

Art Libre
Copyright Attitude

Cette notice est en licence libre, vous êtes libre de l'utiliser et de la modifier (voir modalités en dernière page), d'exercer votre esprit critique et de nous faire part de vos remarques constructives.

Le four solaire

TEMPS DE RÉALISATION

14 heures

COÛT INDICATIF

100 euros

DIFFICULTÉ





Introduction

Cette notice permet de fabriquer un four solaire pour faire cuire des aliments. Ce texte s'adresse à des personnes qui veulent réaliser leur propre four solaire, ou à des personnes qui veulent encadrer un atelier. Si on veut l'adapter à un public d'enfants, il faudra prévoir un bon encadrement car certaines opérations demandent beaucoup de précision.

Historique des fours solaires

Les débuts de la cuisson solaire remontent à plus de 200 ans. A la fin du 19ème siècle, De Saussure, voulant créer une machine mesurant l'intensité du rayonnement solaire, construit de fait le premier cuiseur solaire dont nous avons la trace. L'engouement pour la technique est immédiat. De nombreux chercheurs mettent au point des modèles variés pour faire cuire œufs, viandes, légumes et même du pain. Auguste Mouchot, auteur du premier traité consacré à l'énergie solaire "La chaleur solaire" (1869), améliore le cuiseur de De Saussure et, en 1875, il est même envoyé en Algérie expérimenter et diffuser son invention parmi les officiers français. Mais l'idée, jugée non-rentable en ces temps d'énergie fossile abondante, passe à la trappe. Ce n'est qu'au milieu du 20ème siècle que l'idée de la cuisson solaire refait surface. Elle connaît en effet une nouvelle impulsion marquée par la reprise simultanée des recherches dans plusieurs pays (Chine, Inde, USA, Allemagne...). La crise énergétique de 1973 réveille définitivement les inventeurs. Aux Etats-Unis, Barbara

Kerr et Sherry Cole commencent des expérimentations sur le four solaire. Elles fondent en 1986 la "Solar Cookers International", organisation à but non lucratif qui vise à diffuser et perfectionner les techniques de cuisson solaire. Au début des années 2000, la coopération entre les différents acteurs a permis un début de standardisation des modèles et de rationalisation des techniques, ainsi qu'une diffusion et une production plus large, qui restent néanmoins le fait d'initiatives modestes et locales. Les cuiseurs solaires se répandent à travers tout les continents et l'on estime par exemple que plus d'un million d'unités ont été distribués rien qu'en Chine !

Four solaire pour doigt !

Pour prendre conscience de la puissance de chauffe du soleil vous pouvez réaliser ce petit four solaire qui se place autour d'un doigt. Pointez le soleil muni de ce cône en papier recouvert de papier d'aluminium et vous sentirez un échauffement.



Four solaire à doigt.

Conception

Comment ça marche ?

Le four est composé d'un caisson isolé et vitré dans lequel on va concentrer le rayonnement solaire. Le double vitrage va laisser passer une grande partie du rayonnement solaire qui est de petite longueur d'onde. Par contre, il va renvoyer à l'intérieur du four une partie du rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par les aliments chauds et provoquer un "effet de serre" dans le four. Ainsi, nous aurons une élévation de la température. Ce phénomène utilise la caractéristique de certains matériaux, comme le verre, qui sont transparents au rayonnement solaire et opaques au rayonnement infrarouge.

Choix technologiques

Comment limiter les pertes de chaleur ?

On peut agir sur plusieurs facteurs :

- La conduction, c'est la propriété d'un matériau à conduire la chaleur. On peut limiter ce phénomène en choisissant un matériau isolant qui va retenir plus longtemps la chaleur à l'intérieur du four. Nous utilisons de la laine de mouton, c'est un bon isolant, léger et qui résiste à la température du four (jusqu'à 160°C) selon notre expérience. Le choix du double vitrage permet aussi de limiter la perte par conduction. En effet, la lame d'air immobile entre les deux vitres (le verre est très conducteur) joue le rôle d'un isolant. L'épaisseur de la lame d'air ne doit pas faire plus de 3 cm pour qu'elle reste immobile. Au delà de 3 cm, on risque d'avoir un phénomène de convection naturelle interne au double vitrage.

- La convection est un mode de transfert thermique qui implique un mouvement de la matière à l'intérieur d'un milieu. La fermeture hermétique du four (utilisation de joints) permet de limiter les pertes par convection avec le milieu extérieur. Il subsistera la convection naturelle à l'intérieur du four dû à la différence de température entre les parois en aluminium du four et le double vitrage. Le vent créera une convection forcée qui refroidira le four.

- Le rayonnement est un transfert de chaleur sous forme d'onde électromagnétique. Tout corps émet un rayonnement qui est fonction de sa température. Les aliments à l'intérieur du four émettent un rayonnement infrarouge qu'il va falloir conserver. C'est le rôle du double vitrage, qui crée un effet de serre : les vitres sont transparentes au rayonnement du soleil, par contre elles retiennent 50 % du rayonnement infrarouge produit par l'échauffement des aliments.

L'absorption du rayonnement par un corps dépend de sa couleur. Celui-ci est maximal pour un « corps noir ». Le récipient qui contient les aliments sera donc choisi de couleur foncée pour se rapprocher d'un « corps noir ».

Comment recevoir un maximum de rayonnement ?

Pour recevoir le plus de rayonnement, et ainsi maximiser la puissance de chauffe, il faut présenter la plus grande surface au soleil. Les rayons solaires ont la meilleure efficacité énergétique sur une vitre quand ceux-ci arrivent perpendiculairement à cette dernière (pour diminuer l'effet miroir). Il paraît donc intéressant que la vitre soit toujours orientée perpendiculairement au soleil. Cependant, la diminution effective de cette efficacité a lieu réellement à de grands angles, comme le montre le diagramme ci-contre (à partir de 40° environ). La courbe de "transmittance" représente la proportion d'énergie passant à travers la vitre étudiée, en fonction de l'angle incident (0° étant la position où les rayons arrivent perpendiculairement). Cependant, tant qu'on n'est pas désorienté de 40° cela ne change pas grand chose.

Mais c'est oublier qu'on présentera une surface moins grande au soleil : se visualiser la variation de l'ombre portée de la surface collectrice, directement égale à la quantité collectée, si elle est inclinée.

Ce sont précisément ces deux phénomènes qui plaident pour le fait de rester perpendiculaire au soleil. Numériquement, cela forme des variations totales de pas plus de 30 % en 40°, en combinant les deux phénomènes (40° de désorientation étant atteints en 2h et demi).

Le choix de l'inclinaison de la vitre se fait en fonction de la hauteur du soleil lors de la cuisson. Elle dépend elle-même des paramètres suivants :

- l'heure dans la journée
- le jour dans l'année
- la latitude du lieu

L'orientation en azimut étant facilement faisable en tournant le four à la main, l'inclinaison du four n'est pas changeable (par construction). Pour avoir une inclinaison idéale, il faut donc établir des compromis et des moyennes entre ces données. L'orientation idéale étant celle où la vitre sera perpendiculaire à la moyenne des positions possibles du soleil.

En France, une inclinaison de 30 degrés de la vitre par rapport à l'horizontale en été représente une bonne moyenne (quand le soleil est haut dans le ciel vers midi) et une inclinaison de 60 degrés est plus adaptée à l'hiver (quand le soleil reste bas dans le ciel même à midi).

Ce four permet d'avoir ces deux inclinaisons possibles suivant comment on le positionne : retourné ou non. Enfin un réflecteur permet de capter une surface de rayonnement plus importante. Si vous voulez l'adapter à votre latitude il faut pour cela utiliser un diagramme solaire.

Matériel

- Contreplaqué peuplier de 10 mm d'épaisseur
- Vitre de 3 mm d'épaisseur 465 x 465
- 4 morceaux de bois du cadre
- 4 morceaux de bois du cadre double vitrage
- 4 morceaux de bois 70 x 40 x 10 mm
- 2600 mm de tasseaux de sapin 20 x 20 mm
- Vis Ø 2 par 20 à 25 mm de long
- 6 rivets
- 4 grosses charnières 50 x 50 mm
- 1000 mm de ficelle
- Petit bout de bois pour tendeur
- 2 fermoirs
- 1 crochet
- Vis Ø 2 par 10 à 15 mm de long
- Colle
- 1 plaque en aluminium 900 x 700 mm
- Laine de mouton
- Bâche renforcée avec de la fibre de verre
- Fil
- Scratch à coudre

Outils

- Scie circulaire ou scie sauteuse
- Pince à rivet
- Perceuse visseuse
- Défonceuse ou toupie
- Tournevis
- Boite à coupe
- Cale martyre
- Poinçon
- Mètre
- Règle de 1 m
- Équerre
- Rapporteur
- Compas
- Aiguille
- Rabot à main

Fabrication du four solaire

Pour vous aider tout au long de la fabrication du four, vous pouvez vous appuyer sur les annexes A et B, qui permettent de saisir les différentes étapes de la réalisation. L'annexe A comprend également un détail précis des pièces des différents assemblages. Les bricoleur-euse-s expérimenté-e-s pourront commencer par usiner toutes les pièces à l'aide de l'annexe C. Sinon, nous vous conseillons de suivre les étapes de la réalisation en vous reportant à cette même annexe C au fur et à mesure.

1. La cuve du four en aluminium

👁 ANNEXE D

La cuve du four est réalisée avec une plaque d'aluminium de 0,3 mm d'épaisseur (ici une plaque offset récupéré dans une imprimerie) qui est découpée puis pliée. Pour réaliser cette cuve, on s'aidera aussi du pas à pas ① à ⑫. On commence par tracer les contours (un compas est improvisé avec un tasseau de bois et deux clous) de la plaque suivant le schéma fourni en annexe D. Puis on la découpe, à l'aide d'une règle et d'un cutter. On incise la plaque avec le cutter et on la plie plusieurs fois jusqu'à ce qu'elle se casse. Après l'avoir découpée, on plie la cuve. On commence par plier le fond à l'aide d'un tasseau de bois. Les côtés sont ensuite pliés pour obtenir la forme de la cuve et les triangles sont ensuite repliés sur les côtés. Il faut faire attention de ne pas se tromper de sens lorsqu'on plie car, si on replie dans l'autre sens, on risque de casser la tôle. On pourra s'entraîner en pliant une feuille de papier pour repérer les différents plis à exécuter.



