

# Construction d'une Douche Solaire au Centre d'Hébergement "Mi Casa" en Bolivie

Laurent Koechlin<sup>1</sup>, Isaac Quisocala<sup>2</sup> & Marceau Limousin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Association Phébus-Ariège, France

<sup>2</sup> Association Bolivia Inti, Bolivie

<sup>3</sup> Association Les Enfants de Kaïdara, France (limousinm@yahoo.fr)

## Résumé

Cet article décrit la conception et la construction d'un prototype de douche solaire installé en février/mars 2005 au projet "Mi Casa", une association bolivienne qui s'occupe des enfants en difficulté à El Alto de La Paz. L'eau est chauffée grâce à 3m<sup>2</sup> de capteur thermique constitué d'une échelle de cuivre qui se trouve dans une caisse isolée et fermée par une vitre. L'effet de serre permet de chauffer le fluide caloporteur qui circule naturellement dans le circuit de chauffage et cède sa chaleur à l'eau sanitaire en passant dans un échangeur de chaleur. Le système a fonctionné dès les premiers tests. Il permet d'assurer la totalité des besoins en eau chaude du centre d'hébergement "Mi Casa" (douche, cuisine) durant la saison sèche (environ 9 mois sur 12).

## 1 Introduction

L'origine de ce projet avec le centre d'éducation "Mi Casa" réside dans une première collaboration effectuée en novembre/décembre 2003 en Bolivie par Virginie Sellet et Marceau Limousin de l'association Les Enfants de Kaïdara (LEK), et la rencontre avec la directrice du centre, Liliam Aliendre.

Créée en 1990 et soutenue financièrement par une association espagnole, le projet "Mi Casa" travaille avec les enfants des rues et les jeunes travailleurs. Le projet a plusieurs espaces d'accueil et travaille avec différentes couches de la population infantile de la ville de El Alto, banlieue défavorisée de la capitale bolivienne La Paz : une dizaine d'enfants vivent de façon permanente à la maison du quartier de "Santiago II"; une cinquantaine de jeunes travailleurs viennent déjeuner, jouer, se doucher dans l'auberge du quartier de "La Ceja"; et la maison du quartier "Nuevo Horizonte" abrite elle aussi une dizaine d'enfants et dispose d'ateliers de couture et de boulangerie où les jeunes apprennent le métier. Enfin, à une trentaine de kilomètres du centre ville, "Mi Casa"

possède un terrain doté pour l'instant uniquement d'une petite pièce et d'un puit; c'est un lieu de nature où les jeunes viennent passer des loisirs, plantent des arbres et s'en occupent.

Au cours de ce premier voyage, l'association LEK a installé deux fours solaires dans la maison du quartier de "Santiago II", a formé les cuisinières du centre à la cuisine solaire, et a proposé des animations solaires aux jeunes (<http://lesenfantsdekaidara.free.fr/Bolivie2003.html>). Un suivi de six mois assuré par Miriam Illanes, cuisinière solaire professionnelle de l'association Bolivia Inti, a permis aux cuisinières du projet "Mi Casa" de s'approprier l'outil de cuisson. Une demande de quatre fours solaires supplémentaires destinés aux autres espaces d'accueil du projet "Mi Casa" a été formulée en Juillet 2004. LEK a assuré cette installation avec l'aide de l'association Bolivia Inti. Les jeunes du projet "Mi Casa" ont participé à la construction des quatre cuisinières lors d'un stage organisé par Bolivia Inti dans la ville de El Alto, au cours du mois d'octobre 2004.

Lors de ce premier voyage, la directrice et les éducateurs ont tout de suite montré un grand intérêt pour l'énergie solaire. Liliam Aliendre a fait part des dépenses d'électricité pour le chauffage de l'eau destinée aux douches des jeunes du centre. Les dépenses mensuelles pour l'eau chaude de l'auberge de "La Ceja" s'élèvent à environ 100 dollars pour une douzaine de douches par jour, ce qui représente une somme importante pour le projet "Mi Casa". La construction d'une douche solaire pouvait répondre aux problèmes évoqués par "Mi Casa" et une collaboration est apparue utile.

