

« DistillaSun »
ou
Comment distiller des eaux parfumées avec
l'énergie solaire ?
Un projet Solidaire, Durable et Sociétal



Fondation Dar Bellarj – Marrakech Médina – 20/01/2016

INTRODUCTION

Les eaux parfumées obtenues par hydrodistillation sont très utilisées au Maroc tant pour l'eau de fleur d'oranger en cuisine, l'eau de rose démaquillante ou encore l'eau de thym ou de romarin pour leurs vertus curatives des affections respiratoires et digestives. Nos partenaires marocains avec lesquels notre établissement entretient des liens depuis 2012, nous ont demandé d'étudier un dispositif d'hydrodistillation utilisant l'énergie solaire limitant ainsi les rejets de gaz à effet de serre et le rendant accessible financièrement au plus grand nombre.

Dans un premier temps, nous avons dû, par mimétisme, réfléchir à un dispositif permettant de distiller, optimisant au fur et à mesure, tant le fonctionnement que le coût. Dans un second temps, nous avons dû vérifier que les eaux obtenues étaient proches tant en quantité qu'en qualité à celles recueillies par une méthode traditionnelle.

Lien vers notre site Internet : <http://www.vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/distillsun>

Lien vers notre vidéo de présentation :

SOMMAIRE

	Page
Introduction	2
Sommaire	2
A- Comment distiller avec l'énergie solaire ?	3
1) Mimétisme entre méthode traditionnelle et méthode solaire	3
2) Le choix d'une parabole	5
a) Puissance apportée par un brûleur à gaz	5
b) Puissance apportée par une parabole	6
B- Comment fabriquer un dispositif bon marché ?	10
1) Recyclage d'une parabole satellite	10
a) Le pavage d'une parabole satellite	
b) Position du support	11
2) Construction d'une parabole (perspectives)	12
C- Les eaux parfumées sont-elles comparables à celles obtenues par une méthode traditionnelle ?	14
1) Espèces chimiques attendues	14
2) Analyse quantitative par extraction par solvant	14
3) Analyse qualitative par CPG	15
Conclusion et Perspectives	17

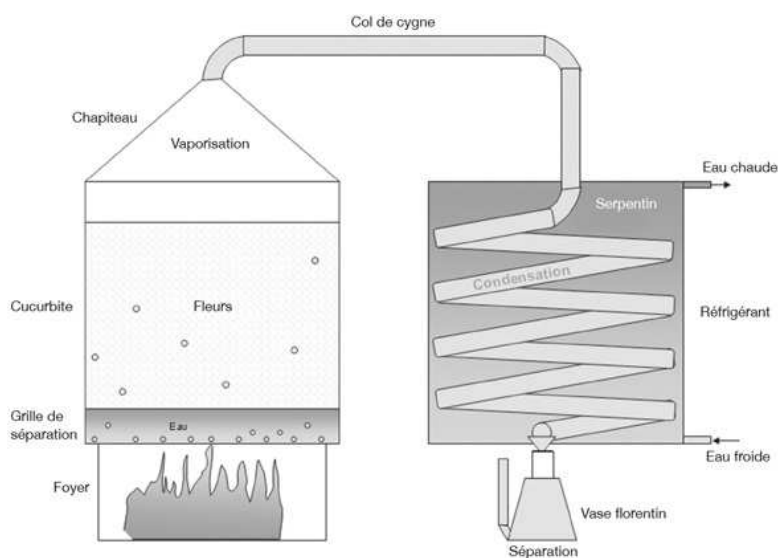
A- Comment distiller à l'aide de l'énergie solaire ?

1) Mimétisme entre méthode traditionnelle et méthode solaire

Du 18 au 20 novembre 2015, nous nous sommes rendus à Marrakech pour rencontrer artisans et femmes de la Médina qui distillent des eaux parfumées. Nous avons constaté que cette tradition perdure dans les familles, que des artisans vendent leurs produits dans le souk. Nous avons recolté bon nombre d'informations tant dans les secrets de procédés, que les ratios fleurs/eau utilisée/distillat obtenu.

Le principe est simple et proche de celui que nous avons rencontré en cours de physique-chimie, appelé hydrodistillation :

- ❶ De l'eau est portée à ébullition
- ❷ Les vapeurs traversent les fleurs dont on souhaite extraire les huiles essentielles
- ❸ Les huiles sont alors entraînées par les vapeurs d'eau dans lesquelles elles sont totalement solubles à l'état gazeux
- ❹ Ces vapeurs sont liquéfiées dans un réfrigérant avec de l'eau froide
- ❺ On récupère un distillat dans lequel il est parfois possible de distinguer nettement une phase organique surnageant si les huiles sont très peu solubles dans l'eau à l'état liquide, comme nous avons pu le constater avec le romarin.



