSC direct.com 78063195 brasée sur raccord fer-cuivre droit G 3/8"
- 9 Robinet à sphère M-F 3/8". Tous les robinets à sphère ont des joints souples, dont le matériau résiste plus ou moins bien à la chaleur. : voir les spécifications du fabricant.
- 10- douille annelée brasée sur raccord fer-cuivre droit F G 3/8"
- 11 Tuyau souple. Ce tuyau est très ponctuellement à la chaleur, mais il n'est pas soumis à la pression
- 10- douille annelée brasée sur raccord fer-cuivre droit F G 3/8"
- 12- valve automobile, brasée sur raccord, pour effectuer les essais d'étanchéité à l'air
- (13)- vidange du collecteur
- 14 – entonnoir de remplissage.

(voir schéma page suivante)

§ 5 L'ALIMENTATION SOUS PRESSION

En cas de fuite de vapeur ou d'échappement important de vapeur par la soupape, il est impossible de recharger le collecteur en eau fraîche de façon gravitaire ; dès qu'elle parvient dans le collecteur chaud, l'eau se vaporise et expulse tout ce qui se trouve dans le tuyau d'alimentation. Il faut donc couvrir les tubes sous vide du capteur et attendre qu'il refroidisse, mais on peut aussi avoir recours à une pompe d'alimentation identique à celle proposée dans la documentation. Mais c'est là une complication que seules des circonstances exceptionnelles pourraient justifier, la meilleure solution étant de laisser refroidir la machine ... et de chercher la fuite.



SECTION VII L'INSTALLATION DU CUISEUR

§-1 INSTALLATION DE LA CHARPENTE

L'orientation générale

En principe, le chevalet est à orienter vers le Sud - si l'on se trouve dans l'hémisphère Nord... Au sujet des méthodes de recherche du Sud, voir la documentation. Mais concernant le cuiseur à tubes sous vide, une orientation précise n'est pas indispensable, et l'on peut même préférer, pour tout un ensemble de raisons diverses, orienter le capteur plutôt vers l'Est ou vers l'Ouest, il fonctionnera alors mieux le matin ou le soir.

L'inclinaison du cadre-support du premier étage

Quelle inclinaison pour le cadre-support du premier étage ?

En principe, l'angle d'inclinaison est égal à 90° moins la latitude du lieu. Mais il ne s'agit là que d'une position moyenne, pour un bon fonctionnement à l'heure de midi aux jours d'équinoxe (22 Mars, et 22 Septembre). Il est tout à fait possible d'avoir d'autres préférences.

En cas d'installation près de l'équateur, respecter une inclinaison minimum de 15° environ, pour un bon fonctionnement des caloducs des tubes à vide.

Si besoin : confectionner une estrade

Si le caisson isolant et la plaque de cuisson semblent trop haut perchés, la bonne solution est de fournir une large estrade à l'utilisateur, afin qu'il puisse travailler dans de bonnes conditions.

Confectionner un abri

Dans tous les cas, il faut prévoir un abri pour le conducteur du capteur, qui aura à travailler pendant les heures chaudes de la journée.

La réorientation périodique du capteur

On peut tout à fait concevoir de réajuster à deux ou trois reprises l'inclinaison du cadre support des tubes sous vide au cours des saisons.

Quant à la réorientation au cours de la journée de l'Est vers l'Ouest, c'est une très mauvaise idée, cela ne servirait qu'à dégrader le cuiseur. La bonne solution est d'utiliser le capteur au maximum de ses possibilités pendant au moins six heures par jour tous les jours et sans lui faire subir de manipulations quotidiennes.

Installation du caisson isolant à l'intérieur d'un bâtiment ?

Dans certains cas bien spécifiques, il est possible d'installer le capteur à l'extérieur du bâtiment, et le caisson à l'intérieur, notamment si la façade est correctement orientée, et que le site d'implantation ne se situe pas entre les deux tropiques (auquel cas le soleil passe au-delà du zénith pendant une partie de l'année) ; mais le flux énergétique disponible est ténu, et au-delà d'un mètre de tuyau les pertes de vapeur seront rédhibitoires même avec une bonne isolation.

Trois points-clé à vérifier lors de l'installation :

- **chevalet** : Il n'est pas indispensable que les traverses soient rigoureusement horizontales, mais le chevalet doit bien reposer sur les quatre pieds, donc ne pas être bancal.
- **la pente du collecteur** : le caloduc du second étage, tout comme les caloducs de premier étage, ne peut fonctionner qu'avec une pente minimum. Une pente de trois centimètres sur la longueur du collecteur, soit un centimètre sur un niveau de maçon de 50 cm, semble une bonne valeur.
Si besoin, effectuer un percement supplémentaire sur l'une ou l'autre des charnières du cadre support des tubes à vide, ou sur le chevalet. Un calage sous le chevalet conviendrait également sous réserve qu'il soit correctement établi (une fois le calage disparu, le capteur risque de ne plus fonctionner...). Dégauchir, à toutes fins utiles, les deux traverses basses du chevalet.
- **le dégauchissage du cadre mobile** : l'opération est tout à fait similaire à celle décrite à la section IV. Une fois les tubes installés, ils doivent être sur un même plan, et non pas former une surface voilée. Caler à la demande entre le point bas de la traverse basse du cadre, et le sol.