L'association Phébus Ariège a apporté son soutien à ce projet. Les actions de Phébus Ariège étaient jusqu'à présent cantonnées à la région Midi Pyrénées (espaces info énergie et rallyes de véhicules solaires). Le président de l'association, Laurent Koechlin, est lui même venu en Bolivie pour apporter sa grande expérience au projet. bénéficier le projet de son expérience en énergie solaire.

L'association Bolivia Inti a, elle-aussi, participé à la construction, notamment avec la participation de Isaac Quisocala, technicien de l'association qui avait déjà expérimenté la construction de modèles de douches solaires en Bolivie et au Chili. Son expérience dans l'étanchéité des différents raccords a été très importante, ainsi que ses connaissances techniques en général, et la connaissance du marché local.

Cet article est organisé de la manière suivante : la deuxième section présente le contexte général du projet; la troisième concerne la conception et la construction du système et explique le fonctionnement de la douche solaire. La section 4 concerne les premières expérimentations et les premières conclusions relatives au bon fonctionnement de la douche solaire. Finalement, nous présentons le budget détaillé du projet et mettons à la disposition de chacun les plans des différentes parties de la douche solaire.

## **2 Contexte général**

### **2.1 Présentation du groupe de travail**

La construction de la douche solaire à El Alto est l'œuvre d'un groupe d'une demi-douzaine de personnes issues de plusieurs associations (Figure 1) :

- Marceau Limousin et Virginie Sellet (Les enfants de Kaïdara)
- Laurent Koechlin (Phébus Ariège)
- Isaac Quisocala et Miriam Illanes (Bolivia Inti Bolivie)
- Ximena Campos Duran (Bolivia Inti Chili)
- Ismaël (un jeune du projet "Mi Casa")
- Nous avons aussi commandé des travaux à un plombier/maçon ainsi qu'à un soudeur. Ces artisans sont familiés du Projet "Mi Casa" car sollicités pour les travaux d'aménagement et d'entretien des différentes maisons du Projet "Mi Casa".

## 2.2 Cahier des charges

Le but est de chauffer de l'eau en utilisant l'énergie fournie par le soleil pour diminuer la note d'électricité. Le stockage doit permettre de se doucher à n'importe quelle heure de la journée, et d'assurer au moins une douzaine de douches par jour. Nous voulons que le dispositif soit fiable et durable dans le temps. Dans un souci de simplicité et de fiabilité, nous avons choisi de construire un système fonctionnant en thermosiphon; la circulation est naturelle et nous n'avons pas besoin d'installer de circulateur. Ceci implique que le réservoir d'eau à chauffer se trouve plus haut que les capteurs.

## 2.3 Choix du site à équiper

Il y avait plusieurs sites possibles à équiper en premier, c'est celui de La Ceja que nous avons choisi pour différentes raisons : c'est ici que se douchent le plus de jeunes; ce site était techniquement plus facile à installer que les autres. Il présentait un toit relativement bien orienté juste au dessus des douches (Figure 1), et l'emplacement en ville près des nombreuses boutiques de fournitures diverses permettait une organisation plus facile.

# 3 Conception et construction du système

## 3.1 Conception du système

La conception de la douche solaire a commencé en France plusieurs mois avant le départ en Bolivie. Elle s'est poursuivie via courrier électronique entre Laurent Koechlin encore en France et Marceau Limousin déjà sur place ce qui a permis d'intégrer les contraintes locales aux idées développées en France (orientation et solidité des toits, présence et prix des matériaux ...). Le modèle final a émergé une fois toute l'équipe réunie en Bolivie.



Figure 1: A gauche : la cour de l'auberge de La Ceja, avant construction : au fond on distingue le toit orienté nord-est, avec les douches en dessous. A côté, un réservoir de 1000 litres alimente les douches en eau froide; celle-ci se réchauffe directement dans le pommeau de la douche grâce à une résistance électrique de 6kW. A droite : le groupe de travail, Miriam, Marceau, Virginie, Ximena, Laurent et Isaac au premier plan.