Doc.1 : Hydrodistillation traditionnelle

Source : CIRAD Mayotte



Doc.2 : Dispositif utilisé au Maroc

Conseils des « spécialistes » Marrakchis	Choix de matériel
Eviter les pertes de vapeur	Dispositif étanche : Cocotte minute avec joint en état
Apporter suffisamment de chaleur pour avoir un bon débit de vapeur	Source apportant une puissance la plus grande possible : « parabole solaire » concentrant les rayons lumineux sous la cocotte
Maintenir les plantes les plus sèches possible	Peindre la cocotte totalement en noir pour qu'elle chauffe en totalité et pas simplement dessous
5L d'eau pour 1 kg de fleurs	Dans une cocotte de 8L, seulement 2,5 L d'eau et 500 g de fleurs pour laisser un peu d'espace entre l'eau et les fleurs
Toutes les vapeurs doivent passer dans les plantes	Panier de même diamètre que celui de l'intérieur de la cocotte pour limiter les vapeurs ne traversant pas les plantes
Maintenir le distillat froid avec un linge humide : en effet leur système de refroidissement permet de liquéfier les vapeurs mais ne refroidit que peu le distillat	Préférer un réfrigérant plus important comme sur le doc. 1 pour que les eaux récupérées soient plus froides afin de limiter les pertes par évaporation, à défaut d'un véritable essencier trop onéreux.
Préférer un récipient en verre	Bouteille en verre pour récupérer le distillat. Essai avec une bouteille en plastique : les huiles apolaires adhèrent au polyéthylène apolaire

Doc.3 : Dispositif de distillation solaire

Support légèrement décalé par rapport au foyer mais situé sur un foyer secondaire pour équilibrer l'ensemble

Col de Cygne
Tuyau flexible pour faciliter le suivi du Soleil



Réfrigérant
Bidon rempli d'eau avec serpentin en cuivre recuit pour sa malléabilité et sa très bonne conductivité thermique.

- vapeurs liquéfiées sur les deux premiers tours et distillat refroidi avant d'être récupéré pour limiter les pertes par évaporation ;
- tuyau de vidanges remontant à la moitié du bidon pour évacuer l'eau chaude



Essencier
Bouteille en verre pour récupérer le distillat

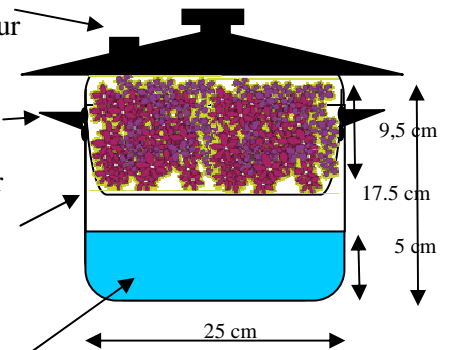
Chaudière et cucurbit
Cocotte minute de 8L recouverte d'une peinture noire haute température qui lui confère un coefficient d'absorption mesuré $\alpha=0,91$.

- Peinte totalement en noire, pour pouvoir :
- négliger son ombre sur la parabole car elle capte directement les rayons ;
 - maintenir une température élevée dans la cocotte dès le début de la chauffe et donc maintenir les plantes assez sèches.

Adaptation de la sortie existante pour flexible étanche

Utilisation des vis de la poignée pour maintenir le panier
Panier percé pour les fleurs, seul chemin possible pour les vapeurs

2.5L d'eau



Foyer
Paraboloïde de profondeur 24cm, et diamètre 1,50m qui conduit à une distance focale de 61cm confirmée par les mesures expérimentales avec une source à l'infini.

- Recouvert d'un papier autocollant réfléchissant de coefficient de réflexion mesuré $R=0,90$.
- Orientable horizontalement pour suivre l'azimut du soleil et verticalement pour suivre son inclinaison

2) Le choix d'une parabole

La puissance apportée par le four solaire mis au point par nos prédécesseurs n'étant pas suffisante pour rivaliser avec le temps mis pour porter l'eau à ébullition par méthode traditionnelle, nous avons choisi la parabole solaire, tout en pensant recycler des paraboles satellites.

a) Puissance moyenne apportée par un brûleur à gaz

Nous avons évalué la puissance apportée à l'eau par un brûleur à gaz pour la comparer à une parabole solaire, l'objectif étant de choisir la dimension des paraboles à recycler, leur diamètre variant de 50cm à plus de 2m.