① Traçage de la cuve.



② Incision du contour avec un cutter.



③ Découpage du contour par pliage successif.



④ Les premier plis réalisés.



⑤ La base de la cuve pliée.



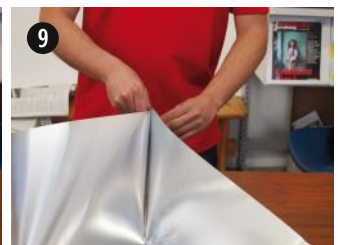
⑥ Pliage des cotés à l'angle d'une table.



⑦ Tous les plis réalisés.



⑧ Mise en volume de la cuve.



⑨ On fait coïncider les arrêtes.



⑩ Rabat des triangles sur les cotés.



⑪ Cuve pliée.



⑫ Ajout de scotch alu pour l'étanchéité.



Biseautage de la traverse.

2. Le caisson

Le cadre

👁 ANNEXE E

On commence par réaliser le cadre. Pour cela, on coupe aux dimensions les montants et les traverses (annexe E). Une des traverses est biseautée d'un angle de 30 degrés, grâce à une scie circulaire montée sur table **13** ou avec un rabot à main. Les montants et les traverses sont posés sur une surface plane, le côté intérieur du cadre étant orienté vers le haut. On les assemble en collant et vissant des plaquettes de fixation en bois à chaque jonction (annexe E).



Vissage cuve.

Les parois du caisson et l'assemblage sur le cadre

👁 ANNEXES B, F, G, H, I ET J

Une fois le cadre fini, on découpe les différentes parois du caisson selon les plans fournis en annexe (annexes F, G, H, I et J). On fixe, toujours en s'aidant des plans, les tasseaux de section 20 x 20 mm sur les paroi droite et gauche, puis sur la paroi frontale du caisson. On colle et on visse ensuite la paroi frontale sur le cadre, puis les parois gauche et droite sur l'assemblage obtenu. Enfin on vient fixer la paroi arrière (**annexe B**).



Isolation avec de la laine de mouton.

Assemblage du caisson et de la cuve

Avant de placer la paroi du dessous, on doit tout d'abord visser la cuve en aluminium sur le cadre **14**. On isole ensuite le tout en remplissant l'espace entre le caisson et la cuve d'un isolant écologique comme de la laine de mouton **15**. Enfin, on ferme le caisson en venant coller et visser la paroi du dessous. Un des champs du dessous est coupé selon un angle de 30 degré. On colle le dessous de façon à ce que le champ coupé à 30 degré soit aligné avec le côté du caisson qui est incliné selon cet angle.



Usinage à la toupie des rainures du cadre des vitres.

3. Porte Vitrée et Réflecteur

Le cadre de la porte vitrée

👁 ANNEXES K ET L

Le cadre de la porte vitrée du four est réalisée avec quatre profilés de bois montés en escargot (annexe L). Ces profilés sont usinés à la toupie (ou à la défonceuse) de deux rainures de 7 mm de profondeur et de 4 mm d'épaisseur **16**. Ces rainures sont destinées à accueillir les vitres dont l'épaisseur fait 3 mm, ce qui laisse un jeu d'un millimètre lorsqu'elles sont insérées dans les rainures. Il est très important de laisser un jeu pour que les vitres puissent se dilater sans être contrainte lorsqu'on va faire chauffer le four et ainsi éviter qu'elles ne se fendent. Sur une extrémité de chaque pièce, on fait un évidement de la profondeur des rainures (7 mm) et de l'épaisseur de la pièce **17** **18**.



Feuillure pour montage en escargot usinée à la défonceuse avec montage d'usinage.

Découpe des vitres et montage sur le cadre

👁 ANNEXE K

Les vitres sont découpées à l'aide d'un coupe verre de vitrier **19**, aux dimensions voulues (465 x 465). Cette opération demande d'avoir un certain coup de main et si vous ne voulez pas casser des vitres nous vous conseillons de vous adresser à quelqu'un d'expérimenté ou de les faire découper chez un vitrier.

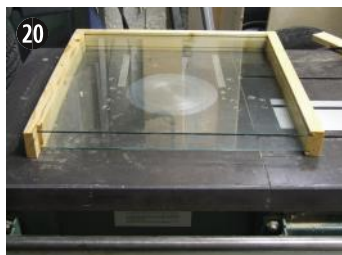
On va ensuite monter le cadre (annexe K) qui est vissé (ne pas mettre de colle car le cadre doit pouvoir se démonter si on a besoin de nettoyer les vitres ou d'en changer une qui a cassée). Attention, pour éviter de briser les vitres pendant le reste de la construction, nous vous conseillons de monter le cadre sans les vitres dans un premier temps. Puis, lorsque le four est terminé, c'est à dire lorsque les dernières charnières et les fermettes sont fixées, de démonter un profilé du cadre, d'y insérer les vitres et de remonter le cadre **20**.



Feuillure pour montage en escargot usinée à la défonceuse avec montage d'usinage



Découpe des vitres.



Insertion des vitres.

Le réflecteur

👁 ANNEXE M

Le réflecteur doit être usiné selon les plans de l'annexe M. On colle ensuite le papier miroir autocollant. Pour cela, on enlève progressivement le film protecteur du papier adhésif et on frotte avec la main du milieu vers l'extérieur pour éviter la formation de bulles ou de plis.

Assemblage Réflecteur Porte vitrée

👁 ANNEXES K ET M

On fixe ensuite les charnières à l'aide de rivets sur le réflecteur 21. Les charnières sont ensuite vissées sur le cadre à 5 cm du bord en faisant attention, si vous avez déjà inséré les vitres, que les vis ne rencontrent pas une vitre car celle-ci risquerait de se casser. Des trous sont percés à intervalle régulier, respectivement sur le cadre et le réflecteur pour permettre le réglage du réflecteur (annexe M). On perce aussi un trou sur le cadre et un autre sur le réflecteur pour fixer la ficelle et son tendeur à trois trous.

4. Assemblage final

👁 ANNEXE B

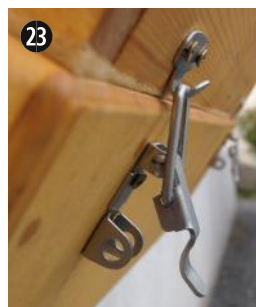
On fixe les charnières sur le caisson 22 et la porte vitrée ainsi que les fermailles. On commence par fixer le crochet de la partie haute du fermaille. Ensuite on fixe la partie basse pour que le fermaille en position ouverte fasse un angle de 45° par rapport au four ce qui permet de créer une légère pression en position fermé 23 24. Sur le cadre de la porte, on colle un joint adhésif en mousse. Enfin, on peut enlever le film protecteur qui protège le papier miroir. Il faudra enfin réaliser la tringle qui va maintenir le réflecteur ouvert. Elle est constituée d'un tasseau de 410 mm de longueur, muni aux extrémités de 2 clous sans têtes Ø 4 mm.



Fixation des charnières avec rivets et vis



Fixation charnières.



Position fermaille ouvert à 45°.



Fermaille fermé.

5. La finition

Les fentes et autres défauts sont bouchés. L'ensemble est poncé avec une ponceuse orbitale en utilisant dans l'ordre les grains de papier suivants : 80, 100 et 120. Après dépoussiérage, trois couches d'huile de lin sont passées sur les parties en bois. La première couche est diluée avec un tiers d'essence de térébenthine pour imprégner plus profondément le bois. Entre la première et la deuxième couche, on passe un peu de laine d'acier pour enlever les fibres qui se sont relevées avec l'humidité. La cuve en aluminium est laissée brute.



Housses du four.

6. La réalisation de la housses

👁 ANNEXE N

La housses est réalisée dans une bâche en plastique armée qui est découpée puis cousue avec du fil de cordonnier. Elle s'ouvre sur le dessus et le devant pour permettre une mise en place aisée du four solaire. Ces rabats sont maintenus en position fermée grâce à des scratches cousus 25.

Utilisation du four solaire

On peut cuire tout ce qui se fait cuire dans un four traditionnel. Ce qui change, c'est le temps de cuisson qui sera toujours plus long. Pour les questions relatives à la cuisson, nous vous conseillons de vous référer à la bibliographie.

Il faut également orienter le four pour profiter au mieux du rayonnement. Pour orienter le four, on veillera à ce que son ombre soit alignée parallèlement avec les côtés du four. Le réflecteur est réglé de manière à ce que la tache lumineuse tombe sur le récipient à chauffer. Si on n'utilise pas de système d'orientation automatique, on réorientera alors toutes les 45 minutes le four pour optimiser le temps de cuisson. Le four peut être utilisé en position d'été et en position d'hiver suivant la période de l'année à laquelle on s'en sert. La règle à retenir est que la vitre doit être le plus perpendiculaire possible au rayon du soleil.

En fin de cuisson, si il n'y a plus de soleil, on peut utiliser le four comme une marmite norvégienne pour terminer la cuisson ou maintenir les aliments au chaud, pour cela on fermera juste le réflecteur.



Avantages

- On ne risque pas de faire brûler les aliments.
- On utilise une énergie renouvelable.
- Le four est transportable.



Inconvénients

- Lorsqu'on ouvre le four pour surveiller la cuisson, on perd une grande partie de la chaleur alors qu'avec un cuiseur solaire de type Bernard où on a accès au contenu du récipient en perdant peu de chaleur.
- Relativement long à cuire.
- Dépendant du bon vouloir du soleil.



