

# INNOVATION **UTT**® **CRUNCH TIME**

[ZERO DECHET] – [Heliostat lowtech]

[604 B]

[HAQUET Lubin] - [HINGSTON Max] - [JOUANJAN Mathis]

[KARAKULAH Ozan] - [TIBERE-INGLESSE Maud] - [VAN HEEMS Anna]

Thématique 6

Professeur référent : Julien Proust



# Table des matières

1. Contexte .....	3
2. Introduction .....	3
3. Choix parmi la parabole & le four solaire .....	4
4. Géométrie .....	4
5. Etude de marché .....	5
6. Dimensionnement du four .....	6
7. Mécanisme d'orientation .....	7
Principe retenu .....	7
Principe de fonctionnement .....	8
Dimensionnement du ressort .....	8
Modélisation .....	8
8. Proposition de kit .....	8
9. Axes d'améliorations .....	9
10. Conclusion .....	9
Annexes .....	10
Images .....	10
Répartition des tâches .....	12
Diagramme de Gantt .....	12
Sources (mise en forme selon la norme 690 à l'aide de l'IA) .....	12

# 1. Contexte

Par opposition à la centrale électrique solaire avec leurs réflecteurs motorisés et répartis sur plusieurs hectares, il existe plusieurs systèmes de four solaire thermique individuel :

- Les paraboles, avec des réflecteurs optimisés en forme de parabole, utilisés en mode barbecue,
- Les fours solaires à caisson, facile à réaliser soi-même,
- Les fours solaires tube à vide,
- Les fours à panneaux, de simples récipients placés devant des réflecteurs plats (miroirs).

# 2. Introduction

L'héliostat est un ensemble qui soutient des panneaux photovoltaïques, généralement sur un mât, équipés de motoréducteurs électriques et alimentés par les panneaux eux-mêmes pour garder une orientation optimale avec le soleil. Notre sujet se concentre sur les panneaux solaires.

Notre objectif sur la durée du crunch est de créer un système mécanique "low-tech" permettant de garantir une bonne orientation avec le soleil.

En son sens le plus simple, la low-tech est une approche de conception qui cherche à mobiliser aussi peu de moyens techniques et humains que possible. On y associe souvent une recherche de la limitation de l'impact environnemental. Si on élargit encore un peu, on peut également ajouter un besoin d'accessibilité ainsi que de sécurité pour les utilisateurs.

Nous cherchons dans un premier temps à reproduire à faible coût un système solaire thermique low-tech similaire à un four solaire à tube ou une parabole. Puis, dans un second temps, nous imaginerons un prototypage pour l'automatisation de l'orientation.

Quelques exigences fonctionnelles :

- Rotation azimutale obligatoire : mouvement continu d'est en ouest ( $\approx 15^\circ$ /heure)
- Autonomie minimale de 5 heures consécutives sans intervention
- Mise en place et démarrage manuels
- Si possible pas d'électricité issue d'un panneau photovoltaïque externe (logique low-tech)
- Réalisable avec des matériaux de récupération ou en kit auto-construction

### 3. Choix parmi la parabole & le four solaire

Les fours paraboliques et à tubes à vides offrent tous deux des avantages et inconvénients distincts et ont des applications de cuisson différentes. Un four à tube retient mieux la chaleur, mais la durée de chauffe est plus longue. Un four parabolique est généralement moins coûteux, mais son utilisation est plus complexe et les risques de brûlures sont plus élevés.

Le four tube à vide est retenu pour ce projet. Bien que le coût soit plus élevé, nous considérons que la sécurité et l'accessibilité supérieures s'inscrivent mieux dans les objectifs du low-tech. De plus, sa capacité à conserver la chaleur même en cas de passage nuageux constitue un avantage décisif pour une utilisation en France, où l'ensoleillement est intermittent. Il correspond également mieux à une logique de cuisson de groupe (familles, associations).

Un tableau comparatif des fours solaires paraboliques et tubulaires est disponible en annexe.

### 4. Géométrie

La concentration des rayons solaires sur le tube passe par un réflecteur en forme de parabole.