### 3.2 Taille du capteur

Le soleil ne manque pas à El Alto, à 16 degrés de latitude Sud et quasiment à 4000 mètres d'altitude. La puissance reçue du soleil à midi doit avoisiner les  $1100 \text{ Wm}^{-2}$ , soit nettement plus qu'au niveau de la mer en France. Ce sont en moyenne une douzaine de jeunes qui se douchent par jour. Nous avons convenu de réchauffer l'eau d'un réservoir de 250 litres. De tels réservoirs en plastique dur se trouvent facilement en Bolivie. On peut montrer que pour chauffer un tel volume d'eau en une journée de soleil, on nécessite environ  $3 \text{ m}^2$  de capteurs. Nous avons choisi de construire deux capteurs thermiques de type "échelle" de  $1.5 \text{ m}^2$  chacun. Ceci simplifie la construction et la mise en place sur un toit non régulier, tout en assurant davantage de modularité : les capteurs peuvent se démonter intégralement si nécessaire.

### 3.3 Schéma général

Un circuit primaire indépendant contient un fluide caloporteur (eau mélangée avec de l'antigel) pour le chauffage de l'eau du réservoir de 250 litres sur le toit (voir Figure 2). Les capteurs ont été construits de A à Z. Tout le matériel nécessaire a été acheté sur place sauf quatre couvertures de survie servant d'isolant, achetées pour 3 euros pièce en France. On aurait pu utilisé du papier d'aluminium trouvable sur place.

### 3.4 Deux circuits indépendants

On ne peut en général pas faire passer l'eau des douches à chauffer directement dans le capteur pour plusieurs raisons : la corrosion, l'entartrage et le gel. La corrosion et l'entartrage viennent respectivement de l'air et du calcaire dissout dans l'eau et qui sont sans arrêt renouvelés si on fait

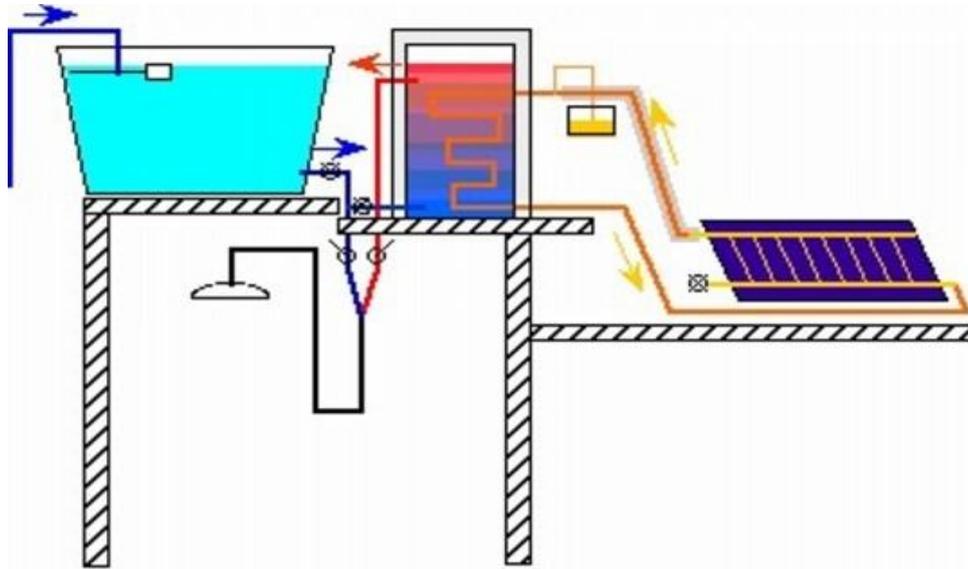


Figure 2: Schéma général du dispositif : en bas à droite, le capteur solaire où s'échauffe le fluide caloporteur. Celui-ci monte par convection et arrive dans l'échangeur de chaleur où il cède sa chaleur à l'eau du réservoir, puis ressort en bas du réservoir avant de repartir chauffer dans le capteur. La circulation (symbolisée par des flèches jaunes) est naturelle : on parle de thermosiphon. Au point haut du circuit, le vase d'expansion permet au liquide de se dilater sans augmenter la pression dans les tubes. A gauche, le réservoir d'eau froide relié au réseau d'eau alimente les douches en eau froide et remplit le réservoir d'eau chaude par le principe des vases communicants.

passer l'eau de la ville dans les capteurs. Le gel peut casser les tuyaux s'il fait moins de 0 degrés dans le capteur. Si la nuit est claire les capteurs rayonnent vers le ciel. Il fait 5 degrés de moins dans les capteurs que dans l'air à l'extérieur des capteurs. Une température de l'air à 5 degrés la nuit peut être fatale au capteur s'il n'y a pas d'antigel dans le circuit.