Expérience : Mesure de la puissance apportée par un brûleur traditionnel

Protocole :

- Introduire 6 L d'eau initialement à température ambiante dans la cocotte
- Chauffer à l'aide du brûleur à pleine puissance
- Mesurer le temps pour atteindre l'ébullition

Observations : L'eau bout en 17 min.

$$\text{On a donc : } P_{\text{eau}} = \frac{6000 \times 4,18 \times (100 - 18)}{17 \times 60} = 2,0 \text{ kW}$$

Avec $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$, la capacité calorifique massique de l'eau.

$$\text{D'où } P_{\text{eau}} = \frac{6000 \times 4,18 \times (100 - 18)}{17 \times 60} = 2,0 \text{ kW}$$

Conclusion : Cette puissance est grande comparée à la constante solaire, soit le flux solaire au dessus de l'atmosphère qui est de 1361 W.m^{-2} . Le flux solaire au sol sera nécessairement plus faible et donc, même avec un rendement de 100%, la parabole de plus grand diamètre possible semble s'imposer.

b) Puissance apportée par une parabole

La parabole solaire du commerce dont nous disposons à Tours comme à Marrakech, a un diamètre de 1,50m. Si pour le brûleur à gaz, la puissance apportée varie peu selon les expériences, pour la parabole, celle-ci sera fonction de l'ensoleillement. Nous allons donc chercher à déterminer le rendement du dispositif pour un ensoleillement donné en supposant qu'il est indépendant de ce dernier.

Protocole :

- Disposer la même cocotte minute contenant 6,00L d'eau sur le support central de la parabole et la refermer tout en mesurant la température de l'eau
- Orienter la parabole face au soleil selon l'horizontale et l'ajuster à la verticale pour que la tache où convergent les rayons se trouve sous la cocotte
- Mesurer l'inclinaison des rayons solaires par rapport à l'horizontal et celle de la cocotte
- Mesurer le temps pour que l'eau entre en ébullition

Mesures du 21/01/2016 à 11h15 :

$$\Delta t = 52 \text{ min} / \theta_i = 20^\circ\text{C} / \theta_f = 100^\circ\text{C}$$

Inclinaison des rayons solaires $\alpha_{\text{rayons}} = 33^\circ$ et Inclinaison de la parabole $\alpha_{\text{para}} = 44^\circ$

$$P_{\text{eau}} = \frac{6000 \times 4,18 \times (100 - 20)}{52 \times 60} = 643 \text{ W} = 0,64 \text{ kW}$$

Conclusion :

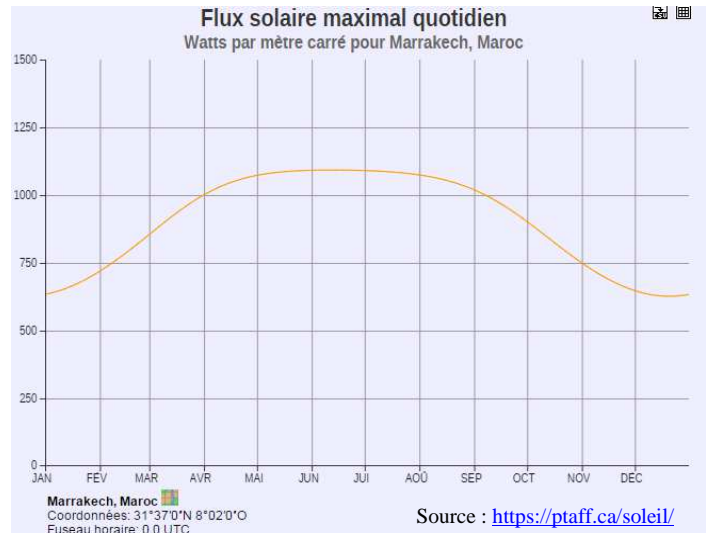
La puissance apportée à l'eau par la parabole en janvier est donc considérablement plus faible qu'avec un brûleur à gaz. Ce n'est pas la période où les Marocains distillent leurs eaux parfumées,

celle-ci s'étendant d'avril à juin, moment de floraison. Pour prévoir le temps de chauffe ou la puissance apportée à l'eau à cette époque, nous avons évalué le rendement du dispositif dans le cas présent.