§-2 INSTALLATION DU SUPPORT DU CAISSON

Installer les deux traverses support du caisson sur le chevalet, par vissage dans un premier temps (protéger avec des bouchons les vis qui dépassent!), puis par boulonnage. Dégauchir les deux traverses-support.

Pour le tuyau de liaison entre la plaque chauffante et le caloduc, prévoir une pente de l'ordre de 5 cm. Si besoin, caler sous le caisson avec des chevrons.

§ 3 INSTALLATION DU CAISSON ISOLANT

Il y a ici une petite contradiction

- d'un part le tuyau souple doit être en pente vers le collecteur
- d'autre part la plaque chauffante elle même doit être quelque peu en pente, sur 5 mm pour 20 cm, pour un bon écoulement des condensats vers la sortie, c'est çà dire "vers la gauche" de l'observateur placé en bout du cuiseur.

Il y a plusieurs solutions, par exemple :

- incliner la plaque chauffante lors de son installation dans le caisson isolant
- décaler quelque peu les traverses support du caisson, lors de leur installation sur le chevalet
- caler sous le caisson.

(Il aurait été plus simple de positionner différemment l'entrée/sortie 3/4" de la plaque chauffante, mais la solution choisie permet de fixer correctement le tuyau souple sur le caisson)

Lors du serrage du raccord fer-cuivre du tuyau sur le raccord à olive du collecteur, veiller à bien maintenir le raccord à olive pour ne pas rayer le bicône.

§ 4 INSTALLATION DES TUBES à CALODUC DU PREMIER ETAGE

L'insertion du bulbe des caloducs dans leur logement du collecteur n'est parfois pas très aisée

- il est possible que, suite au brasage des logements sur le collecteur, des petites boules de résidus de brasure restent collées à l'intérieur du logement. On peut les éliminer avec une bande abrasive à grain fin (240 ou plus) entourée sur un tube de diamètre adéquat installé en bout d'une perceuse à main. Veiller à ne pas trop insister : c'est par le contact cuivre-cuivre qu'est transmise l'énergie thermique du caloduc vers le collecteur, il faut donc éviter tout jeu intempestif.

- de la graisse thermique est parfois livrée avec le capteur, cela facilite l'opération.

- pour insérer le bulbe dans le logement, ne pas le pousser avec le tube de verre, sous peine de briser le fond du tube intérieur ; sortir le caloduc sur 15 ou 20 cm, prendre le tube de cuivre à pleine main, puis insérer le bulbe.

- on peut aussi saisir le caloduc de cuivre avec une pince plate, après avoir quelque peu profilé les mors à l'aide d'une lime ronde afin de ne pas blesser le tube de cuivre.

- enfin, un peu de graisse ordinaire sur le tube en verre facilitera son insertion dans le joint en caoutchouc du capot du collecteur.

§ 5 INSTALLATION D'UNE OCCULTATION DES TUBES

Prévoir un dispositif pour couvrir les tubes pendant les périodes de non-utilisation du capteur, par exemple un drap léger qui ne risque pas d'endommager les tubes en cas de coup de vent. Il est indispensable de confectionner un support spécifique pour l'occultation, fixé sur le cadre mobile, afin que le drap ne repose pas directement sur les tubes

SECTION VIII FONCTIONNEMENT ET UTILISATION

La puissance disponible permet d'effectuer trois cuissons de quatre kilogrammes de légumes par jour

§ 1 FONCTIONNEMENT ET UTILISATION DU CALODUC DU SECOND ETAGE

A) L'EAU

La qualité de l'eau

Le caloduc est une chaudière à vapeur, et comme pour toutes les chaudières le problème de la qualité de l'eau est très important. Il n'est pas question ici de le traiter de façon exhaustive, par manque de place et par manque de recul.

Eliminer au maximum les impuretés en filtrant l'eau, par exemple avec des filtres en papier, et en vidangeant la chaudière périodiquement pour éliminer les boues. Lors des vidanges, conserver et observer attentivement les écoulements d'eau, ils peuvent fournir de précieuses indications sur ce qui se passe à l'intérieur. En cas d'eau calcaire, ajouter un verre de vinaigre de temps à autre, et vidanger plus souvent le second étage.

remplissage du caloduc

Le volume total du caloduc du second étage est de 1,5 litre environ, la quantité d'eau à introduire est de 0,75 litre environ.

Introduction de l'eau dans le caloduc : utiliser un entonnoir emmanché dans une chute de tuyau Ø 13 mm, voir section VI "Plomberie"

Ouvrir préalablement la purge sur le caisson. Maintenir l'entonnoir surélevé par rapport au collecteur. Les joints des raccords 3/8 du circuit alimentation/vidange étant percés au diamètre 5 ou 6 mm, l'écoulement est assez lent.

Refermer ensuite la purge sur le caisson isolant. On peut préférer fermer la purge une fois que la vapeur commence à sortir ; c'est théoriquement très bien, mais ça ne semble pas indispensable.