### 3.5 Soudures

Nous avons acheté des tuyaux de cuivre de deux diamètres différents : 1/2" ( $\simeq 14.7$  mm) et 3/4" ( $\simeq 20$  mm). Ils ont été coupés aux dimensions nécessaires pour réaliser une échelle (Figure 3). 120 soudures ont été nécessaires, toutes n'étaient pas bien étanches dès la première soudure.

### 3.6 Le capteur complet

Les capteurs sont placés dans une double caisse en bois pour l'isolation et recouverts d'une vitre pour créer l'effet de serre. Le tout est dans un cadre en métal qui protège des intempéries. La chaleur du soleil est capté par une feuille de métal peinte en noir et transmise par conduction aux tuyaux de cuivre et à l'eau qu'ils contiennent. Le contact entre la feuille de métal et les tuyaux à chauffer est assuré par la force de rappel de l'élasticité de la feuille de métal "tissée" comme du



Figure 3: Capteur thermique de type échelle : la feuille de métal sera peinte en noire afin de capter la chaleur du soleil et de la transmettre par conduction aux tuyaux de cuivre et à l'eau qu'ils contiennent. Le contact entre la feuille de métal et les tuyaux à chauffer est assurée par la force de rappel de l'élasticité de la feuille de métal "tissée" comme du fil entre les tuyaux

fil entre les tuyaux formant une trame (la feuille de métal se comporte comme un ressort, Figure 3 et 4).



Figure 4: Capteur complet dans leur caisse de métal (gauche). Il manque à poser la vitre dessus. Sous l'échelle, une double caisse en bois emprisonne une fine pellicule d'air qui assure l'isolation (droite). Les pertes de chaleur par rayonnement sont limitées en utilisant des couvertures de survie (principe du thermos).

### 3.7 Echangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur est un serpentín en cuivre de 11 m entièrement immergé dans l'eau du réservoir de 250 L. L'étanchéité du circuit primaire vis à vis de l'eau du fût, et celle du fût vis à vis de l'extérieur a été réalisée avec succès grâce à l'expérience d'Isaac (Figure 5). Les dimensions de l'échangeur de chaleur s'optimisent en fonction de la taille du capteur ; on compte environ une

surface d'échange de 0.25 m<sup>2</sup> pour chaque m<sup>2</sup> de capteur.



Figure 5: L'échangeur de chaleur est placé dans le réservoir d'eau. Les connections sont assurées grâce à des jonctions en bronze.

### 3.8 Vase d'expansion

Un vase d'expansion permet au liquide du circuit de chauffage de se dilater sans augmenter la pression dans les tubes. Il permet aussi l'élimination des bulles d'air dans le circuit (Figure 6).

### 3.9 Travail de plomberie/maçonnerie

Le maçon a réalisé la jonction du réservoir d'eau chaude avec le réseau d'eau froide existant. Nous avons laissé en place et opérationnel tout le système de douche électrique, le circuit solaire sort par une pomme de douche supplémentaire dans l'une des deux cabines de douche. Un socle en béton a été construit pour soutenir le réservoir d'eau chaude. Ce socle est 17 cm plus bas que le socle supportant le réservoir d'eau froide : ceci permet que les niveaux haut des deux réservoirs soient à la même hauteur, contrainte imposée par le fait que les deux réservoirs communiquent pour que le réservoir d'eau froide remplisse le réservoir d'eau à chauffer (Figure 6 et Figure 2, flèches bleu et rouge).

### 3.10 Isolation du réservoir d'eau chaude

L'isolation a été posée une dizaine de jours après que la douche ait commencé à fonctionner. On a utilisé comme isolant un matériaux constitué de bulles d'air emprisonnées dans du plastique (similaire au film à bulles utilisé pour protéger les choses fragiles), le tout recouvert d'un papier aluminisé. Par dessus, on a posé un réservoir plus grand de 500 litres qui protège le tout. On a aussi isolé thermiquement la liaison en cuivre entre la sortie du capteur et l'entrée de l'échangeur de chaleur.