Optimisations possibles

- On pourrait prévoir un système d'orientation.
- On peut placer des réflecteurs autour du four pour ajouter un peu de lumière en plus du rayonnement qui tombe directement sur la vitre et ainsi augmenter la surface de captation.
- Il serait intéressant de faire une campagne de mesures du rendement de ce type de four solaire en faisant varier les paramètres comme l'épaisseur de l'isolation, l'utilisation d'un simple ou double vitrage, le type de matériaux réfléchissants... Cela permettrait de justifier ou d'infirmer ces choix qui sont souvent le fruit du bon sens.
- Dans certains ouvrages, il est préconisé de la peindre en noir la cuve avec une peinture haute température pour qu'elle absorbe la chaleur. Nous ne savons pas dans quelle mesure cela peut augmenter les performances du four. Il faudrait mesurer les performances de deux fours réalisés de la même manière : un réalisé avec une cuve peinte en noir et l'autre en aluminium brute. Ne voulant pas utiliser une peinture qui n'est pas conçue pour l'alimentation, nous avons préféré ne pas peindre la cuve en aluminium.



Ouvrages de référence

- Rolf Behringer et Michael Götz, « Cuiseurs solaires, Autoconstruction et recettes », Éditions La plage, 2009
 - http://solarcooking.wikia.com/wiki/Category:Solar_cooker_plans
- Pour la cuisson voir :
- Id Cook et SolarsCookers International, « Manuel de la Cuisson Solaire »
 - http://www.impi.ch/idees-cook/Manuel_cuisson_solaire_idcook.pdf

Cette notice est mise à disposition gratuitement par l'association

Entropie

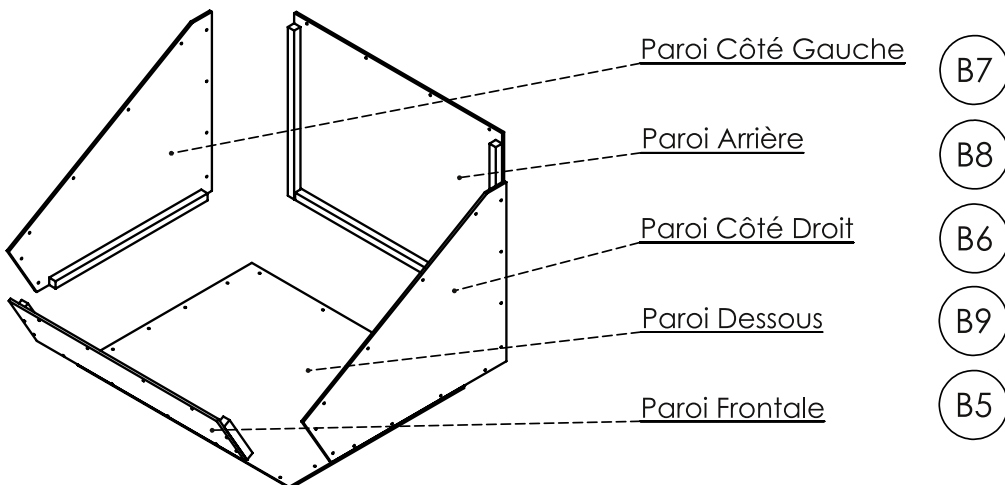
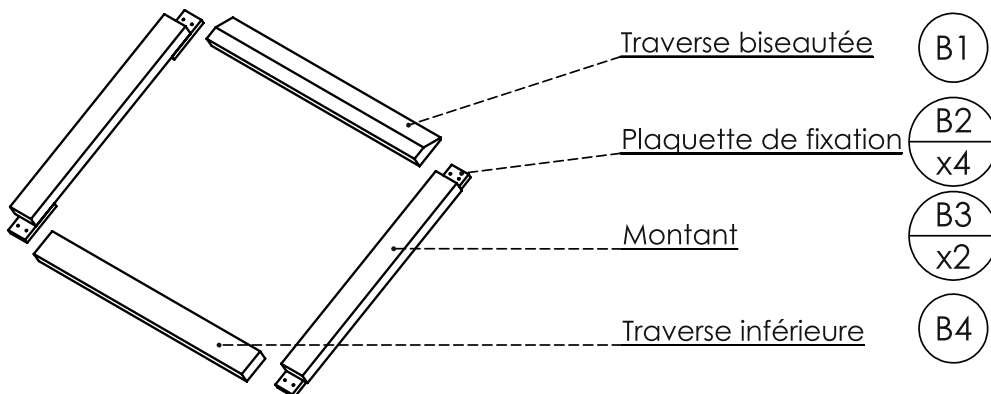
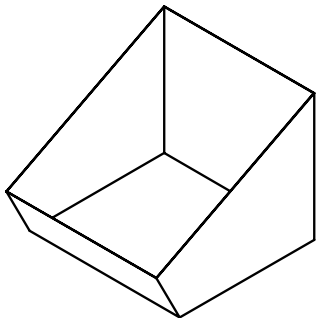
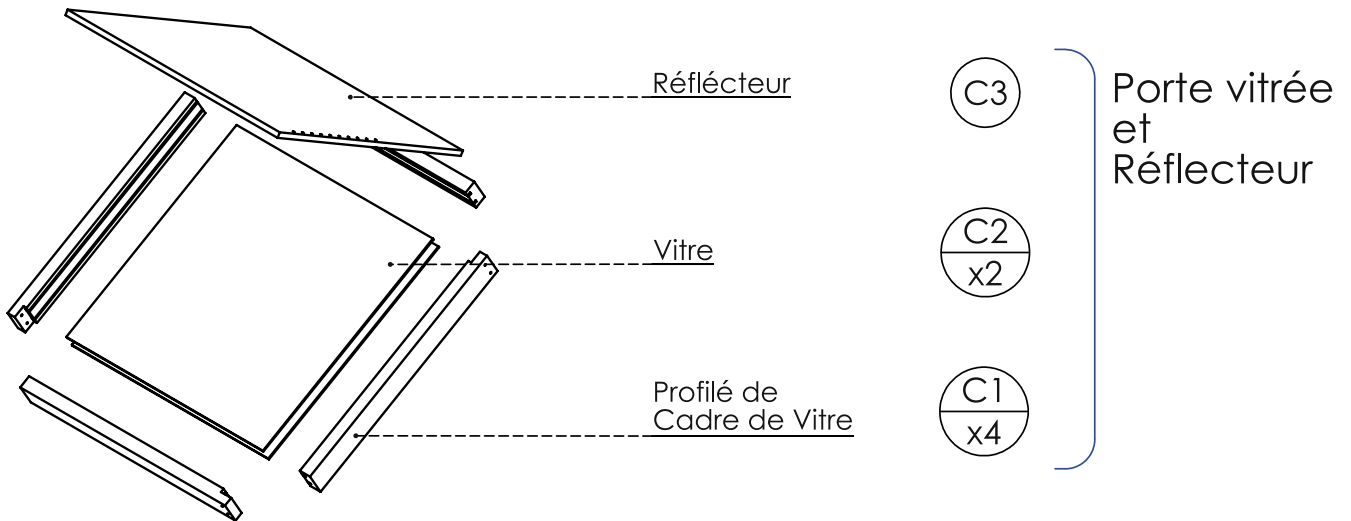
Nous vous incitons cependant, selon vos moyens, à *faire un don* à l'association pour que nous puissions continuer à vous faire part de nos recherches. Nous pensons que l'entraide et la collaboration doivent être les valeurs de la société de demain. Vous pouvez nous envoyer un chèque à l'ordre de l'association Entropie à l'adresse suivante : 15 rue Georges Jacquet 38000 Grenoble.



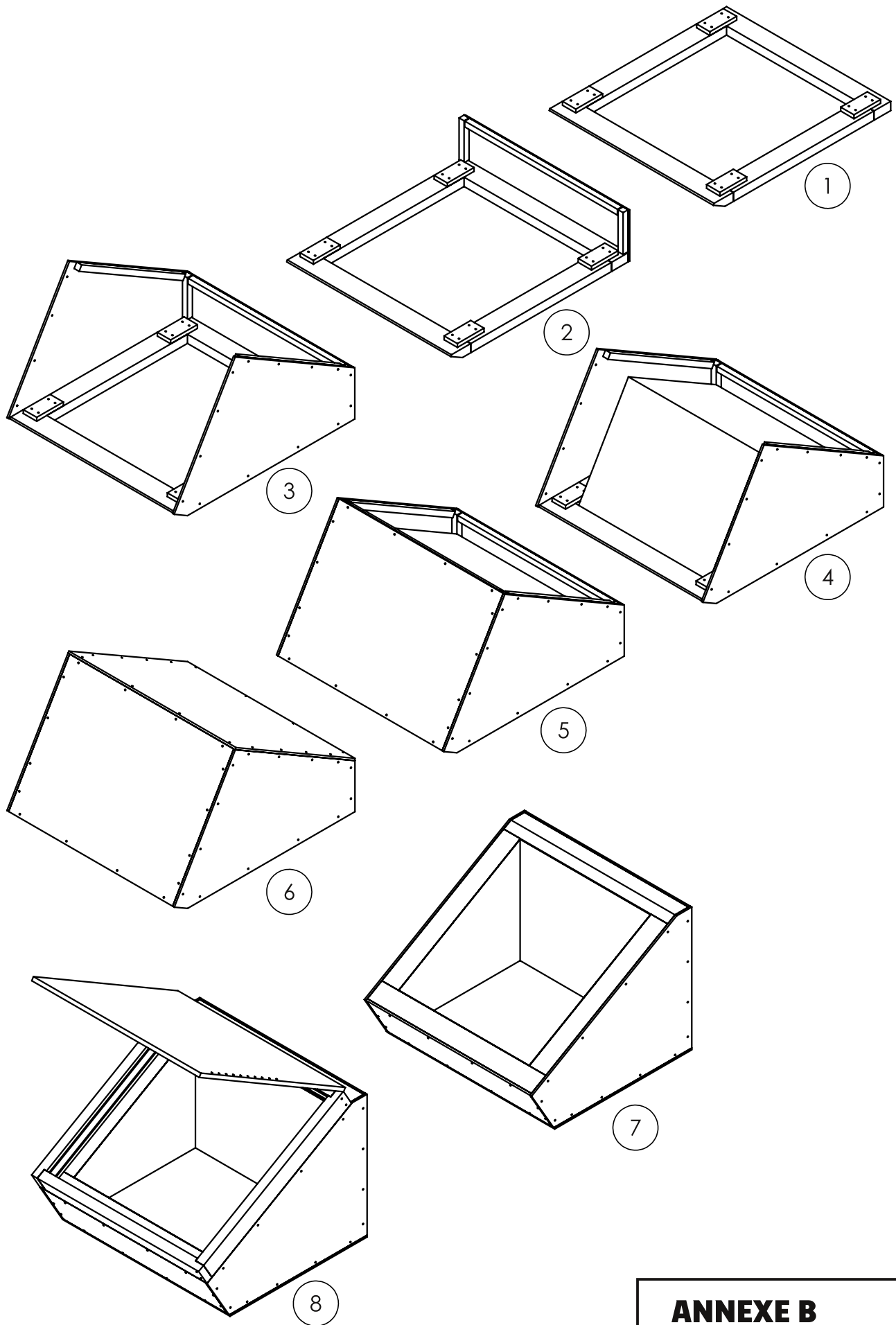
Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Art Libre. Vous êtes libre de la partager, reproduire, distribuer ; la remixer, l'adapter ; l'utiliser à des fins commerciales. Selon les conditions suivantes : l'attribution, vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre) ; le partage dans les mêmes conditions, si vous modifiez, transformez ou adaptez cette œuvre, vous n'avez le droit de distribuer votre création que sous une licence identique ou similaire à celle-ci.