En fin de journée

Lorsque le caloduc du second étage se refroidit, il entre en dépression, ce qui risque d'endommager le manomètre. Une bonne solution est d'installer un mano-vacuomètre, mais à défaut, il est toujours possible d'ouvrir la purge pour équilibrer les pressions.

Contrôle de la quantité d'eau

il n'est pas possible de contrôler la quantité d'eau dans le caloduc (ce serait en principe possible, en installant un niveau à réfraction comme c'est de règle sur les chaudières industrielles, mais ne commençons pas à compliquer la situation); en cas de doute la seule solution est de vidanger, puis de recharger. Utiliser un récipient gradué, par exemple un vieux biberon, pour faire des mesures précises.

Ajout d'antigel ?

La question n'est pas à l'ordre du jour immédiat, mais il serait utile de la traiter.

B) EN COURS DE CUISSON

Le conducteur vérifie de temps à autre la pression au manomètre, qui doit être de l'ordre de 3 à 4 bar manométriques

Si la pression tend à dépasser cette valeur, une solution consiste à recouvrir partiellement les tubes du premier étage (ce qui est un non sens pour un capteur solaire!).

De temps à autre, insérer la sonde du thermomètre dans le petit tube de cuivre prévu à cet effet, relever la température et la pression, à comparer aux valeurs indiquées sur la table de vapeur affichée sur le cuiseur. Compte tenu de possibles imprécisions de lecture, il n'y a pas lieu de s'alarmer dans le cas d'un écart de 10 ou 12 degrés par rapport à la théorie, mais un écart plus important peut signifier un à-sec de la chaudière : la température augmente, mais la pression descend vers zéro.

C) L'À-SEC DE LA CHAUDIERE

Les causes

Des excès de pression répétés provoquant des levers de soupape répétés peuvent entraîner un à-sec, mais alors le conducteur ne s'en étonnera pas, la situation est assez franche.

Les très faibles fuites sont beaucoup plus insidieuses. La vapeur est un gaz, donc invisible. Une faible fuite par exemple sur la soupape du côté vidange peut être difficilement détectable ; le métal étant à plus de 100 °, l'eau liquide qui s'échappe se vaporise instantanément. Et il y a aussi le risque de fuite à l'intérieur du caisson isolé.

Les fuites de vapeur font partie des affres rituels du débutant ; après quelques jours ou bien une ou deux semaines, ce n'est plus qu'un souvenir.

Les conséquences

En principe le cuiseur ne subit aucun dommage :

- les caloducs du premier étage et le collecteur sont conçus pour supporter ce cas de figure, la température de stagnation pouvant atteindre 200° C
- la plaque à vapeur est suffisamment éloignée pour ne pas être soumise à la chaleur, et de plus elle n'a rien à craindre, pas plus que l'isolation (la température d'ignition du coton est de l'ordre de 400° C)
- le flexible de liaison, s'il est en caoutchouc "6bar/165°C" pourrait ne pas apprécier. Il est de toutes façons prudent d'avoir un flexible de rechange, équipé de ses raccords (qui partirait faire un long voyage sans sa roue de secours?)

Les remèdes

- une impossibilité : recharger immédiatement la chaudière par gravité, avec l'entonnoir. En effet, compte tenu du niveau de température du collecteur, l'eau qui y est introduite est instantanément vaporisée, le mélange eau-vapeur reflue et refoule l'eau fraîche introduite dans l'entonnoir.

- la bonne solution consiste à attendre que le collecteur soit à une température inférieure à 100° C, notamment en couvrant les tubes avec un drap

- la solution de la pompe alimentaire, du type de celle proposée par ailleurs dans la documentation

de soleil-vapeur, est techniquement tout à fait valable (néanmoins, l'introduction de l'eau doit être assez lente afin de limiter les chocs thermiques sur les soudo-brasures du collecteur), mais au fur et à mesure de la maîtrise de son art par le conducteur du cuiseur, ce cas de figure deviendra peu à peu exceptionnel. L'acquisition d'une pompe alimentaire est à considérer comme superfétatoire.

§ 2 FONCTIONNEMENT ET UTILISATION DU CAISSON ISOLE

A) LA QUESTION DU TRANSFERT THERMIQUE ENTRE LA PLAQUE À VAPEUR ET LE RÉCIPIENT

Dans le cas du cuiseur présenté ci dessus, il s'agit d'une question primordiale. Sur la Terre, quelle que soit la latitude ou la longitude, et depuis que l'homme a conquis le feu, le niveau de température disponible pour la cuisson alimentaire est au moins de plusieurs centaines de degrés sinon plus : 600 à 800 ° C environ pour un feu de bois, et 1850 °C pour la flamme du gaz. Un tel niveau de température est totalement inutile, mais il n'y a pas vraiment d'alternative à une température moins élevée ; et après tout, la nature travaille gratuitement pour fournir du bois et du gaz....

Dans le cas du cuiseur solaire, nous disposons d'un niveau de température beaucoup plus faible, de l'ordre de 140° C. C'est tout à fait suffisant pour faire bouillir de l'eau à 100°, mais sans les facilités permises par la "gabegie" usuelle des hauts niveaux de température.