Figure 6: Gauche : le maçon construit le socle soutenant le réservoir d'eau chaude, afin que les réservoirs arrivent à la même hauteur. A droite, les connections entre le capteur et l'échangeur de chaleur sont établies. On distingue le vase d'expansion (bouteille en verre) relié au point haut du circuit. Laurent remplit le circuit de chauffage à l'aide d'un entonnoir relié à l'entrée du capteur qui est munie d'un robinet de vidange.

### 3.11 Pose sur le toit

Les capteurs sont fixés sur le toit grâce à des équerres vissées sur les poteaux de bois supportant le toit de plastique ondulé. Les deux panneaux ont été reliés, puis chaque connection effectuée. On a fait attention à éviter le contact entre le tube de cuivre reliant le bas de l'échangeur à l'entrée du capteur et la gouttière en métal ce qui permet d'éviter la corrosion qu'entraînerait un tel contact de "pile électrique".



Figure 7: Pose des capteurs sur le toit (gauche). Les connections sont mises en place, et le réservoir d'eau chaude isolé (droite).

## 4 Expérimentation

### 4.1 premiers tests et bulles

Dès le début, les capteurs ont très bien fonctionné et le circuit de chauffage s'est rapidement mis à bouillir sous l'action du soleil s'il n'est pas refroidi par l'eau du réservoir. Nous avons eu du mal à mettre en forme et en place le serpentín (échangeur de chaleur). Il gagnerait à être plus régulier pour ne pas piéger les bulles dans le circuit. Par contre, le fait qu'il atteigne l'ébullition (84°C à 4000 m) permet de forcer la circulation en cas de bulle d'air et de finalement les chasser du circuit. Il est en effet très important d'évacuer les bulles d'air présentes dans le circuit de chauffage qui peuvent bloquer la circulation naturelle du fluide caloporteur.

La première douche chaude a été prise avant la pose de l'isolant, en milieu d'après-midi d'une journée à moitié ensoleillée. L'eau était brûlante et il a été nécessaire de la mélanger avec de l'eau froide pour obtenir une douche à la bonne température. La douche a fonctionné sans isolation durant deux semaines : le matin, l'eau du réservoir était froide, et on pouvait se doucher dès le milieu d'après midi.

Une fois le réservoir isolé, l'eau reste chaude d'un jour au lendemain, ce qui signifie que l'on peut se doucher dès le matin de bonne heure. L'isolation est cruciale pour profiter de la puissance du système ; sinon, une bonne partie de l'énergie produite est perdue, le fond de l'air ne dépassant pas une quinzaine de degrés.

### 4.2 Bilan énergétique

Le bilan énergétique est le temps qu'il faut au système de chauffage solaire pour "rembourser" en énergie ce qu'il a coûté à construire. Si l'on compte une moyenne de 150 litres d'eau par jour chauffés de 10 à 70 degrés, cela fait un peu plus de 10 kWh par jour d'énergie solaire récoltée. Calcul des coûts énergétiques de construction (à la louche): Pour raffiner les 10 kg (158 moles) de cuivre, il a fallu environ 15 kWh, autant pour le mettre en tuyau : 30 kWh. Pour le fer de la caisse et du capteur : environ 10 kg soit 30 kWh. fabrication des vitres : 50 kWh. bois : 5 kWh. Plastique du fût : 150 kWh de carburant fossile sous forme de 15 kg plastique. total : moins de 300 kWh en tout, soit 30 jours de soleil. Un temps de retour énergétique de 30 jours est inférieur à ce que l'on trouve en France.

## 5 Conclusions

La douche solaire a fonctionné dès les premiers tests et rempli correctement le cahier des charges. L'efficacité de la douche solaire semble même dépasser les attentes : d'après les premiers tests sur quelques semaines en fin de saison des pluies, il semblerait que l'on produise davantage d'eau chaude que nécessaire aux seules douches, et qu'il serait possible de relier le réservoir d'eau chaude à la cuisine qui dispose uniquement d'eau froide. L'utilisation de la douche durant plusieurs mois permettra de voir si elle permet d'alimenter aussi la cuisine en eau chaude.