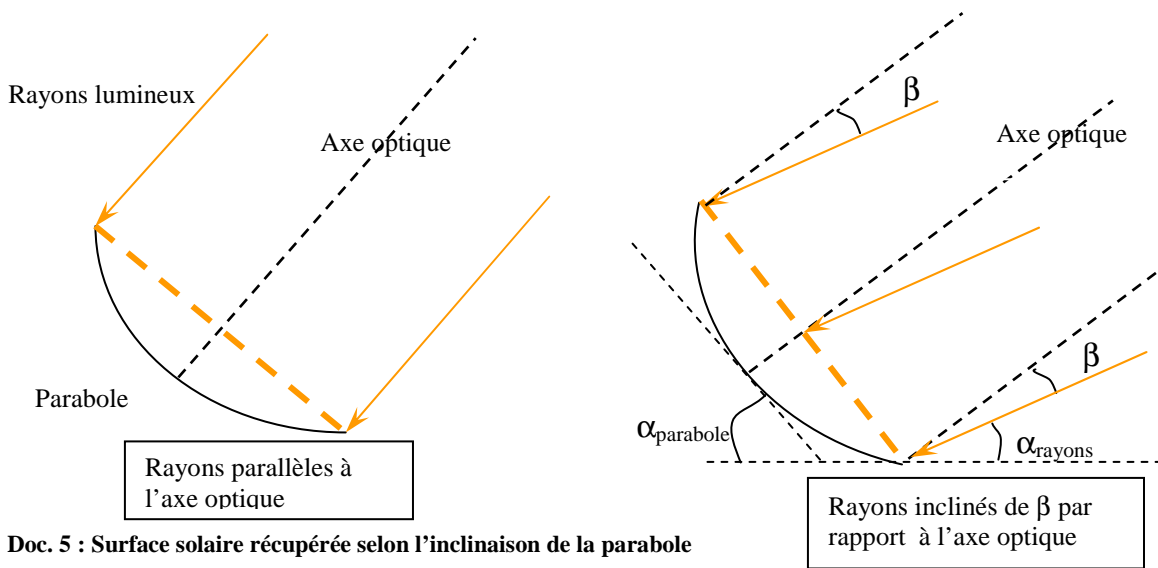
A l'aide d'un site internet, nous avons pu récupérer le flux solaire Φ maximal au sol en fonction du jour de l'année. Le 21/01 à 12h00 il était de 681 W/m² avec une hauteur maximale du soleil de 38°.

Remarquons que les rayons solaires n'arrivent pas sur la parabole parallèlement à son axe optique, mais inclinés de $\beta=13^\circ$ ($\beta=90-\alpha_{\text{para}}-\alpha_{\text{rayons}}$).

Ainsi la surface solaire récupérée sera diminuée, $S'=S\cos\beta=0,97S$. Nous perdons seulement 3%, mais ceci a permis au dispositif de gagner en stabilité comme nous le verrons par la suite.



Doc 4 : Flux solaire maximal quotidien à Marrakech sur l'année



Ainsi la puissance solaire collectée par la parabole est :

$$P_{\text{solaire}} = \Phi S \cos \beta = \Phi \pi R^2 \cos \beta$$

A.N. : $P_{\text{solaire}} = 681 \times \pi \times \left(\frac{1,50}{2}\right)^2 \cos 13 = 1172 \text{ W} = 1,17 \text{ kW}$.

Nous avons précédemment vu que l'eau récupérait 0,64 kW. Le rendement du dispositif est donc de 55%. Où sont passés les 0,53 kW manquants ?

Première hypothèse : La première hypothèse que nous ayons formulée fût sur le papier miroir : il absorbe une partie de la lumière qu'il reçoit. Ce coefficient d'absorption dépend aussi probablement de la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Expérience :

- Mesurer la puissance incidente d'un rayon laser He-Ne (633 nm)
- Mesurer la puissance réfléchiée par le papier miroir pour différents angles

Conclusion : Le coefficient de réflexion R vaut 0.90 pour un angle de 10°.

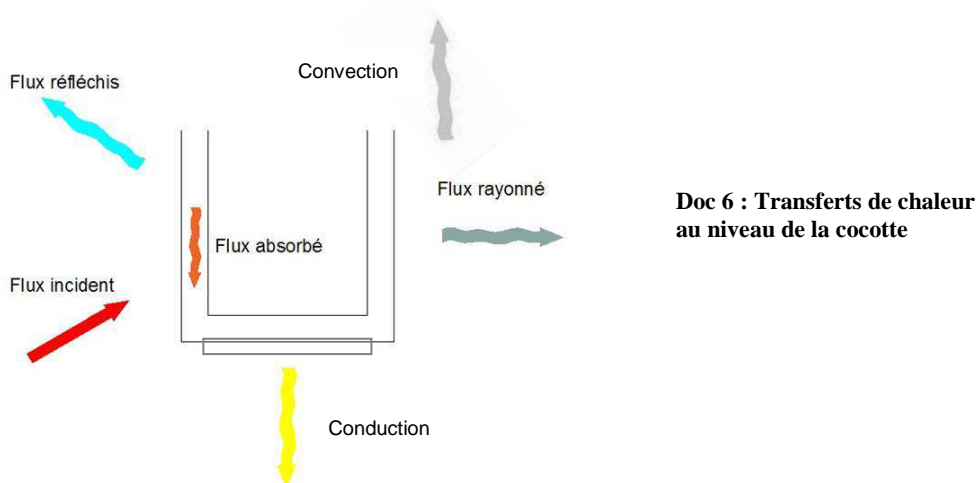
2de hypothèse : La cocotte n'absorbe pas la totalité de la lumière qu'elle reçoit même peinte en noir.