Il va falloir se plier aux lois de la thermique, qui ne sont absolument pas négociables, notamment concernant

- le transfert thermique : la puissance du transfert thermique est d'autant plus importante que la différence de température est élevée (d'où la facilité d'un niveau de température élevé). Ici la différence de température est faible, il est donc indispensable de veiller au bon passage de la chaleur entre la plaque et le fond du récipient : planéité, propreté, film d'huile.

- la maîtrise des pertes : pour élever la température d'un récipient et de son contenu, il faut que l'apport de chaleur soit plus important que les pertes thermiques. Dans le cas d'un feu de bois ou d'une flamme à 1850 °, il n'y a guère de problème, et même sans mettre de couvercle, l'eau finira bien par bouillir. Avec un cuiseur comme proposé ci dessus il est inutile d'essayer de faire bouillir de l'eau sans mettre de couvercle; et même en mettant un couvercle, les pertes thermiques à travers les parois du récipient sont trop importantes. Le caisson isolant est donc indispensable (on pourrait aussi doubler ou tripler la surface du capteur...)

Il ne faut pas s'inquiéter pour autant : la technique de cuisson à la vapeur dans des marmites à double fond de plusieurs centaines de litres, fonctionnant avec des températures du même ordre de grandeur que pour le cuiseur, est très largement répandue, par exemple dans les chocolateries, les confiseries (la chaleur est parfaitement répartie et le sucre ne brûle pas...), et ainsi que dans la restauration collective. C'est une technique parfaitement maîtrisée, mais peu connue du grand public.

B) LE CHOIX DU RÉCIPIENT DE CUISSON

Pour un cuiseur tel que décrit ci dessus, un récipient de 6 à 8 litres convient très bien.

Il faut utiliser le récipient le plus petit possible : dans le cas d'un récipient utilisé seulement à moitié, toute la partie non utilisée du récipient est source de pertes thermiques, et malgré l'isolation du caisson, cela va à l'encontre du mot d'ordre de "traque des pertes thermiques".(toutefois en cas de cuisson à l'eau, utiliser un récipient suffisamment grand et haut rempli seulement partiellement pour le manutentionner en sécurité)

Exemple de dimension de récipient : diamètre 22 cm, hauteur 20 cm, soit 7,6 litres.

Le récipient le plus simple et le moins lourd conviendra très bien, à condition toutefois que le fond soit bien plan, c'est à dire du type "électrique". En France en 2015, la quasi-totalité des récipients de cuisson disponibles dans le commerce sont à fond "électrique". (Eviter pour le moment les récipients électriques à fond extérieur ou intérieur émaillé : que vaut le transfert thermique à travers l'émail ?)

Couvercle du récipient

Les couvercles en verre conviennent très bien. Ils ont généralement un petit évent de vapeur, par lequel il est possible de glisser la sonde du thermomètre. Veiller à ce qu'il soit possible d'installer l'évent de vapeur , c'est généralement possible dans le cas des couvercle en verre avec une poignée-bouton. Le couvercle en verre permet de surveiller (furtivement) la cuisson, ce qui d'ailleurs est totalement inutile : vu le niveau de température de la plaque vapeur, "ça n'attache pas".

Un couvercle métallique convient aussi, sous réserve que son pourtour soit profilé de façon à faire retomber les gouttes de condensation à l'intérieur du récipient, et de ne pas les laisser s'écouler à l'extérieur du récipient dans l'isolation.

Modification des anses et poignées.

Afin de faciliter la mise en place de l'isolation à l'intérieur du caisson, il est nécessaire de couper les poignées du récipient en laissant deux petits moignons, que l'on perce, et dans lesquels on passe des petits câbles métalliques dits "câbles d'horlogerie" pour remplacer les poignées.

Faire un dispositif analogue sur le couvercle

Event de vapeur

C'est un petit tuyau souple du type "vapeur", Ø 6 ou 8 mm, emmanché dans une chute de tube de cuivre, traversant le couvercle et débouchant à l'air libre au dessus du couvercle du caisson.

C) INSTALLATION DU RÉCIPIENT DANS LE CAISSON :

le récipient

- vérifier la propreté de la plaque chauffante et du fond du récipient : un grain de sable à lui seul -et cette fois, ce n'est pas une allégorie- peut compromettre le transfert thermique : la pression monte... et le récipient ne chauffe pas .

- répandre une cuillerée à soupe d'huile sur la plaque chauffante ; n'importe quelle huile, alimentaire ou non, convient. Par le phénomène de capillarité, l'huile reste entre la plaque et le récipient, et assure le transfert thermique là où le contact entre les métaux du récipient et de la

plaque chauffante laisserait à désirer.

- tourner quelque peu le récipient dans un sens puis dans l'autre, puis tenter de le soulever légèrement. L'opérateur devrait sentir une certaine "adhérence" du récipient sur la plaque.

L'isolation

- Installer l'étage intermédiaire du caisson

- compléter l'isolation entre le caisson et le récipient, y compris au dessus du couvercle : tissus de coton, mais aussi papier journal froissé conviennent très bien ; Il est totalement inutile de tasser, le propos est seulement d'empêcher l'air de circuler et de refroidir le récipient.

Installer l'évent, puis le couvercle.