*l'entraide
vaincra !*

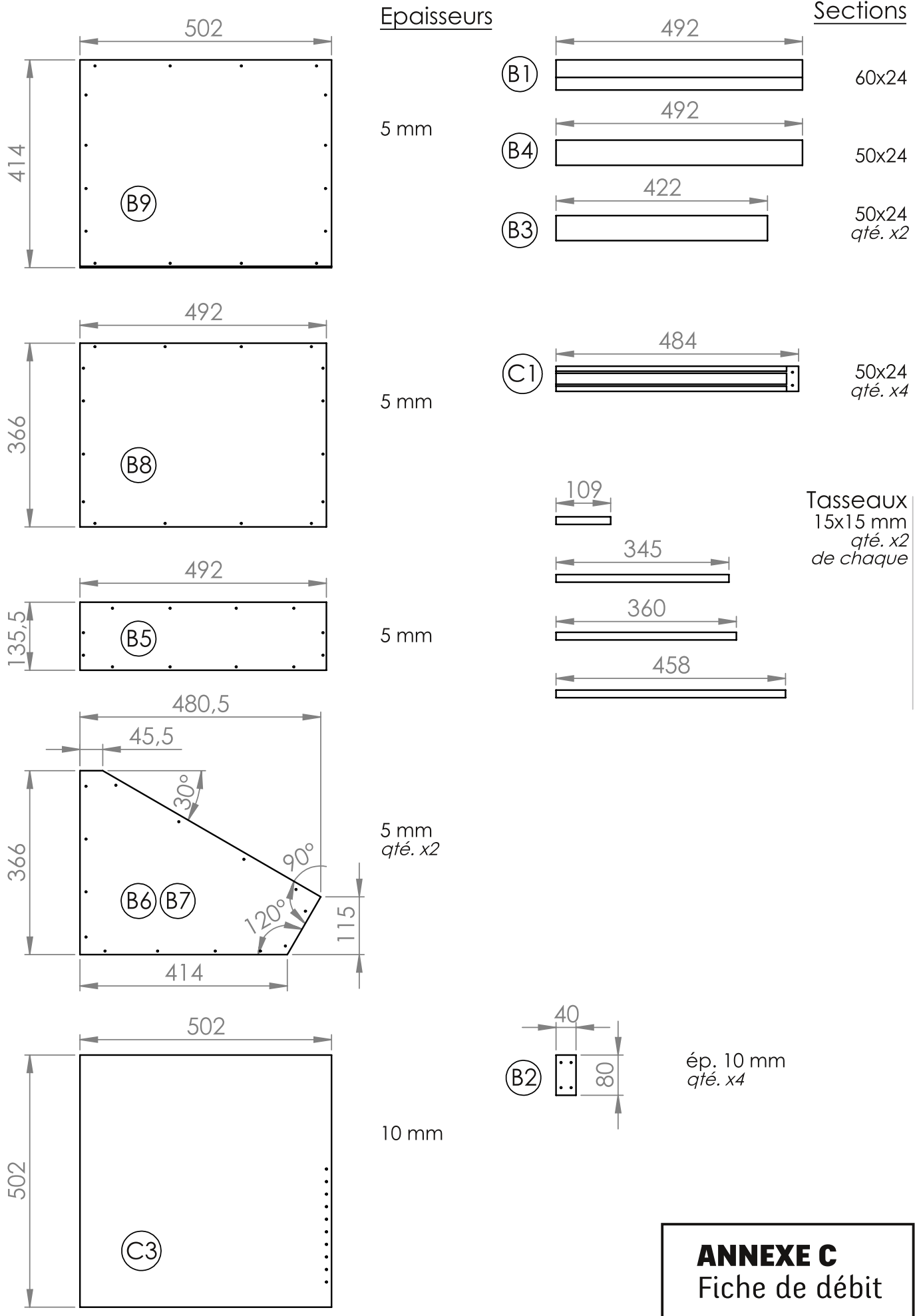
Association Entropie
Christophe André, Mailys Rongier, Thomas Bonnefoi, Romain Bousson