Expérience : Avec un radiomètre, nous avons mesuré son albédo, c'est-à-dire le pourcentage de lumière renvoyé par diffusion.

Conclusion : 9% ($\pm 1\%$) de la lumière est diffusé, donc la cocotte n'absorbe que (91 ± 1)% de la lumière qu'elle reçoit, son coefficient d'absorption vaut $\alpha = 0,91$.

Donc, nous avons expliqué que quel que soit le flux incident sur la parabole, la puissance absorbée par la cocotte est $P_{abs} = \alpha R P_{solaire} = 0.82 P_{solaire}$. Une perte de 18% s'explique donc mais pas de 49%.

3^{ème} hypothèse : La cocotte qui s'échauffe va perdre de l'énergie par rayonnement mais aussi par convection et conduction car elle ne sera pas à la même température que son environnement. La figure ci-dessous résume tous les transferts de chaleur ayant lieu :



Connaissant ces différentes pertes, nous avons souhaité établir un modèle permettant d'évaluer le temps nécessaire pour atteindre l'ébullition d'un certain volume d'eau avec un ensoleillement donné. Nous ne prendrons pas en compte les pertes par conduction, même si probablement elles sont non négligeables sur le support de la cocotte.

- Perte de chaleur due au rayonnement thermique

$$P_{RAY} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot s T_{cocotte}^4$$

- ε est l'émissivité de l'acier inoxydable recouvert de noir. Avec l'hypothèse du corps noir, $\varepsilon = \alpha = 0,91$

- $\sigma = 5,6696 \cdot 10^{-8}$ est la constante de Boltzmann

- $T_{cocotte}$ est la température à la surface du métal (en K).

- s est la surface de contact entre la cocotte et l'air (en m²).

Remarquons que ces pertes dépendent de la température qui varie.

- Perte de chaleur due à la convection naturelle

$$P_{CONV} = h s (T_{cocotte} - T_{air})$$

- s est la surface d'échange entre l'air et la cocotte (en m²)

- T_{air} est la température de l'air ambiant (en K)
- h est le coefficient d'échange de surface de l'air. Il dépend de la température, la viscosité, la conductivité, la diffusivité, la masse volumique de l'air, etc. Dans notre cas, nous avons pris la valeur maximale de h (10 W/m².K) que nous avons trouvée sur internet de manière à ne pas minimiser les pertes.

Une fois encore, ces pertes dépendent de la température de la cocotte qui varie.

Ne considérant que ces pertes, la conservation de l'énergie peut s'écrire :

$$P_{\text{eau}} = P_{\text{ABS}} - (P_{\text{RAY}} + P_{\text{CONV}})$$

$$mc_{\text{eau}} \frac{dT}{dt} = \alpha R \Phi S \cos \beta - \epsilon \sigma s T^4 - hs(T - T_{\text{air}})$$

Nous obtenons une équation différentielle du premier ordre non linéaire. Nous l'avons résolue par la méthode d'Euler.

$$mc_{\text{eau}} \frac{T_{i+1} - T_i}{dt} = \alpha R \Phi S \cos \beta - \epsilon \sigma s T_i^4 - hs(T_i - T_{\text{air}})$$

$$T_{i+1} = \frac{\alpha R \Phi S \cos \beta - \epsilon \sigma s T_i^4 - hs(T_i - T_{\text{air}})}{mc_{\text{eau}}} dt + T_i$$

Connaissant la température initiale de l'eau, nous pouvons petit à petit en choisissant un pas d'incrémentation peu important, remonter à la durée d'ébullition.

t (s)	t (min)	T (K)
0	0.0	293
20	0.3	293.7
40	0.7	294.4
60	1.0	295.1
80	1.3	295.8
...		
2840	47.3	372.4
2860	47.7	372.8
2880	48.0	373.3

α	0.91
R	0.9
θ (°)	13
D (m)	1.5
S (m ²)	1.76625
s (m ²)	0.2355
T_{ext} (K)	293
dt (s)	20
m (g)	6000
h (W/m ² .K)	10
Φ (W/m ²)	681

Doc.7 : Estimation théorique du temps pour atteindre l'ébullition

En utilisant cette technique de résolution et nos hypothèses, nous avons trouvé que l'eau aurait dû bouillir en 48min et non 52min, soit un écart d'environ 8%. L'expérience ayant commencé vers 11h00, le flux n'était pas à son maximum comme le justifie la hauteur du soleil mesurée à 33° et non 38°, maximum théorique ce jour en question. Les pertes par conduction ont été négligées, celles par convection forcée (vent) aussi...Le modèle est donc perfectible.