D) MONTEE EN TEMPERATURE

Comme pour toute cuisson alimentaire, il convient de distinguer la phase de montée en température, et la phase de cuisson proprement dite.

Pendant la montée en température, toute l'énergie thermique disponible est requise, il n'y en aura jamais de trop. C'est une phase qui paraît toujours trop longue, où l'on se mettrait à regretter les bouteilles de gaz. L'opérateur impatient peut se consoler en surveillant son thermomètre, qui est d'ailleurs sans grande utilité sauf à rassurer le novice. En observant l'évent de vapeur ou en portant l'oreille contre le caisson, l'opérateur sait parfaitement ce qui s'y passe. Surtout, ne pas ouvrir le couvercle : c'est inutile, ça "n'attache pas".

E) MAINTIEN EN TEMPERATURE

Une fois que le récipient et son contenu sont à température de cuisson, la quantité d'énergie thermique à leur fournir est faible : il suffit de compenser les inévitables pertes thermiques, qui sont très faibles en raison de l'isolation.

Le conducteur peut alors soit laisser le capteur en l'état ; l'eau contenue dans le récipient ne s'évaporerait que plus rapidement, mais c'est inutile ; soit couvrir partiellement les tubes sous vide.

La marmite norvégienne

Supposons un passage nuageux. L'apport d'énergie thermique se tarit, mais compte tenu de l'isolation, le niveau de température varie très faiblement à l'intérieur du récipient (l'ordre de grandeur : quelques degrés en 15 minutes). *Les aliments continuent à cuire*, légèrement moins vite certainement, mais la cuisson continue : c'est le procédé dit de "marmite norvégienne", où le récipient, une fois à température, est retiré du foyer et mis dans une caisse isolée.

Ce pourrait être la réponse la plus intelligente au surplus d'énergie disponible après la montée en température : retirer le récipient, et démarrer la cuisson suivante.

Mais ne compliquons pas les choses d'emblée.

F) CUISSON A L'EAU ET CUISSON A LA VAPEUR

Dans la nature, l'eau est le matériau le plus difficile à chauffer. Pour chauffer 1 gramme d'eau, 4,2 Joule sont nécessaires, alors que pour chauffer 1 gramme d'aluminium 0,94 Joule suffisent, et pour le laiton 0,38 Joule.

Soit une cuisson de tubercules. L'opérateur a le choix entre deux solutions

- introduire les tubercules dans le récipient, puis les recouvrir d'eau
- introduire un peu d'eau dans le récipient, sur deux ou trois centimètres d'épaisseur, puis y introduire les tubercules.

Dans le premier cas, il faut chauffer l'ensemble de l'eau à grand renfort d'énergie. L'eau a ici principalement un rôle de transfert thermique

Dans le second cas, une fois la petite quantité d'eau mise en ébullition, la vapeur se dirige vers les tubercules en haut du récipient, cède son énergie thermique (d'où la cuisson), les condensats redescendent au fond du récipient, et le cycle recommence, comme dans un caloduc.. L'eau a aussi un rôle de transfert thermique, mais dans des conditions différentes.

Pourquoi est-ce généralement la première solution qui est adoptée ? Il a probablement des explications : avec un niveau de température élevé, toute l'eau peut s'évaporer, et alors "ça attache". Néanmoins, dans un contexte de diminution des disponibilités en énergie thermique de cuisson, la cuisson à l'eau traditionnelle est un luxe souvent complètement inutile, voire une gabegie supplémentaire

G) CUISSON EN AUTO-CUISEUR

Dans les "cocottes minute", la pression, régulée par la soupape-poids, est généralement de 0,5 bar, ce qui correspond, d'après les tables de vapeur, à une température de 112° C à l'intérieur du récipient. Il en résulte une diminution du temps de cuisson.

La plaque à vapeur permet de porter une cocotte-minute à température de fonctionnement, et c'est d'autant plus intéressant que, dans le cas des autocuiseurs, la consigne des "2 centimètres d'eau en fond de récipient", ainsi que la non ouverture du couvercle, sont généralement respectées.

La cuisson en autocuiseur est donc une option disponible pour le cuiseur solaire, mais ne compliquons pas les choses d'emblée.

§ 3 FONCTIONNEMENT GENERAL DU CUISEUR

A) SIX HEURES PAR JOUR ?

Le cuiseur a été conçu et construit pour fonctionner pendant six heures par jour, de 9h00 à 15 h00 solaires. Quand les boosters seront installés (grands miroirs, à installer de part et d'autre du capteur) la journée de travail pourra même être rallongée d'une heure le matin, et une heure le soir.

Qu'il fonctionne ou non, le capteur ne s'use pas, il ne coûte rien, et quand il fonctionne, il rapporte.

B) LE MODE D'EMPLOI

Le seul mode d'emploi valable est celui que chacun rédige à son propre usage en fonction de sa propre expérience : les autres ne sont lus qu'à moitié, ou mal appliqués. C'est à chaque utilisateur, ou à chaque groupe d'utilisateurs avec l'aide de son moniteur, de s'atteler à ce travail de rédaction, sachant qu'il n'y a aucun risque sauf de mettre à sec le caloduc, ce qui est un peu contrariant psychologiquement, mais sans dommage technique.