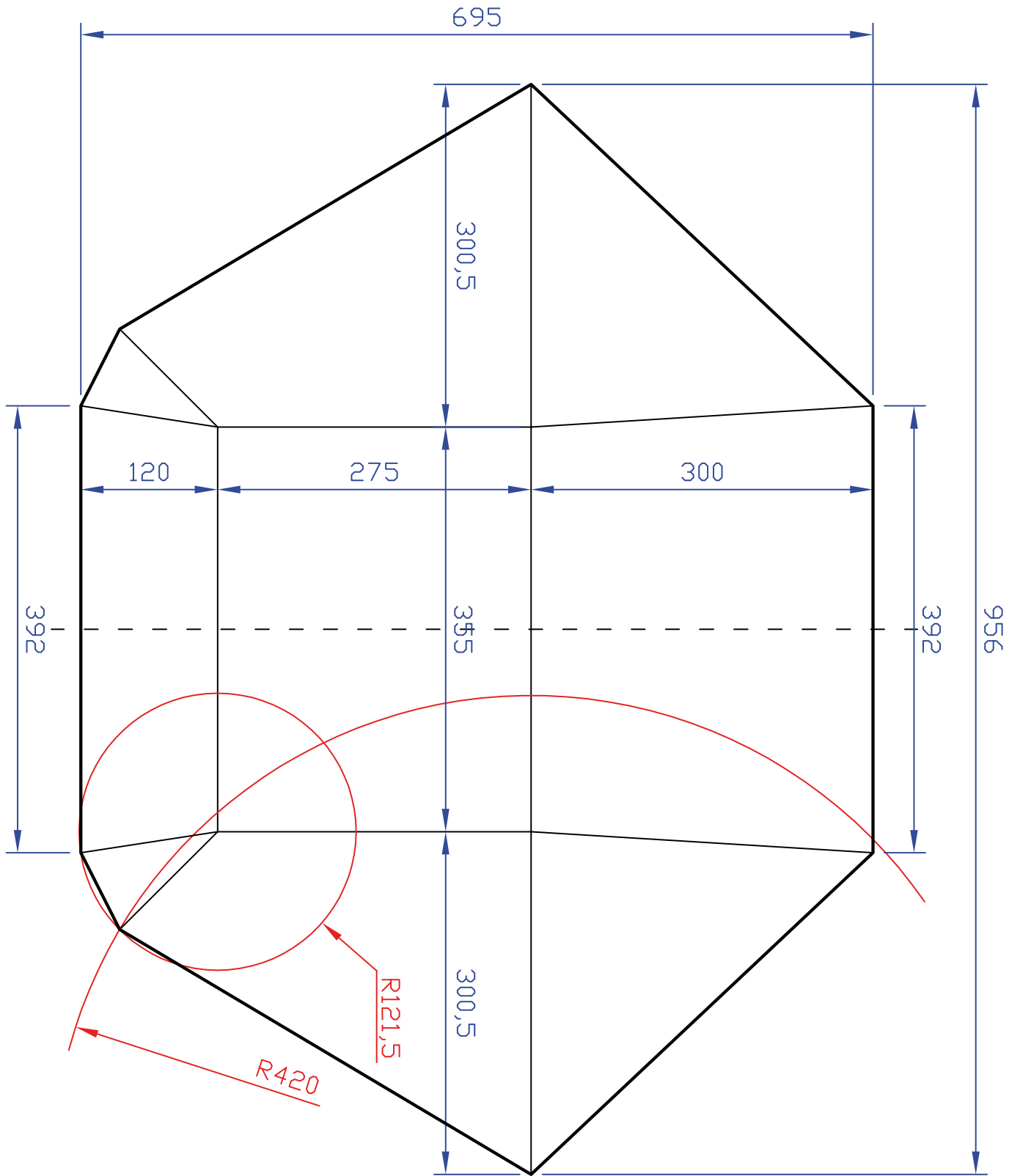
ANNEXE A
Vue éclatée générale



ANNEXE B
Assemblage final

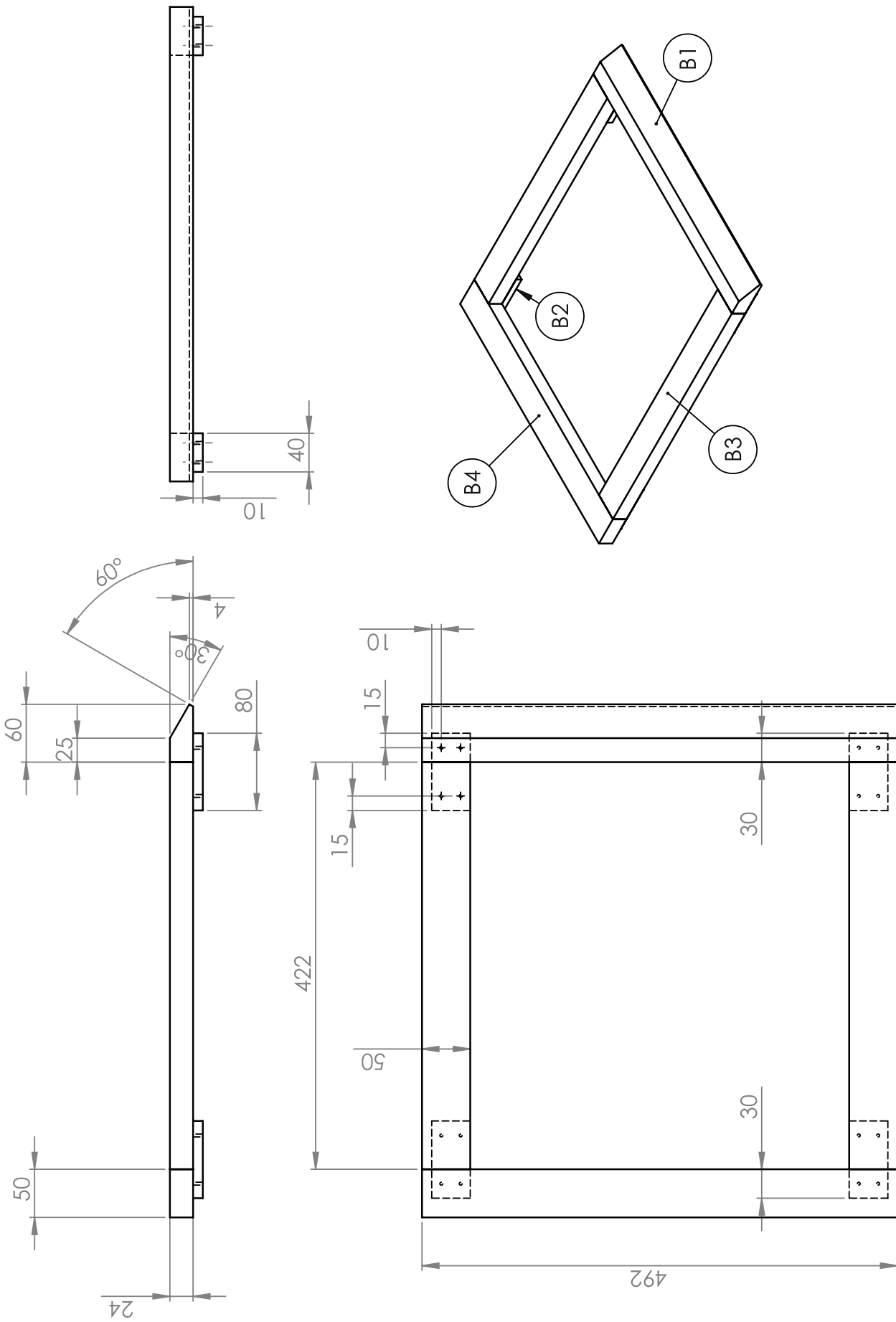


ANNEXE C
Fiche de débit

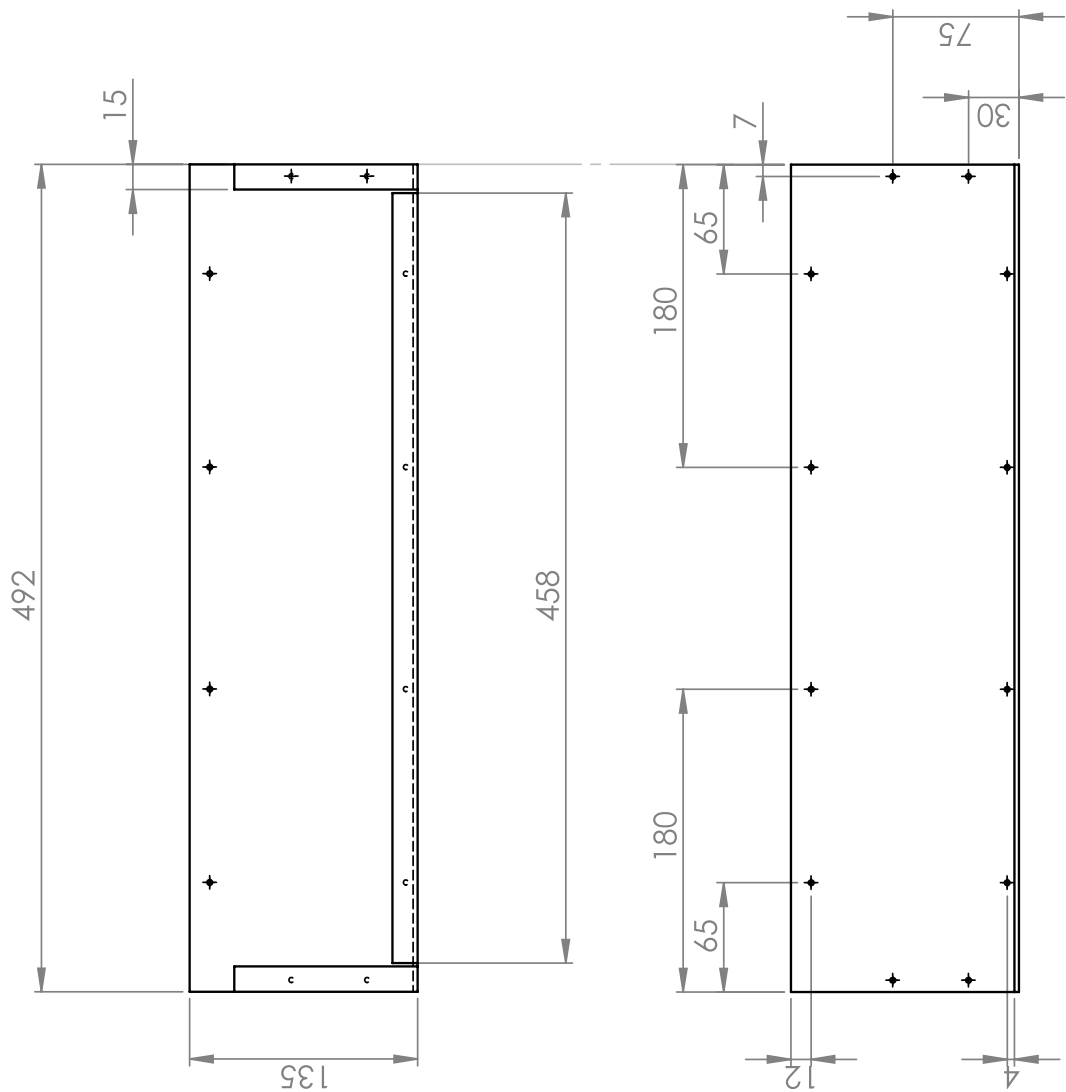
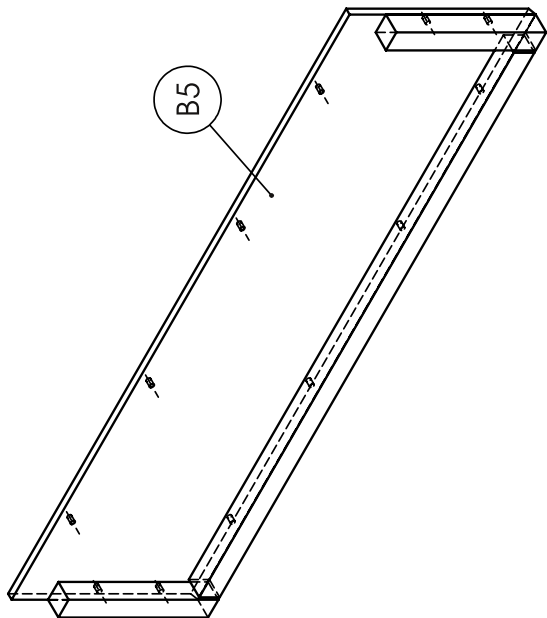
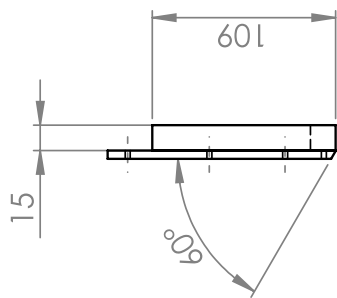


- Contour à découper
- Arrêtes à plier
- Cotations
- Traits de construction
- - Axe de symétrie