A noter l'amélioration du confort et de la sécurité de la douche solaire par rapport à une douche électrique qui a vite été remarquée par les utilisateurs (et les constructeurs). En effet, la douche électrique chauffe l'eau lorsqu'elle arrive dans le pommeau de la douche ; il est assez difficile d'obtenir une température stable, l'eau coule souvent trop chaude ou trop froide. De plus, la présence d'une résistance électrique proche de l'eau qui coule comporte des risques et il est possible de recevoir des décharges électriques.

## 5.1 Points à améliorer

Différentes améliorations pourraient être apportées :

- Alléger les capteurs : ils pèsent environ 60 kg chacun. Il faudrait remplacer le bois par un matériau plus léger. On ne peut pas faire grand chose pour alléger le reste : vitre, caisse extérieure en métal, tuyaux en métal.
- Soigner plus la mise en forme du serpentín qui constitue l'échangeur de chaleur, ceci afin d'éviter que d'éventuelles bulles d'air se coincent à cet endroit du circuit. C'est facile mais il faut une plieuse.
- Suivre le comportement du réservoir en plastique suite aux effets conjugués de l'eau chaude et du temps.
- Relier les deux capteurs entre eux par des liaisons en métal et non en plastique.
- Tester un système de chauffe-eau solaire avec circuit direct (sans échangeur) pour les régions où il ne gèle jamais.
- Tester un système de chauffe-eau solaire dans lequel l'échelle serait en PVC plutôt qu'en cuivre (souci financier) et comparer son efficacité.

## 5.2 Suite du projet

Nous envisageons de construire des dispositifs similaires pour équiper les autres lieux d'hébergement du centre "Mi Casa", à savoir les maisons des quartiers de Santiago II et Nuevo Horizonte, ainsi que le terrain de Viacha à l'extérieur de la ville.

Au cours de la première année de fonctionnement, nous pourrions quantifier les économies réalisées grâce à ce dispositif. Nous restons en contact avec le centre "Mi Casa". Notamment, Isaac Quisocala qui vit de façon permanente en Bolivie passe de temps en temps au centre pour vérifier le bon fonctionnement de la douche.

### 5.3 Au-delà de notre projet

Des plans des différentes parties de la douche ont été dessinés (Figures 8 & 9) et diffusés. Nous espérons que notre expérience profitera à d'autre et que ce prototype sera reproduit, adapté et amélioré librement.

Le soudeur bolivien qui a participé à la construction ainsi qu'un ami bijoutier ont récupéré les plans afin de construire un tel dispositif. Un centre social travaillant avec les jeunes femmes boliviennes et voisin du centre "Mi Casa" est intéressé par un tel dispositif et pense en installer un. Le travail que nous avons effectué servira en Bolivie et au Chili au sein des équipes de Bolivia Inti. En effet, cette association qui a installé plus de 2500 fours solaires en Bolivie, au Pérou et au Chili commence à s'intéresser à l'installation de douches solaires pour des centres communautaires (écoles, maternité... ). Les membres de Bolivia Inti présents lors de cette construction se sont enrichis d'une nouvelle expérience et ont apporté leur compétences pour la bonne réalisation du projet ; ils utiliseront les plans de ce prototype de douche dans leurs constructions à venir.

En France (Gers), un ami a commencé à construire un capteur thermique similaire à celui que nous avons développé pour assurer sa production d'eau chaude sanitaire.

## 6 Budget total détaillé

Les prix sont donnés en monnaie locale, le Boliviano, qui représente dix centime d'euros (cours début 2005). L'équipe de Bolivia Inti a mis à notre disposition tous les outils nécessaires à l'étape de menuiserie.

6.1 Matériel divers	5273
• 2 plaques de métal galvanisé 1.8x0.9 m <sup>2</sup>	40
• Cuivre	
– 4m rigide (3/4")	165
– 30m rigide (1/2")	735
– 16m recuit (3/4")	928
• 40 T en bronze	380
• Menuiserie métallique (caisses en métal)	400
• Soudures au bronze	240
• Bois	392
• Connections et raccords en bronze	444
• Vitres (épaisseur 4 mm)	240
• Silicone	69
• Pointes et vis	26