Ainsi, nous avons pu estimer de deux façons différentes le temps de chauffe de l'eau en partant d'une température voisine, soit 20°C, lors de nos prochains déplacements :

- soit en supposant que le rendement sera le même, soit 55%. Les pertes instantanées étant proportionnelles à la température de l'eau ou à sa puissance 4, et non au flux solaire, le rendement sera supérieur lorsque le flux solaire sera plus important.
- Soit en utilisant le modèle ci-dessus.

	Fin mars	Début mai
Flux solaire (W/m ²)	990	1080
Puissance solaire (kW)	1,72	1,87
Puissance moyenne apportée à l'eau (kW)	0.95	1.03 (50% par rapport brûleur à gaz)
Temps de chauffe (min) de 2,5* L pour un rendement de 55%	15	13
Temps de chauffe de 2,5* L avec le modèle théorique	13	11.5
Temps de distillation pour 1,5* L (min)	59	55

* : volumes utilisés lors de nos distillations.

Calcul du temps de chauffe pour passer de 20 à 100°C : $\Delta t = \frac{E_{eau}}{P_{eau}} = \frac{m_{eau} c_{eau} (\theta_f - \theta_i)}{P_{eau}}$

Calcul du temps de distillation : $\Delta t = \frac{E_{vaporisation}}{P_{eau}} = \frac{m_{eau} L_{vap}}{P_{eau}}$ avec $L_{vap,eau} = 2257 \text{ J/g}$

Pour conclure, nous constatons qu'à la saison où cette parabole est censée servir, elle ne permet de concurrencer le gaz qu'à 50%. Ceci reste considérable car nous utilisons une énergie gratuite et sans aucun gaz à effet de serre. Cependant maintenant, nous devons tenter de réduire son coût.

Ustensiles	Prix (€)
Parabole	150
Peinture haute température	5
Panier en aluminium*	20
Tuyau flexible et raccords	15
Cuivre recuit pour réfrigérant	15
Support pour suivi du Soleil*	30
Total	235€

* : artisans

B- Comment fabriquer un dispositif bon marché ?

Cette parabole achetée dans le commerce, représente un coût de 150€ frais de livraison compris, ce qui n'est pas cohérent avec l'un des critères de nos partenaires.

Après une enquête sur les paraboles satellite les plus présentes sur Marrakech, nous avons constaté que les dimensions les plus fréquentes étaient soit 80cm soit 140cm de diamètre. Il est évident qu'un diamètre 80cm sera insuffisant par rapport à un de 140cm. Le flux solaire collecté par le premier sera 3 fois plus faible que pour le second.

$$\frac{E'}{E} = \frac{S'\Phi}{S\Phi} = \frac{\pi R'^2}{\pi R^2} = \frac{140^2}{80^2} = 3$$

Il faut donc prendre la parabole la plus grande possible.

1) Recyclage d'une parabole satellite

a) Le pavage de la parabole

Pour la recouvrir d'un matériau réfléchissant, nous avons utilisé un papier miroir autocollant, simple à poser et conduisant à une surface plus lisse.

Une parabole étant concave, nous avons cherché un moyen de la recouvrir avec un minimum de bulles.

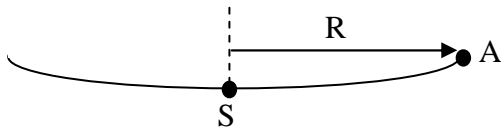
Sur le schéma ci-dessous, la distance SA est bien évidemment supérieure au rayon R. Nous avons décidé de décomposer la surface de la parabole en 16 secteurs donc d'angle $360/16 = 22,5^\circ$ sur un disque. Cependant, nous souhaitons que nos « palles » aient un rayon SA avec un arc correspondant à $1/16$ du cercle de rayon R.

$$p = 2\pi R \leftrightarrow l = p/16 = \pi R/8$$

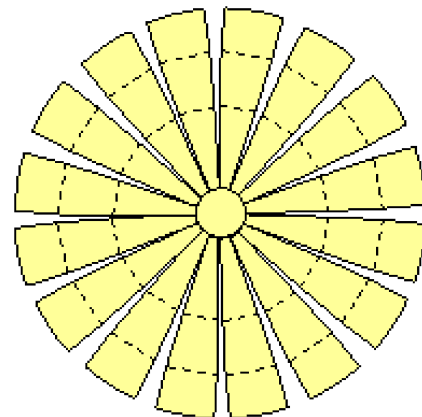
Au final, ces palles doivent représenter un angle α inférieur à $22,5^\circ$:

$$p' = 2\pi SA \leftrightarrow 360^\circ$$

$$l = \pi R/8 \leftrightarrow \alpha = \frac{\frac{\pi R}{8} \times 360}{2\pi SA} = \frac{R}{16SA} \times 360$$