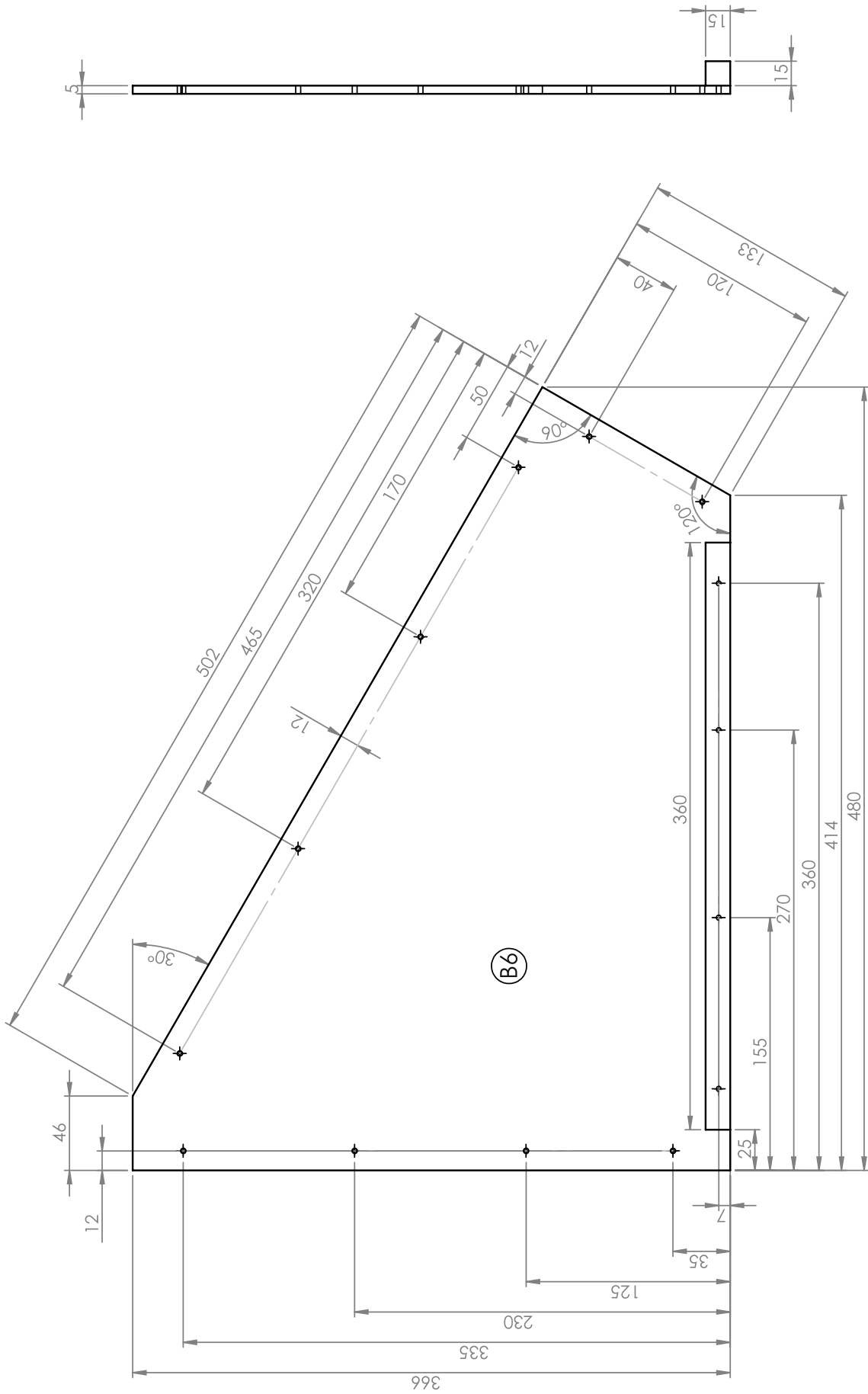
ANNEXE D
Cuve du four



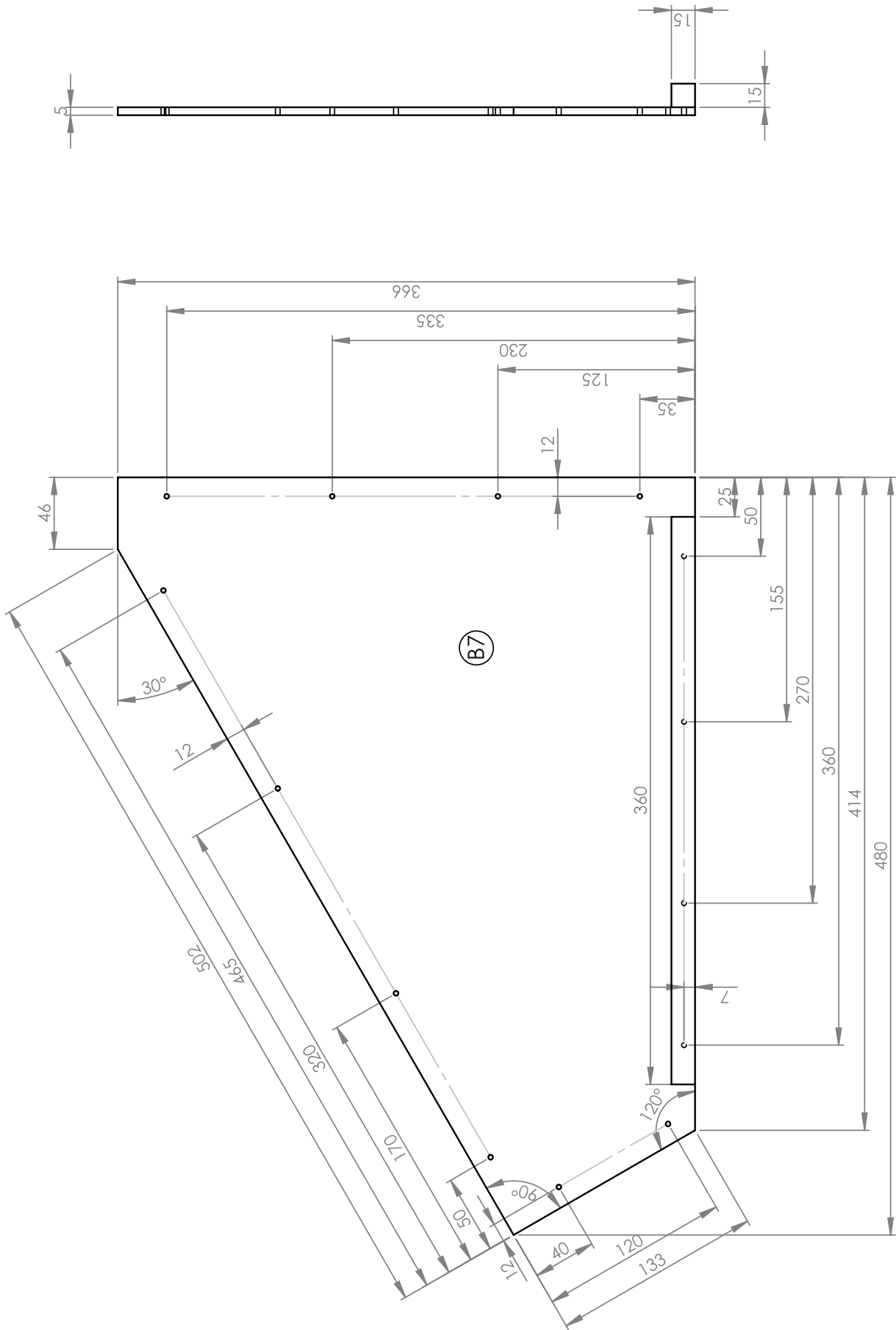
ANNEXE E
Assemblage cadre de cuve



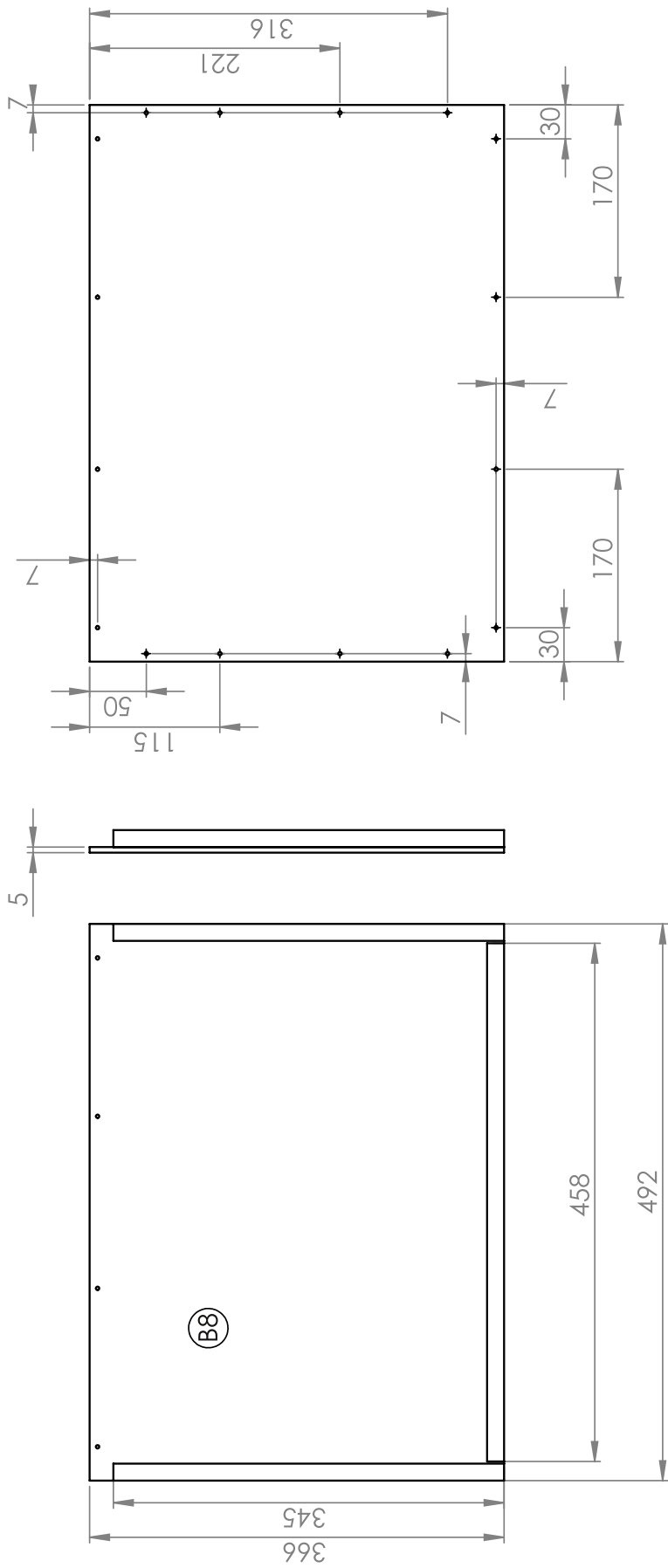
ANNEXE F
Assemblage frontal



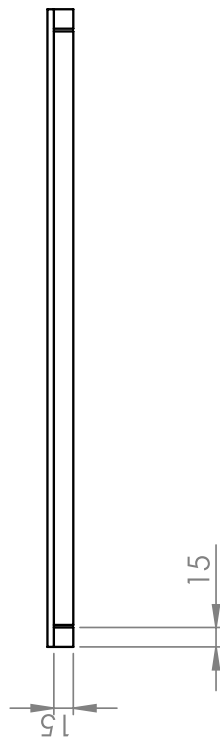
ANNEXE G
Assemblage latéral DROIT



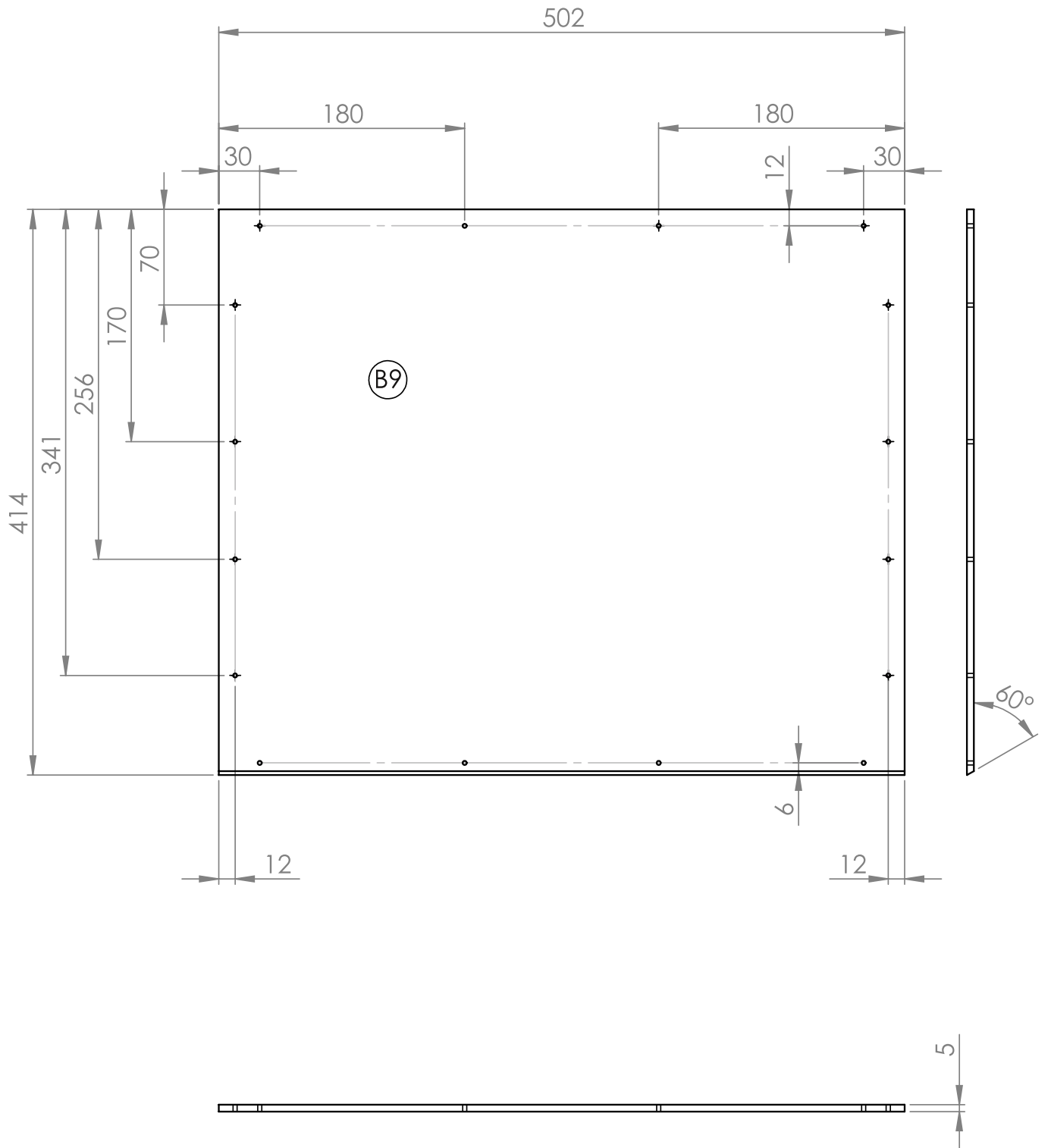