SECTION IX PERFORMANCES ET CONTRÔLE DES PERFORMANCES

§ 1 TEMPÉRATURE, PRESSION, CHALEUR LATENTE ET CASSEROLE D'EAU

La relation température -pression

Lorsque l'eau est soumise à l'action de la chaleur, sa température augmente, puis elle se transforme en vapeur. Si l'eau est enfermée dans un récipient étanche et suffisamment résistant, la pression de la vapeur augmente avec la température.

Il existe une relation précise entre la température et la pression. Sur une chaudière, il suffit de disposer d'un manomètre pour connaître à la fois la pression et donc aussi la température de la vapeur.

Ci contre : une table de vapeur. La pression indiquée dans cette table est la pression manométrique, c'est à dire celle lue sur un manomètre, qui indique la différence de pression entre la pression contenue dans un récipient, et la pression atmosphérique qui est de l'ordre de 1 bar (autour de 1013 millibar au niveau de la mer, selon les conditions météorologiques)

La notion de chaleur latente

Pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, l'eau (comme tous les autres liquides) a besoin d'une très grande quantité de chaleur, qui sert non pas à élever la température, mais seulement à passer d'un état à l'autre, de l'état liquide à l'état gazeux : lorsque l'on dispose d'eau à 100°, il faut pour la vaporiser (et sans changer sa température) environ 7 fois plus de chaleur qu'il n'en a fallu pour la passer de 20 à 100° C ; c'est une chaleur cachée, dite "chaleur latente", alors que la "chaleur sensible" est celle qui élève la température de l'eau.

On peut se représenter le phénomène de chaleur latente en imaginant que chaque molécule d'eau-vapeur quitte le liquide en emmenant avec elle une grande quantité de chaleur cachée.

Lorsque la vapeur retourne à l'état liquide en se condensant le long d'une surface froide (par exemple : le dessous de la plaque à vapeur), elle restitue la chaleur latente qu'elle avait prélevée : l'eau, de par son changement de phase, est un excellent fluide de transfert thermique.

La pression de la vapeur d'eau ne nous est d'aucun intérêt, c'est pour nous un dommage collatéral, mais pour d'autres utilisations de la vapeur, par exemple pour fabriquer de l'énergie mécanique et ensuite de l'électricité, cette pression est du plus haut intérêt : ainsi toutes les centrales électriques, qu'elles soient nucléaires ou à énergie fossile, utilisent la vapeur comme fluide énergétique. La vapeur est le fluide énergétique le plus utilisé dans le monde.

pression mano- métrique bars	tempé- rature ° Celsius
0	100.0
0.5	111.6
1	120.4
1.5	127.6
2	133.7
2.5	138.0
3	143.7
3.5	147.2
4	152.0
4.5	155.6
5	158.9
5.5	162.0
6	165.0
6.5	167.8
7	170.2
7.5	173.0
8	175.4

Il serait possible d'utiliser d'autres fluides thermiques, notamment l'huile, mais il s'agit là d'un autre vaste domaine que soleil-vapeur.org n'a pas abordé (et qu'il ne faudrait aborder qu'avec beaucoup de circonspection)

Dans une casserole, l'eau est à la pression ambiante, c'est à dire environ 1 bar absolu, soit 0 bar relatif. Lorsque l'eau bout et se vaporise, à 100° C, on a beau augmenter l'apport d'énergie thermique, la température de l'eau n'augmentera pas ; toute l'énergie supplémentaire ne sert qu'à évaporer encore plus d'eau.

Ainsi dans un récipient où cuisent des aliments à l'eau ou à vapeur à pression atmosphérique, la température ne dépasse jamais 100° C : cuissons à l'eau, braisages, pot au feu, riz, etc...Une fois que la température est atteinte, si l'apport d'énergie est trop important au vu des pertes thermiques du moment, toute l'eau contenue dans le récipient s'évapore et "ça attache" au fond du récipient.

Dans le cas d'une cuisson à l'huile, il est possible de monter jusqu'à 170° C, mais c'est là un domaine inaccessible au capteur à tubes sous vide ; il faudrait alors utiliser une autre technologie de capteur solaire, qui permet des niveaux de température plus élevés.

§ 2 LES INSTRUMENTS DE MESURE

Manomètre et mano-vacuomètre

Le manomètre indique la pression atmosphérique relative, c'est à dire la différence entre la pression du récipient et la pression absolue. Dans le cas du cuiseur à caloduc, les caloducs se mettent en dépression lorsqu'ils se refroidissent ; il serait donc préférable d'installer un **mano-vacuomètre** sur la plaque à vapeur, au lieu d'un manomètre qui risque de ne pas apprécier d'être soumis à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

Le thermomètre

Pour notre usage, un thermomètre digital à sonde K est un très bon choix.

La sonde est à introduire

- soit sur le collecteur, dans le petit tube de cuivre débouchant près du tube du collecteur
- soit dans le récipient de cuisson, par exemple à travers un petit trou disponible dans le couvercle en verre, ou bien à pratiquer dans un couvercle en tôle. Il est inutile de faire descendre la sonde jusqu'au liquide : du fait de l'isolation, la température relevée à une dizaine de centimètres sous le couvercle, est identique à la température du contenu du récipient.