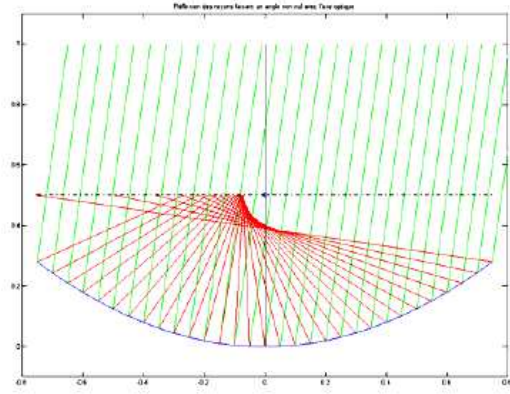
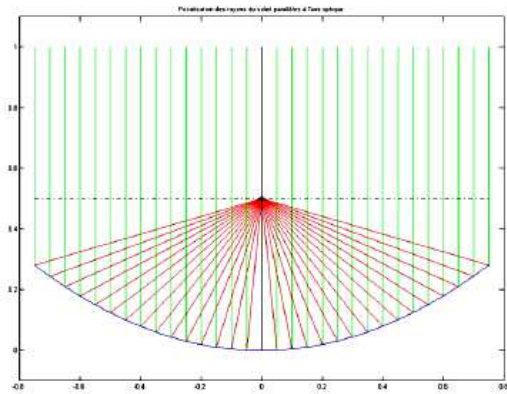
Doc. 9 : Vue de profil de la parabole



Doc.10 : Découpe des palles réfléchissantes

2) Position du support

Un miroir parabolique a pour intérêt de concentrer des rayons incidents parallèles entre eux en un point appelé foyer F si ceux-ci arrivent parallèlement à son axe optique.



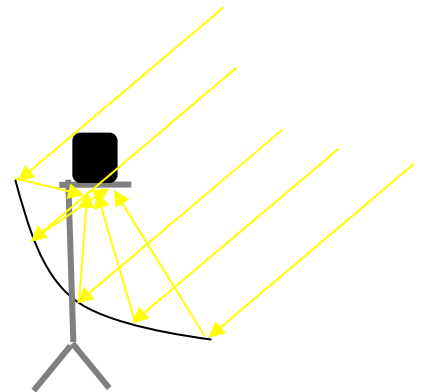
Doc. 11 a) Réflexion des rayons parallèles et

b) légèrement inclinés par rapport à l'axe optique

Si les rayons incidents ne sont pas parallèles à l'axe optique, ils ne convergent plus totalement en un point, mais on peut isoler une surface minimale où ces rayons réfléchis se concentrent (foyer secondaire).

C'est cette situation qui s'impose puisque dans le dispositif, le support passe par le centre de la parabole.

Pour la parabole solaire achetée dans le commerce, nous avons voulu déterminer la position de son foyer F par rapport à son sommet S pour voir si le constructeur avait positionné le support du récipient assez proche de son foyer.



Doc. 12 : Réflexion des rayons sur la cocotte

Protocole :

Pour déterminer la distance focale f, nous avons utilisé un projecteur placé à 20m de la parabole afin que les rayons parviennent parallèles entre eux sur la parabole et à l'axe optique de la parabole.

Avec une petite plaque noire (pour limiter la réflexion), nous avons cherché la position pour laquelle les rayons réfléchis donnaient une tache de plus petit diamètre possible (en effet, l'endroit où convergent les rayons est loin d'être un point).

Résultat : Nous avons obtenu $f = (61 \pm 1) \text{cm}$.

Nous constatons que le constructeur a positionné le support du récipient au niveau du foyer ou légèrement décalé pour permettre toujours de le situer où se concentrent les rayons (foyer secondaire)

Nous avons constaté que la profondeur de la parabole TV était très faible par rapport à celle du commerce. Sa mesure a donné $p=12\text{cm}$. Donc en première approximation, en supposant un paraboloïde $f = x^2/4y = R^2/4p = 1,2\text{m}$. Nous avons dû faire allonger le support de la cocotte, fabriqué par les artisans marocains, afin de le placer sur un foyer secondaire.