• Colle à bois	13
• Peinture	56
• Couronnes	30
• Ecrous, équerres (mise sur le toit)	80
• Antigél	65
• Gaine plastique	20
• Réservoir 250 L	320
• Raccords plastiques étanches	30
• Réservoir 500 L	480
• Isolant	120
<b>6.2 Outils</b>	<b>117</b>
• Scie à métaux	10
• Règle plastique	7
• Papier de verre	10
• Clef anglaise	20
• Coupe tube	42
• Lime	28
<b>6.3 Plomberie/Maçonnerie</b>	<b>1455</b>
• Matériel (tubes PVC, coudes, unions, réductions, T, robinets, pommeaux de douche)	380
• Salaire maçon	225
• Dédommagement des volontaires	850

Le budget total est de 6845 Bolivianos, soit environ 685 Euros. Laurent Koechlin a participé à hauteur de 100 Euros, l'association LEK à hauteur de 562.5 Euros. Le projet "Mi Casa" a pris en charge le salaire du maçon (22.5 Euros), a mis un lieu de travail à notre disposition, a assuré un repas à tous les volontaires chaque midi, ainsi qu'un hébergement. A ce budget s'ajoute quelques frais non comptabilisés comme les frais de transports de certains volontaires qui ne vivaient pas sur place, ainsi que des frais de transports liés aux achats de matériaux (par exemple le coût d'un taxi pour ramener les vitres, ou encore le cuivre). Ces dépenses additionnelles ne dépassent pas une vingtaine d'Euros.

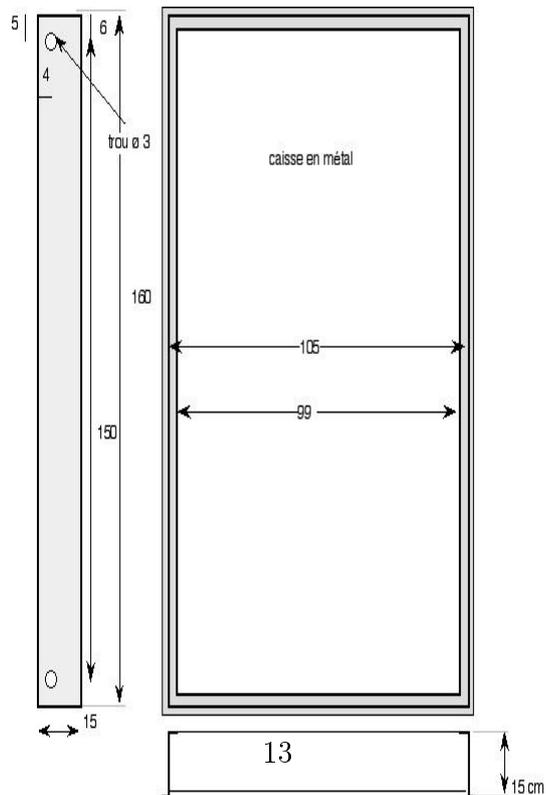
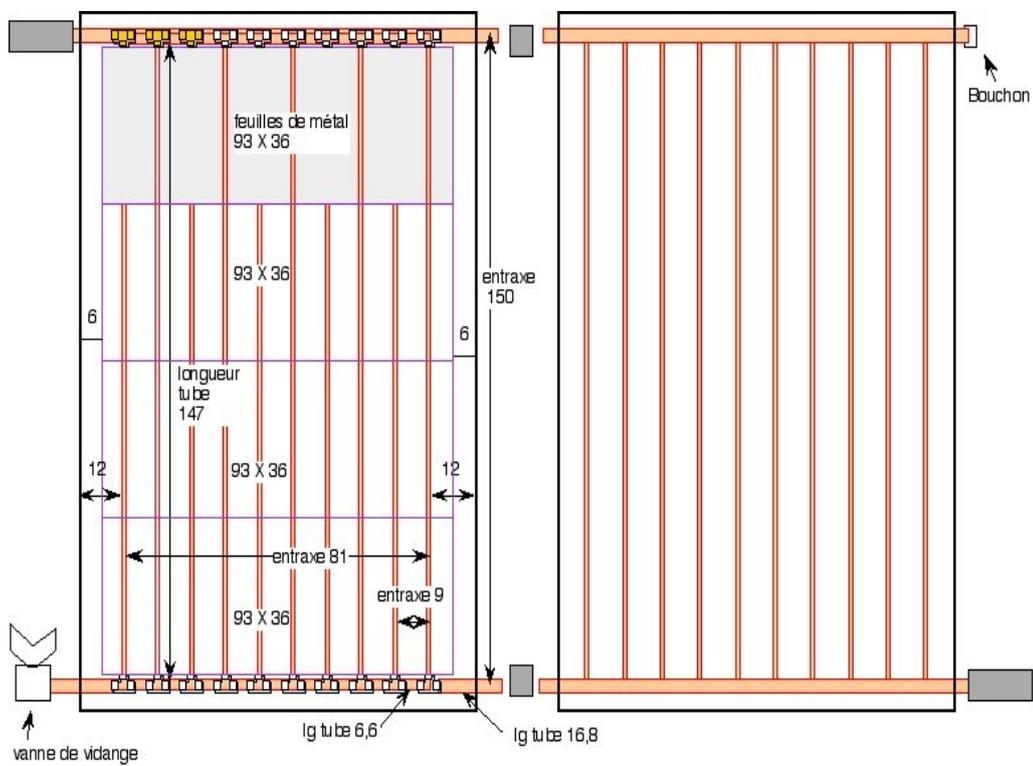
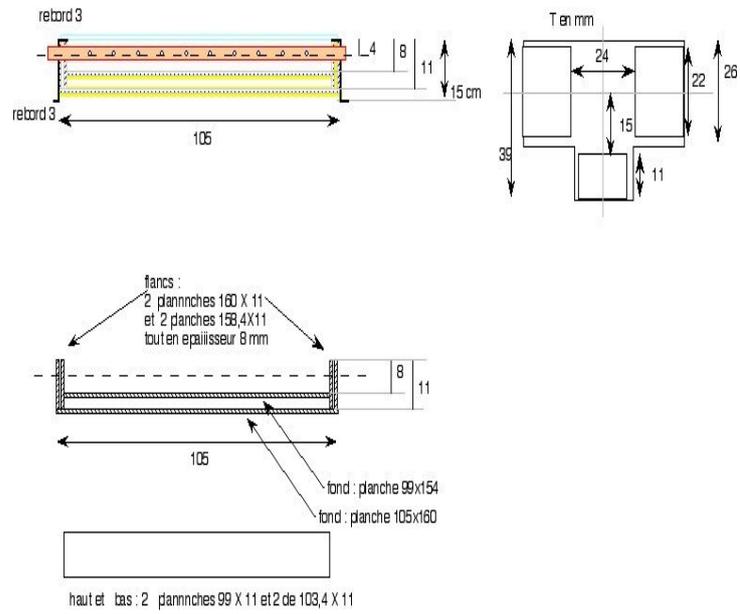