ANNEXE H
Assemblage latéral GAUCHE



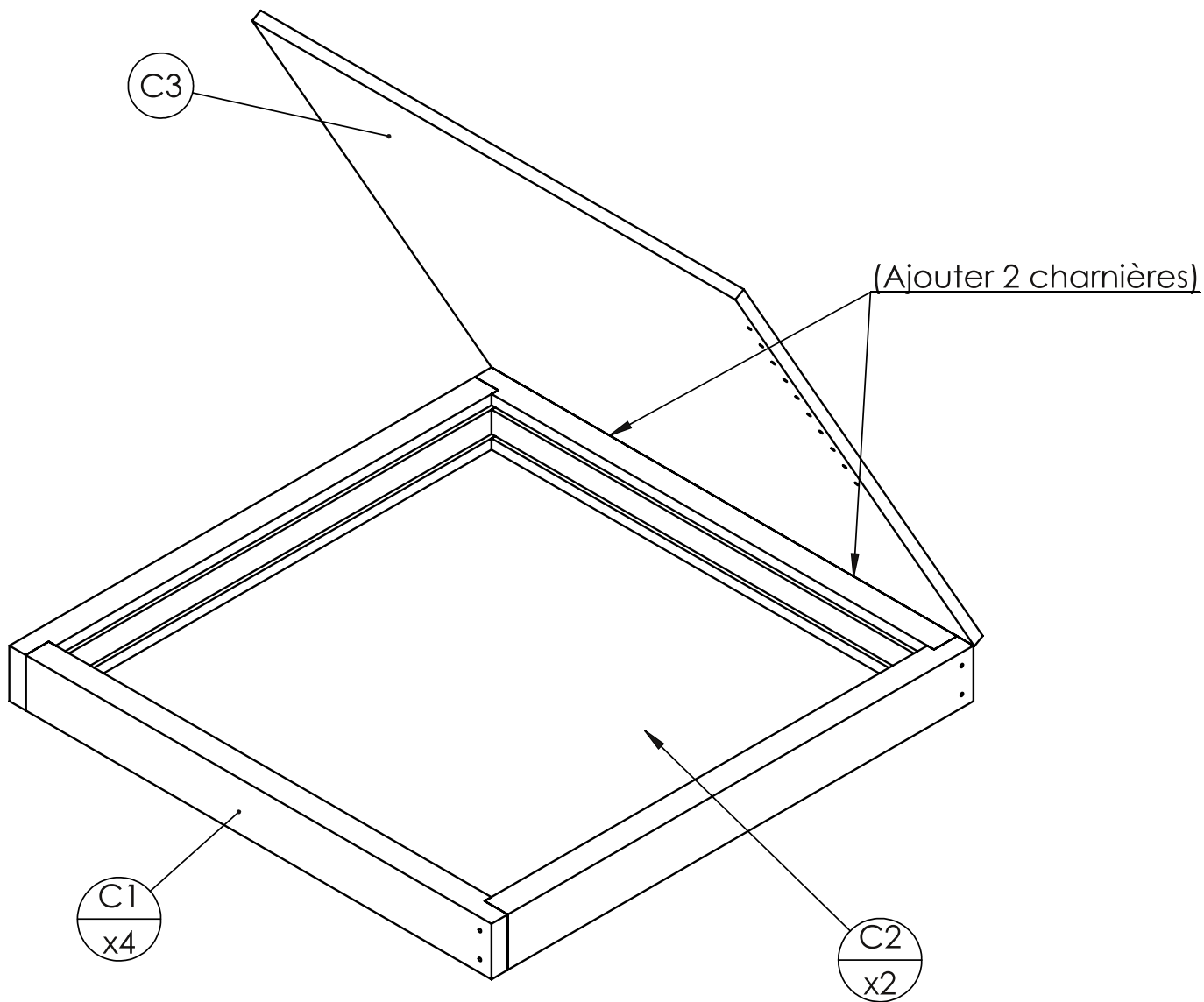
contreplaqué ép. 5mm
fasseaux 15x15



ANNEXE I
Paroi arrière

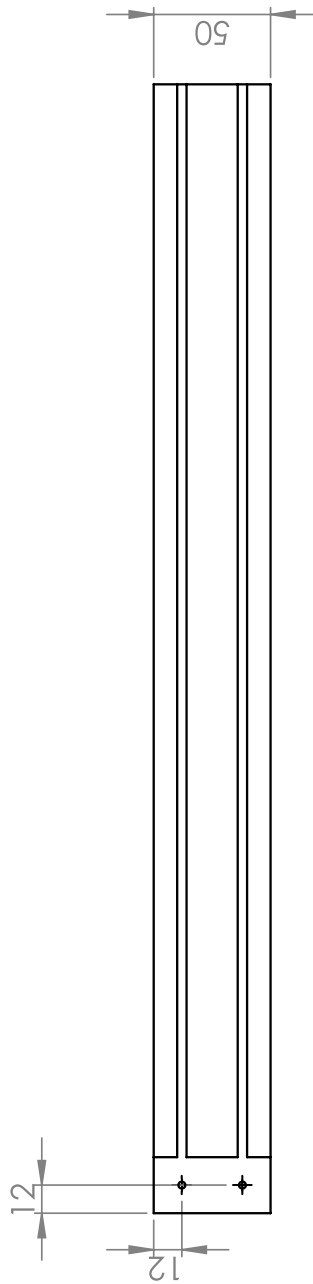
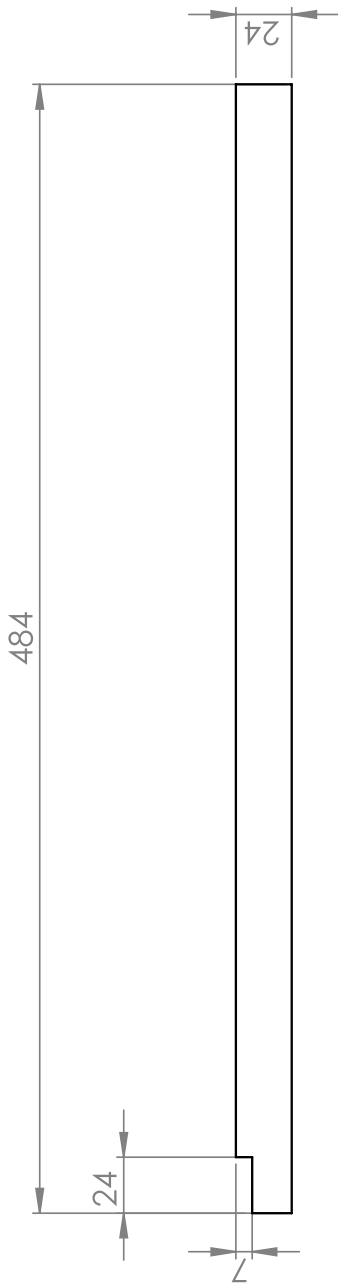
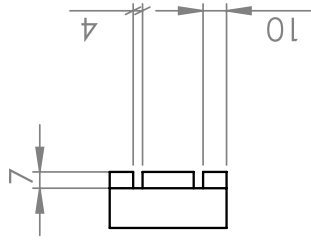
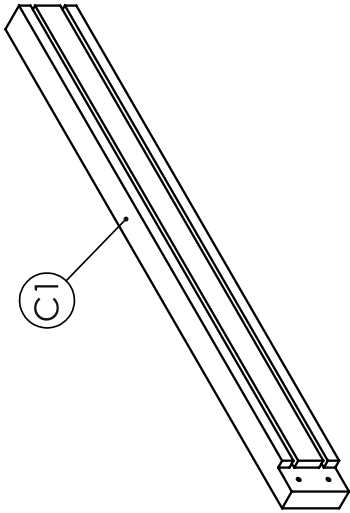