La relation géométrique fondamentale est :

$$y = \frac{x^2}{4F} \text{ avec } F = \frac{W^2}{16D}$$

Avec le rapport optimal  $F = \frac{W}{4}$  (car  $D = F$ ), pour une ouverture  $W = 75 \text{ cm}$  :

- Distance focale :  $F = 18,75 \text{ cm}$
- Profondeur du réflecteur :  $D = 18,75 \text{ cm}$
- Équation de la parabole :  $y = x^2 / 75$
- Périmètre de la demi-ellipse :  $89 \text{ cm}$
- Aire de captage du réflecteur :  $0,76 \text{ m}^2$

Il faut ensuite déterminer l'aire de la tôle en aluminium pour le support des miroirs solaires

Périmètre courbe d'une demi-ellipse :

$$P = \pi \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}} = 89 \text{ cm}, \quad \text{avec } a \text{ le demi grand axe et } b \text{ le demi petit axe}$$

$$\text{Aire} = 0,89 \times 0,85 = 0,76 \text{ m}^2$$

Il nous faut donc  $0,76 \text{ m}^2$  de tôle pour couvrir la parabole.

On décide également de mettre le tube à une hauteur d'environ  $1\text{m}20$  du sol pour qu'il soit facilement accessible pour une utilisation debout.

## 5. Etude de marché

Après avoir étudié quelques produits trouvés sur le marché, on relève dans le tableau suivant leurs différentes caractéristiques.

Produit	Prix	Capacité	Dimensions	Masse	Température de cuisson	Montée en température	Type de cuisson
Four solaire nomade	350€	4,5 L	12,5 x 10,2 x 58 cm	5,1 kg	80 à 232 °C	20 à 30 min	au four, mijoté, vapeur
Four 70 mm KELUNIS	280€	1,5 L	50 x 78 x 20 cm	4,7 kg	120 à 300°C	15 min	au four, mijoté, vapeur, grill
Four	387.75€	2,6 L	62 x 26 x 22 cm	4.6 kg	120 à 371°C	N/A	au four, mijoté, vapeur ou grillé
Four solaire sunchef	900€	5 L	65 x 80 x 95 cm	12 kg	200 à 250°C	<10 min	au four, mijoté, vapeur ou grillé

*Tableau récapitulatif des caractéristiques de quelques produits du marché (sources en annexe)*

Bien que tous les produits présentés ne remplissent pas des fonctions entièrement identiques (four de voyage/de jardin par exemple), certaines caractéristiques communes se retrouvent dans l'ensemble d'entre eux, comme la température et la polyvalence des applications de cuisson. Ces caractéristiques seront à retrouver dans notre produit final. Toujours dans l'optique de la low-tech, nous chercherons à minimiser le prix, l'impact environnemental, les risques d'utilisation ainsi que la simplicité d'utilisation.

## 6. Dimensionnement du four

Après différentes recherches, nous avons choisis les différentes composantes disponibles dans le tableau suivant :

Produits	Images	Lien	Prix
Tube		<a href="https://www.solarbrother.com/acheter/suntube-xl/">https://www.solarbrother.com/acheter/suntube-xl/</a>	299,95€
Miroir solaire		<a href="https://www.solarbrother.com/acheter/reflecteur-solaire-non-adhesif-s-reflect-200/">https://www.solarbrother.com/acheter/reflecteur-solaire-non-adhesif-s-reflect-200/</a>	24.85€ pour 1 m <sup>2</sup>
Charnière		<a href="#">Charnière vissable acier inoxydable A2   norelem FR</a>	70,8€ HT (pour 4 charnières)
Toile aluminium pour le support des miroirs solaires		<a href="https://www.bricoman.fr/produits/toile-aluminium-brut-l-1000-x-l-500-mm-epaisseur-0-5-mm-505533.html?srsId=AfmBOopB8AA5YhsQp-9wqLdKBAfF3rrpfPaqYhinyum0K1TRg6Q3Se8">https://www.bricoman.fr/produits/toile-aluminium-brut-l-1000-x-l-500-mm-epaisseur-0-5-mm-505533.html?srsId=AfmBOopB8AA5YhsQp-9wqLdKBAfF3rrpfPaqYhinyum0K1TRg6Q3Se8</a>	L.1000 x l.500 mm épaisseur 0,5 mm → 32€
Tube rond aluminium anodisé mat STANDERS ø10 x Ep.1 mm, L.1		<a href="https://www.leroymerlin.fr/produits/tube-rond-aluminium-anodise-mat-standers-10-x-ep-1-mm-l-1-m-87825810.html">https://www.leroymerlin.fr/produits/tube-rond-aluminium-anodise-mat-standers-10-x-ep-1-mm-l-1-m-87825810.html</a>	5,99€
Tube carré aluminium brut 16x16 mm x L. 1m		<a href="https://www.bricodepot.fr/p/3232637500708/?gclid=aw.ds&amp;gclid=0AAAAADzcReD KUXWq9oc0dcXF3UQx8qif">https://www.bricodepot.fr/p/3232637500708/?gclid=aw.ds&amp;gclid=0AAAAADzcReD KUXWq9oc0dcXF3UQx8qif</a>	6,80€
Héliostat Low Tech		notre création	indéterminé
Quincaillerie		<a href="https://www.norelem.fr/fr/">https://www.norelem.fr/fr/</a>	20€
Total			≈ 500€