Figure 8: Plans du capteur échelle et du cadre en métal



surface du tanke intérieur :  
flanc  $0,75 \times 2,5 = 1,875 \text{ m}^2$   
dessus :  $0,5 \text{ m}^2$

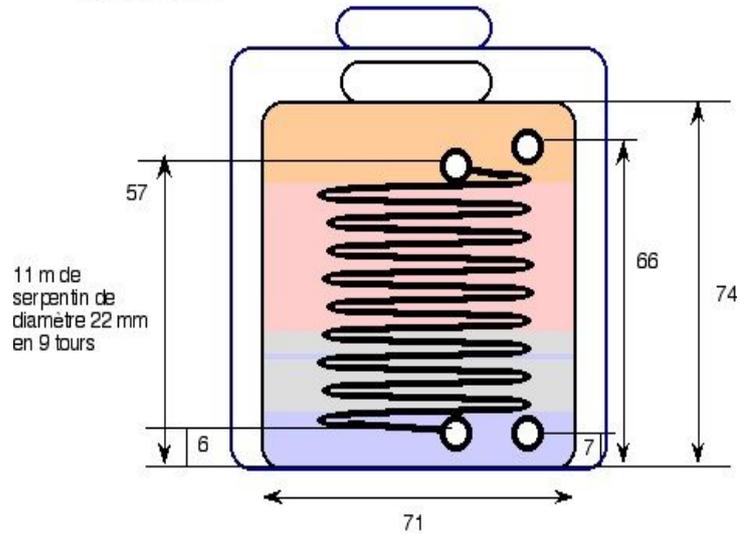


Figure 9: Plans de la caisse en bois (et du T en bronze utilisé) et du serpentin