ANNEXE J
Dessous

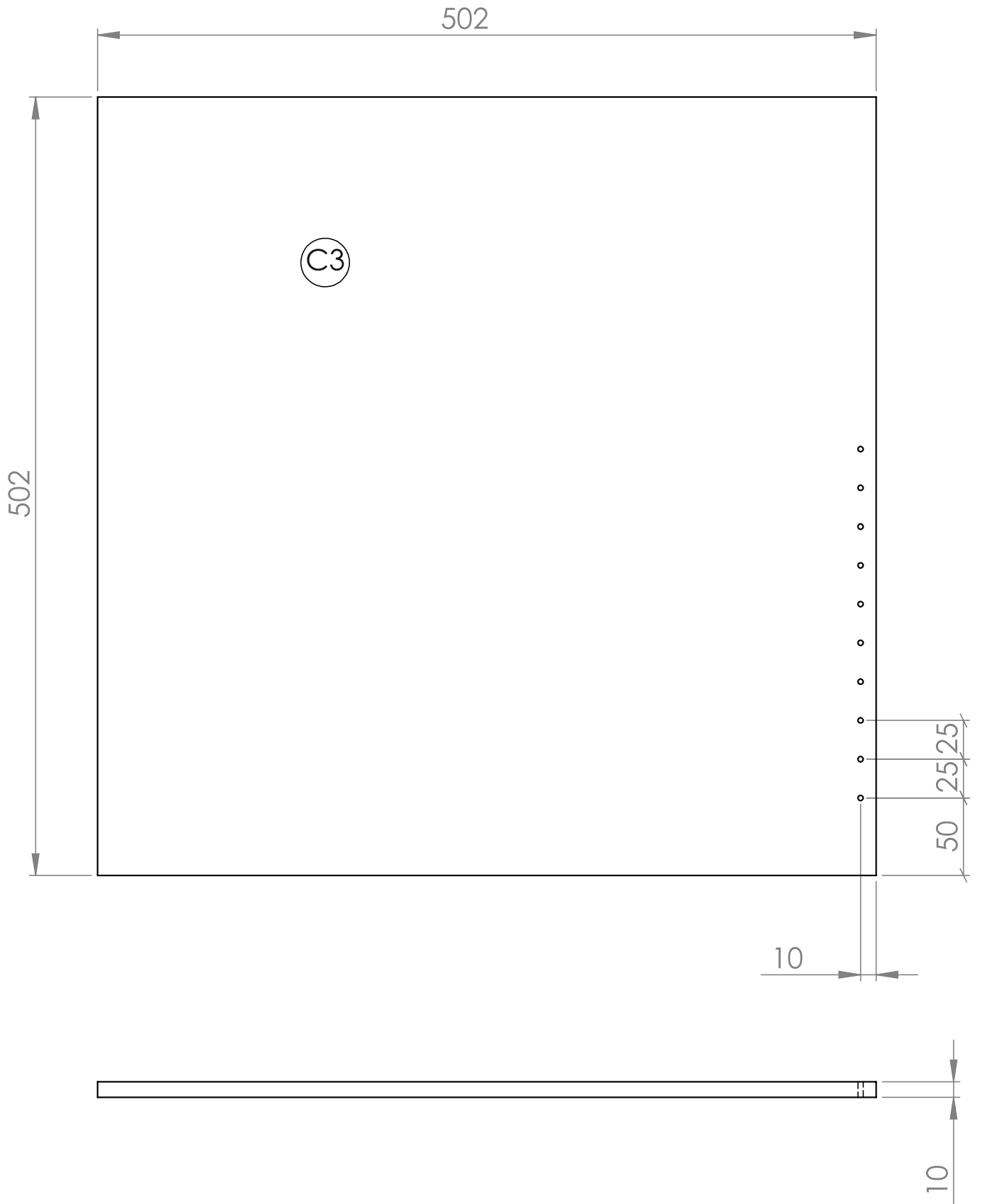


ANNEXE K

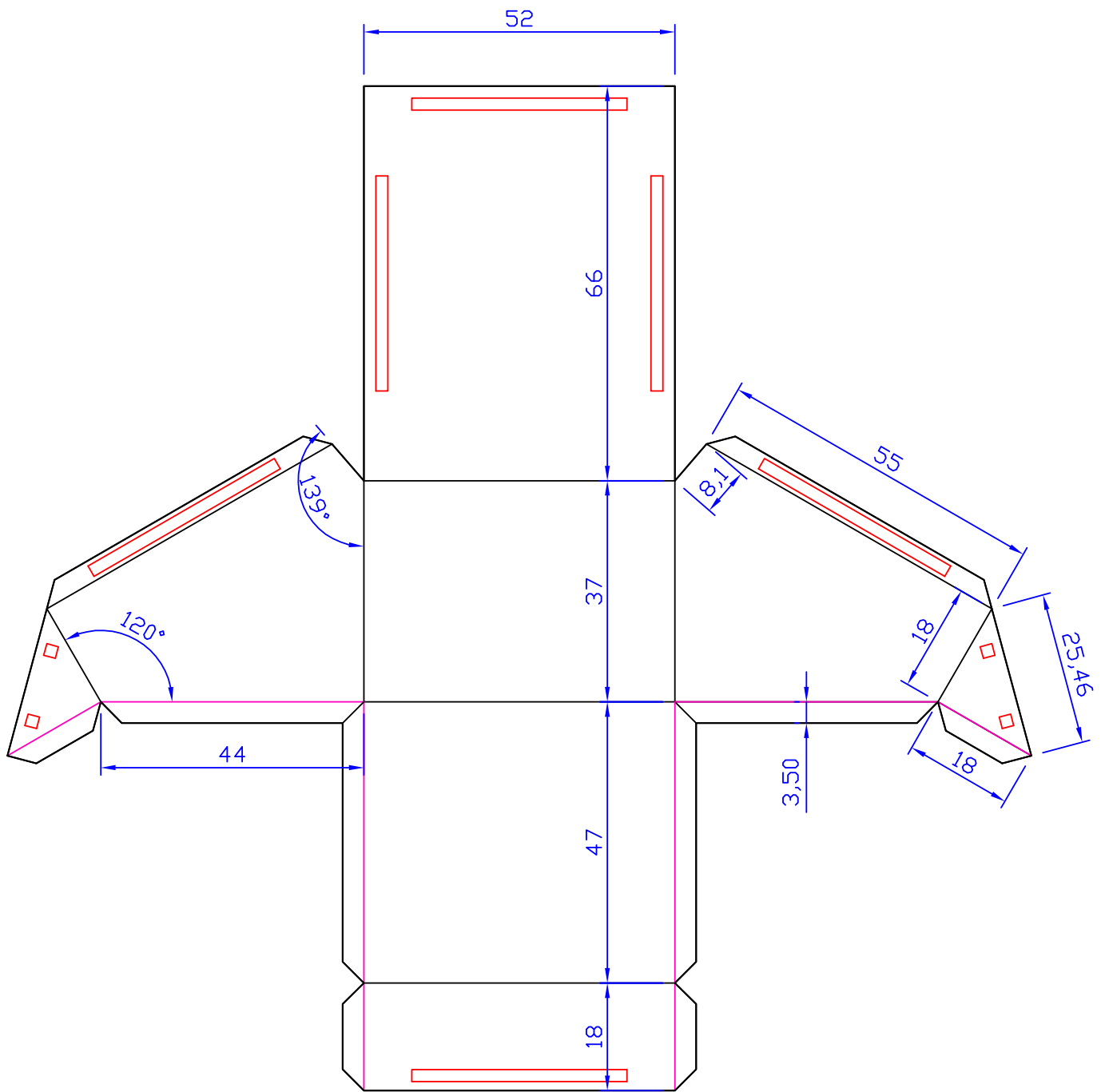
Assemblage cadre de vitre



ANNEXE L
Profilé cadre de vitre



ANNEXE M
Couvercle réflecteur



- Contour à découper
- Arrêtes à plier
- Cotations
- ▭ Scratches
- Arrêtes à coudre

ANNEXE N
Patron de la housse