Tableau récapitulatif des composantes de notre solution finale

Nous avons fait le choix de prendre un tube de cuisson solaire en taille XL de chez Solar Brother. Il s'agit d'un tube onéreux mais comportant une haute technologie sous vide utilisant la technologie

du solaire concentré avec un tube en verre thermo isolé. Ainsi, si un tube plus petit est sélectionné, le prix total sera réduit.

Notre solution finale :

Prix	Capacité	Dimensions	Masse	Température de cuisson	Montée en température	Type de cuisson
≈ 500€	7L	75 x 85 x 24,75 cm (hors trépied) + 110 x 50 x 50 cm (trépied entièrement déplié)	11 Kg	180°C à 250°C	200°C en 15 minutes	Au four, mijoté, vapeur ou grillé

*Tableau récapitulatif des caractéristiques de notre solution finale*

Notre système est plus grand que ceux sur le marché en moyenne (volume de cuisson plus élevé), cela est dû à notre volonté de créer un système utilisable par un public plus nombreux (familles, amis). Cela justifie ainsi un prix et une masse plus élevés. Cependant, nous avons conscience que cela peut entraîner un manque de mobilité. Cette solution est donc adaptée pour une utilisation sédentarisée.

## 7. Mécanisme d'orientation

### Principe retenu

Nous avons eu différentes pistes. L'une d'entre elles étant l'élaboration d'un système hydraulique. Nous avons cependant décidé d'abandonner cette idée. En effet, la réalisation d'un système hydraulique, pour une utilisation courante ne nous semblait pas pertinent, notamment de par l'importante consommation d'eau et les risques de fuites. Nous avons également envisagé le photovoltaïque mais l'extraction des composants a un important impact sur l'environnement et ne s'inscrivait ainsi pas dans une démarche low-tech. Nous avons également envisagé la possibilité d'un contrepoids, mais cette solution ne nous semblait pas adéquate et pouvait être plus difficile à mettre en place et moins durable dans le temps.

Notre choix technique s'est donc porté sur un ressort moteur en spirale, principe directement inspiré de l'horlogerie mécanique.

Ce type de ressort accumule une énergie mécanique lors d'un armement manuel, puis la restitue progressivement à vitesse constante via un échappement.

Cette solution présente trois avantages majeurs pour ce projet :

- Aucune électricité nécessaire, conforme à la philosophie zéro déchet
- Fabrication possible en impression 3D avec peu de matière (faible densité de remplissage)
- Coût maîtrisé et reproductible en kit ou auto-construction

## Principe de fonctionnement

Le soleil parcourt 360° en 24 heures, soit 15°/heure. Pour orienter un réflecteur fixe en azimut, on utilise la propriété optique de la réflexion : orienter le miroir de  $\alpha/2$  suffit à dévier le faisceau de  $\alpha$ . Le réflecteur doit donc tourner de 7,5°/heure, soit 0,5 tour en 24 heures.

## Dimensionnement du ressort

En procédant au dimensionnement, nous cherchons à déterminer la longueur de notre ressort.

Nous cherchons dans un premier temps à déterminer la vitesse (tr/min).

On sait que la Terre fait un tour en 24h.

Or par réflexion d'un angle  $\alpha$ , on trouve 0,5 tour en 24h. (Voir partie Principe de fonctionnement)

A.N. 
$$V = \frac{0.5}{24*60} = 0.00034 \text{ tr/min}$$

On détermine ensuite le nombre de tour total :

$$N = V * t = 0.102 \text{ tr} = 2.32 \text{ m}$$

On détermine la longueur L, l'épaisseur du fil est négligée :

$$L = N * (D + N) * \pi, \text{ avec } D \text{ le diamètre extérieur du tube}$$

$$L = 2.32 * (12.5 * 10^{-2} + 2.32) * \pi = 2.35 \text{ m}$$

On ajoute une légère marge, ainsi :

$$L = 2,5 \text{ m}$$

Ce résultat est cohérent car le ressort doit être particulièrement comprimé et le mécanisme doit tenir sur une longue période.