La sonde K est un thermocouple ; pour plus de renseignements, consulter l'article "thermocouple" sur Wikipedia.



Le chronomètre, désormais disponible sur tous les téléphones portables

§ 3 LE TEST DU LITRE SUPPLEMENTAIRE D'EAU BOUILLANTE

Ce test a pour but de mesurer la puissance thermique disponible du cuiseur

Le test consiste à

- porter à ébullition environ deux litres d'eau
- rajouter un litre d'eau froide
- mesurer le temps de retour à l'ébullition
- effectuer les calculs

C'est une démarche quelque peu analogue à celle de la "double pesée".

pour effectuer un test précis

- noter la température de l'eau froide
- mesurer la température à l'intérieur du récipient, et arrêter la mesure à 95 ou 98° C. On constate en effet que la courbe de température "s'aplatit" lorsqu'elle atteint les 100° C, et l'opérateur ne peut savoir quand exactement il convient d'arrêter le chronomètre, d'où des erreurs de lecture très importantes. En haute altitude la pression atmosphérique est moins importante, le niveau de température d'ébullition est donc moins élevé ; faire quelques mesures préalables de températures d'ébullition, puis effectuer la mesure à quelques degrés en dessous de ce seuil.

Effectuer les calculs

Soit un litre d'eau froide à 22° C, rajouté au contenu du récipient, et un retour à la température de 96° C après 12 minutes et 45 secondes.

Temps de retour : $(12 * 60) + 45 = 765$ secondes

différence de température : $96° - 22° = 74°$ C

La chaleur massique de l'eau est de 4,18 Joule par gramme et par degré Celsius (le Joule est l'unité d'énergie thermique, mécanique, électrique....)

Pour effectuer notre opération, la quantité d'énergie nécessaire aura été de
 $1\ 000\text{ grammes} * 4,18\text{ Joule} * 74°\text{ C} = 309\ 320\text{ Joule}$

Cette opération s'est effectuée en 765 secondes.

L'unité de puissance est le Watt ; une machine qui produit ou consomme ou produit Un Joule par seconde a une puissance de Un Watt.

Les 309 320 Joule ont été fournis par le cuiseur en 765 secondes, soit une puissance de
 $309\ 320\text{ Joule} / 765\text{ secondes} = \mathbf{404\ Watt}$

Il s'agit de la **puissance effectivement disponible pour l'utilisateur**. Ce chiffre tient compte de toutes les pertes, depuis celles des caloducs du premier étage jusqu'à celles du couvercle du caisson isolant, alors que habituellement la puissance indiquée d'une machine fait référence à la puissance *en entrée*. Ainsi, une perceuse de "500 Watt" consomme bien 500 Watt, mais seule une partie de l'énergie consommée se retrouvera à l'extrémité de la mèche – pourtant celle là seule intéresse l'utilisateur.

L'intérêt du test du litre d'eau bouillante supplémentaire est de fournir un bon ordre d'idée de la puissance d'un capteur. S'il s'agit de comparer des capteurs entre eux, il convient de tenir compte de l'ensoleillement et de l'heure à laquelle est effectué le relevé (effet cosinus avant midi et après midi solaire). Des renseignements sur le sujet sont disponibles dans la documentation de soleil-vapeur.org. Pour la mesure de l'ensoleillement : voir Daystar Solar Meter chez Daystarpv.com. En connaissant la puissance du rayonnement solaire, il est possible de calculer le rendement thermique de l'installation.



SECTION X AMELIORATIONS ENVISAGEABLES

De nombreuses variantes et améliorations sont envisageables, toutefois dans un premier temps il est préférable de se cantonner à une version simple comme celle présentée ici, et de bien la prendre en main.

Le caloduc du second étage n'a pas fait l'objet d'études du type : nature et quantité de liquide, antigel, vide partiel....

Quelle serait la taille maximale du cuiseur ? Autrement dit : quelle est la capacité de transfert thermique maximum de la plaque chauffante ?

Serai-il possible d'installer une plaque chauffante à chaque extrémité du collecteur ? Une fois qu'un récipient est monté à température, la quantité d'énergie qu'il lui est nécessaire est minime, d'autant que le récipient est dans un caisson isolé. Le capteur est alors notablement sous employé. Serait-il possible de mettre en chauffe un second récipient ?

Le caisson isolant pourrait être en tôle légère ; il serait alors souhaitable de lui donner une forme ovale et non pas ronde, pour faciliter la préhension des poignées du récipient à l'intérieur du caisson.

Le tube du collecteur pourrait être en acier, les logements des bulbes des caloducs du premier étage étant en cuivre et soudés à la brasure laiton sur le collecteur en acier.

Renforcement de la puissance du capteur : installer un réflecteur mobile et orientable, articulé sur la rive Ouest du cadre mobile pendant la matinée, et sur la rive Est durant l'après midi. Il appartient au conducteur du capteur de le réorienter périodiquement, de façon à ce que le flux de rayons réfléchis soit dirigé, sans grande précision, sur les tubes à vide.