## Modélisation

Nous avons trouvé parmi plusieurs ressources, des fichiers CAO du système ressort moteur. Nous avons dans un premier temps décidé de l'imprimer afin de vérifier la conformité de notre modèle. Nous avons par la suite modélisé le trépied de notre système ainsi que le four à tube.

Les images de la CAO du système (four + trépied + positionnement) ainsi que les images de notre système de positionnement en impression 3D sont disponibles en annexes.

## 8. Proposition de kit

Afin de s'inscrire dans une démarche low-tech, nous souhaitons que les cartons et papiers bulles utilisées soient issus du recyclage. De plus, en agencant les différentes composantes de manières optimales, nous pouvons réduire les coûts et garantir de minimiser le risque de cassure lors du transport.

Le kit contiendrait :

- Le trépied
- Le miroir parabolique
- Le tube à vide
- Une bâche pour couvrir le système par temps de pluie
- Le moteur à ressort
- Un manuel d'utilisation

## 9. Axes d'améliorations

Après échange avec le dépositaire concernant notre solution, nous avons compris l'importance de simplifier au maximum le système. Cela passe notamment par la mise en place d'un procédé permettant de régler le souci de remise à niveau du système. De plus, en s'inscrivant dans une démarche low-tech, il nous a semblé primordial que le système soit facilement réparable, notamment face à des problèmes d'usure mécanique. Nous avons trouvé très enrichissant nos échanges et le retour du client car ils nous ont permis de mieux cerner les possibles difficultés que peut rencontrer l'utilisateur. Ce constat nous a semblé très important, la vision de l'utilisateur et du concepteur sur le produit peut être différente et doit être conciliés.

De plus, nous avons pour volonté de dépasser la simple conception. Le projet nous ayant beaucoup intéressé, nous avons à cœur de proposer un concept proof. Nous avons ainsi contacté des sociétés pouvant nous aider sur le projet et avons eu un retour positif de Solar Brother. Cette entreprise s'est proposée de nous envoyer des échantillons, ce qui nous donnerait la possibilité de continuer nos recherches.

## 10. Conclusion

En conclusion, ce sujet nous a permis de mobiliser de nombreuses compétences. Nous avons dans un premier temps développé nos capacités de communication et d'écoute en équipe lors d'échanges préliminaires.

Puis nous avons développé nos compétences en mécanique (pour le choix des procédés techniques, de modélisation et de fabrication notamment), en matériaux (pour le choix des matériaux utilisés notamment) et en génie industriel (par l'élaboration de techniques d'organisations et de respect de délai notamment).

Enfin, ce sujet nous a permis de nous questionner sur l'importance de l'utilisation de procédés "low tech". Être amené à réfléchir sur des solutions n'impliquant pas un moteur électrique "traditionnel" a été très enrichissant.

Ce Crunch a ainsi permis de renforcer notre vision de l'importance d'être des ingénieurs éthiques afin que l'industrie de demain soit plus respectueuse de l'environnement.