SECTION XI QUELQUES ASPECTS NON TECHNIQUES

§-1 ENERGIE SOLAIRE ET CONTRAINTES

Les énergies traditionnelles (bois/charbon....) ont entre autres comme caractéristiques d'être disponibles selon la volonté de l'utilisateur, pour peu qu'il puisse se les procurer : je peux allumer un feu de bois et cuire des aliments quand je veux -le jour, la nuit...-, où je veux - dans ma cuisine, dans ma cour, en voyage avec une bouteille de gaz...-, comme je veux – petit feu, grand feu... Avec l'énergie solaire, il n'en va pas de même : l'utilisateur est soumis à la bonne volonté du soleil, et le stockage d'énergie thermique, dans les petites puissances qui nous intéressent, est illusoire ; voir à ce sujet la rubrique "énergie et effet d'échelle", dans la 5ème partie de la documentation. Il en résulte, pour l'utilisateur, une impression de soumission et de régression par rapport à "avant".

Qu'il s'agisse de bois ou de charbon, que leur approvisionnement soit gratuit ou payant, l'utilisateur s'est habitué depuis des temps immémoriaux à bénéficier sans s'en rendre compte du travail de mise en conserve de l'énergie solaire sous forme de bois ou de charbon, effectué gratuitement par la nature

Les habitudes sont faites pour être changées, mais le changement sous contraintes est rarement euphorique. Dans le cas de l'énergie solaire -qu'il s'agisse du capteur à caloducs ci dessus ou d'un autre-, il serait naïf d'imputer les inconvénients à la mauvaise volonté du soleil. La vraie contrainte proviendra de la disponibilité décroissante des diverses "sources" d'énergie usuelles.

§ 2 QUELQUES ASPECTS ECONOMIQUES

Il s'agit ici de donner quelques ordres d'idées, c'est bien sûr au lecteur qu'il appartiendra de faire ses propres évaluations.

En 2015, le prix d'un capteur de 18 tubes avec son collecteur était de l'ordre de 500 Euros toutes taxes, hors transport.

Le prix des éléments à confectionner (support, plaque chauffante, caisson isolé...) peut varier du simple au décuple, selon qu'il s'agit d'une auto-construction par l'utilisateur, ou d'un prix de prototype exécuté par une entreprise.

Le chiffre de 1200 Euros pourrait être un point de départ pour le raisonnement.

La durée d'amortissement technique s'étend sur plusieurs années ; il serait illusoire ici de raisonner à long terme, retenons le chiffre de quatre à cinq ans. Les pièces de rechange, sur cette période, pourraient être un ou deux tuyaux souple entre le collecteur et la plaque chauffante, et quelques tubes sous vide à 15 ou 20 euros pièces en cas de casse. (rappel : le capteur continue à fonctionner, même en l'absence d'un ou plusieurs tubes)

Dans le cas d'une installation énergétique solaire, la somme déboursée lors de l'achat correspond, sur un plan économique, au prix du matériel PLUS le prix de l'énergie équivalente disponible pendant toute la durée de vie du matériel. Pour faire une analogie, c'est un peu comme si l'acheteur d'un véhicule automobile destiné à rouler plus de 200 000 km payait en même temps et d'un seul

coup tout le carburant qu'il va consommer pendant la durée de vie de son véhicule, soit une quinzaine de tonnes de carburant.

Enfin, sachant que le capteur est destiné à fonctionner six à sept heures par jour, pendant 200 à 300 jours par ans, (trois cuissons de quatre kg de légumes par jour), quel est le coût du combustible traditionnel équivalent ?

Pour ne pas trop embrouiller le raisonnement, on s'abstiendra ici d'aborder les notions de déforestation ou de limitation de production de gaz à effet de serre.

§ 3 QUEL(S) MODÈLE(S) D'UTILISATION DU CAPTEUR ?

Pour des raisons inhérentes à la thermique et aux effets d'échelle (voir la rubrique consacrée à ce sujet dans la 5ème partie de la documentation), les dispositifs à énergie solaire doivent avoir une taille minimum pour fonctionner correctement, et cette taille est souvent au-delà de celle nécessaire pour satisfaire les besoins d'un utilisateur individuel.

A priori, le cuiseur à caloducs étagés serait à usage professionnel du type micro entreprise ou artisanat plutôt qu'à usage familial, à tout le moins à usage collectif .

On pourrait faire ici l'analogie avec le four banal du Moyen Age : une famille paysanne n'était pas en mesure d'avoir à elle seule l'utilité d'un four à pain, en raison du montant de l'investissement initial, et de la quantité de fagots à utiliser pour chaque fournée quelque soit la quantité de pain à cuire ; le même raisonnement s'applique au moulin banal. Moulin banal et four banal ne pouvaient être que d'utilisation collective. Mais c'est le seigneur local, c'est à dire le détenteur du pouvoir social et politique local, qui était propriétaire du four et du moulin.

Qu'en sera-t-il des dispositifs à énergie solaire, qui pour être rentables doivent être d'usage collectif ? Appartiendront-ils à des personnes privées, avec revente de l'utilisation, ou bien seront-ils utilisés de façon partagée, à l'instar des moulins à mil installés par des groupes villageois ? Et quelle sera l'influence de la raréfaction croissante des disponibilités en énergie thermique de cuisson ?