# Annexes

## Images

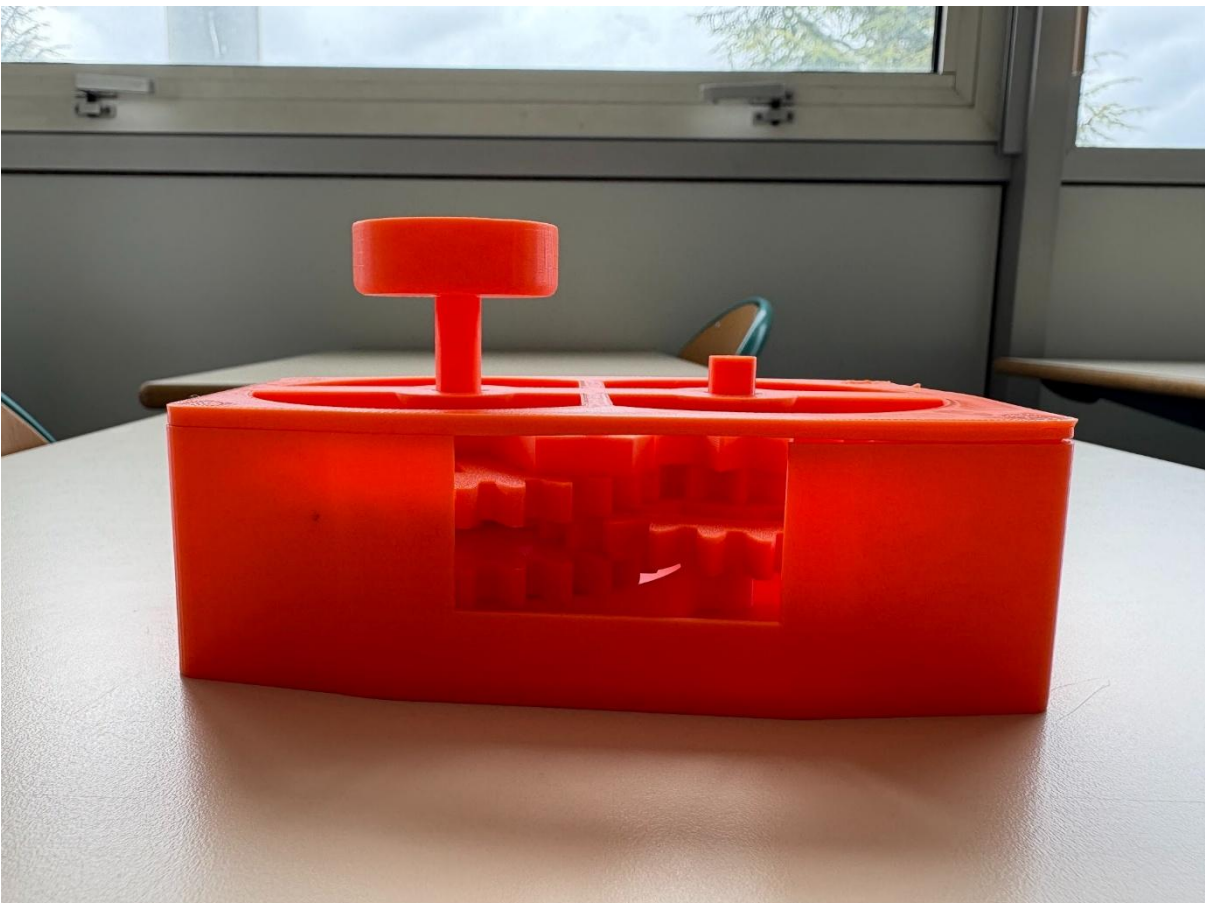


	<b>FOURS SOLAIRES PARABOLIQUES</b>	<b>FOURS SOLAIRES TUBULAIRES</b>
<b>Montée en température</b>	10 mn	5 mn
<b>Volume de cuisson</b>	1 – 8 litres	1 – 8 litres
<b>Type de cuisson</b>	Cuisson plaque	Tout
<b>Style de cuisson</b>	Cuisson soutenue et grillade	Cuisson soutenue et grillade
<b>Technologie</b>	Concentration	Concentration et conservation
<b>Ciel nuageux</b>	Arrête de chauffer	Conserve et continue de chauffer
<b>Poids</b>	10-15 kg	3 – 10 kg
<b>Portabilité</b>	Selon modèles	Selon modèles
<b>Durabilité</b>	Lames métalliques fragiles, protéger des chocs	Tube en verre fragile, protéger des chocs

*Tableau comparatif des fours solaires paraboliques et tubulaires*



*Image du mécanisme de positionnement en impression 3D vu du dessus*



*Image du mécanisme de positionnement en impression 3D vu du côté*

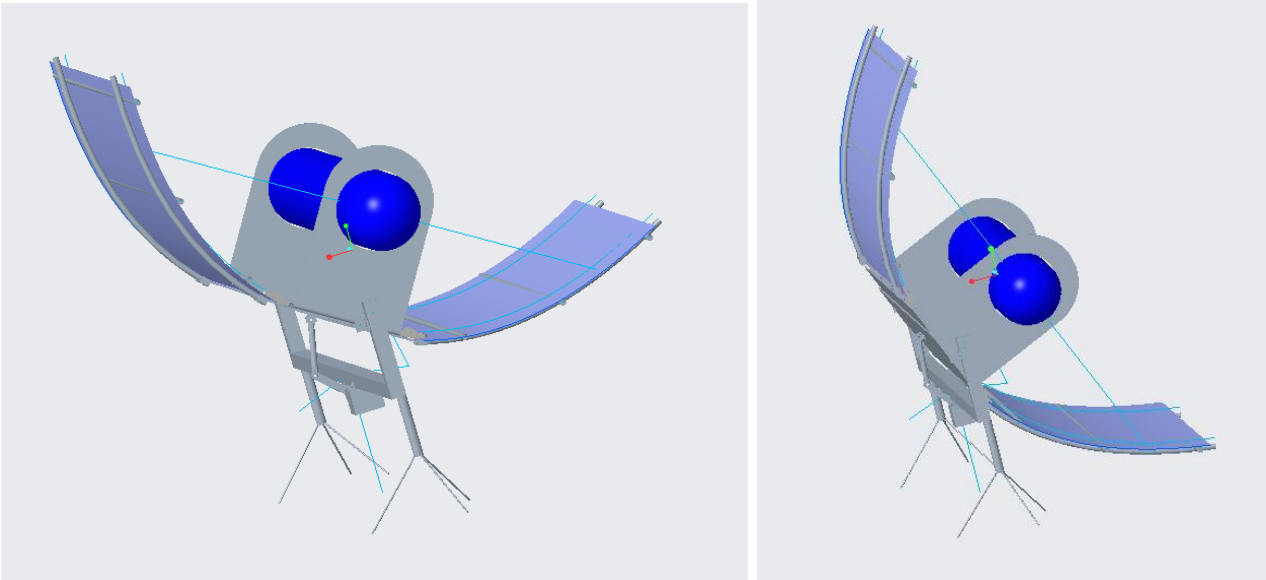


Image du prototype de la CAO

## Répartition des tâches

Lubin : Montage de la vidéo, Étude de marché, Choix des composantes  
 Mathis : CAO du four solaire, Choix des composantes et dimensionnement du four  
 Max : Géométrie, Étude de marché et choix des composantes  
 Ozan : CAO du mécanisme d'orientation  
 Maud : Dimensionnement du ressort, rédaction de la synthèse  
 Anna : CAO du four solaire, Géométrie et dimensionnement du four

## Diagramme de Gantt

Crunch P26				
Mardi		Mercredi		Jeudi
Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin
Choix parmi Parabole et four solaire		Etude de marché	Tournage de la vidéo	Montage vidéo
Géométrie	Choix des composants	Rédaction de la synthèse		Rédaction de la synthèse
Dimensionnement du four				
Mécanisme d'orientation				
	Dimensionnement du ressort			
Modélisation CAO				

## Sources (mise en forme selon la norme 690 à l'aide de l'IA)

### Références du marché

1. POSITIVE DREAMS. Four solaire nomade "Tube" : 4,5 L avec thermomètre grande capacité en tube [en ligne]. s.d. [Consulté le 19 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.positivedreams.fr/produit/four-solaire-nomade-45-l-avec-thermometre-grande-capacite-en-tube/>
2. KELUNIS. Four Solaire Cuisson (Réf. B09MTJTLQX) [en ligne]. Amazon.fr, s.d. [Consulté le 19 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.amazon.fr/KELUNIS-Four-Solaire-Cuisson/dp/B09MTJTLQX>
3. AMAZON. Fiche produit (Réf. B0H1CW4SW5) [en ligne]. Amazon.fr, s.d. [Consulté le 19 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.amazon.fr/dp/B0H1CW4SW5>

4. SOLAR BROTHER. Four solaire SunChef [en ligne]. s.d. [Consulté le 19 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.solarbrother.com/acheter/four-solaire-sunchef/>
5. LE COMPTOIR DU SOLEIL. Le Comptoir du Soleil : Produits de cuisine solaire grand public [en ligne]. [Consulté le 20 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://lecomptoirdusoleil.fr/>
6. PANATERE. Panatere : Four solaire pour recycler des métaux [en ligne]. [Consulté le 20 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.panatere.com/>
7. MICROBRASSERIE HÉLIE. Microbrasserie Hélié : Brasserie artisanale solaire [en ligne]. [Consulté le 20 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://microbrasseriehelie.odoo.com/>

#### Information produit solaire

1. LOWREKA. Comment choisir son four solaire ? [en ligne]. Blog Lowreka, s.d. [Consulté le 19 mai 2026]. Disponible à l'adresse : <https://lowreka.com/blogs/news/four-solaire-choisir>