Le dispositif a donné des résultats satisfaisants et permis de distiller comme avec celui acheté dans le commerce mais pour deux raisons, il nous a incités à chercher une autre solution :

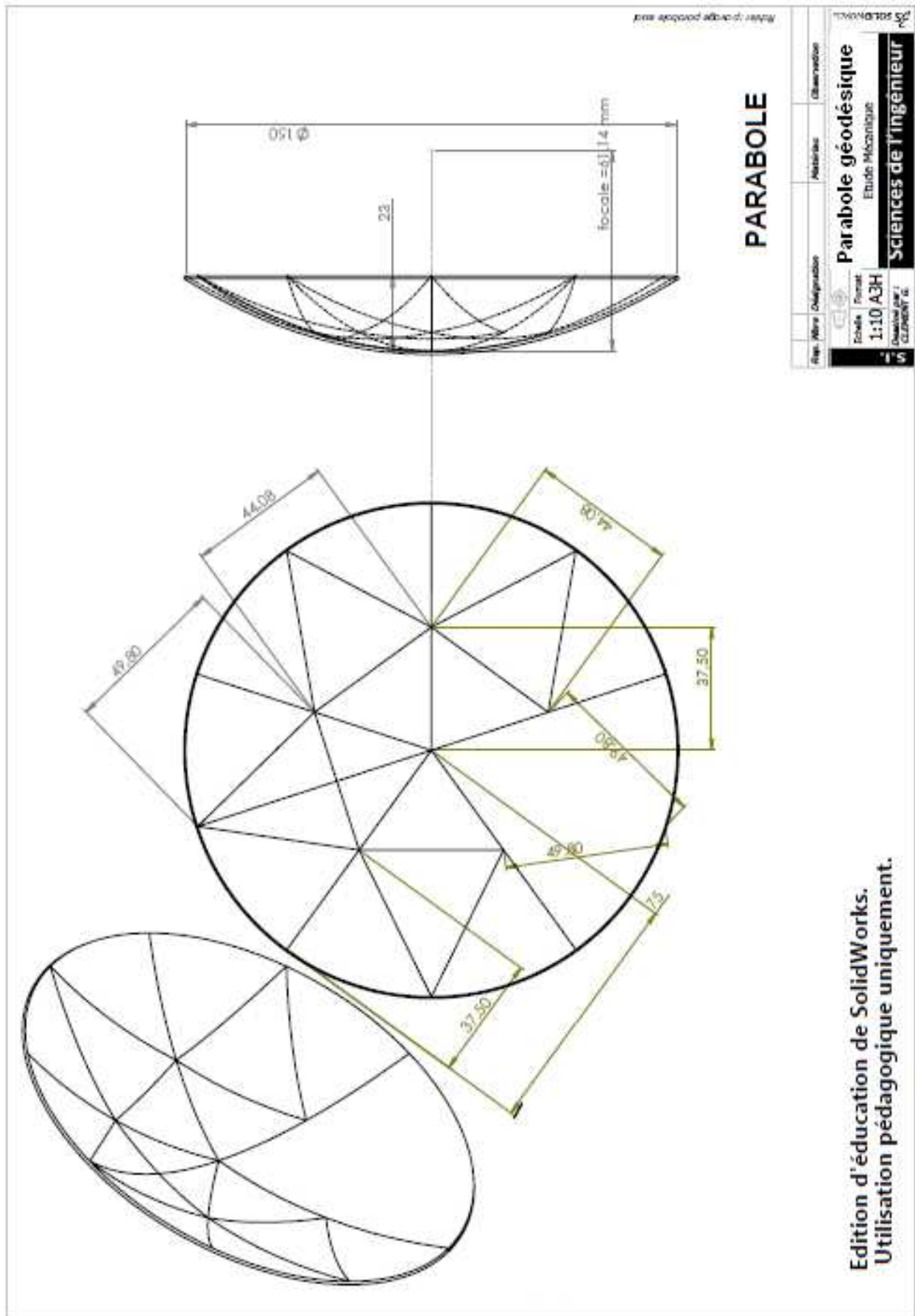
- D'une part, nous avons constaté que les paraboles ne s'usent pas si vite et qu'il a été difficile d'en trouver une à recycler ;
- D'autre part leur distance focale est très importante, ce qui conduit à un dispositif peu stable.



Doc. 14 : Parabole satellite recouverte de papier réfléchissant et concentrant la lumière sur la cocotte

2) Construction d'une parabole par la méthode des géodésiques (en cours de réalisation)

A l'aide de Solidworks, nous avons envisagé de construire une parabole faite de différentes plaques d'aluminium d'imprimerie (plaques offset). Nous avons choisi les mêmes dimensions que celles achetées dans le commerce, soit 1,50m de diamètre et 61cm de distance focale, après nous être assurés mathématiquement, que nous avions à faire à un paraboloïde et non une sphère, même si elle aurait aussi permis de concentrer les rayons. Reste à faire découper les différentes composantes en aluminium et la tester.



Doc.15 : Modélisation SolidWorks d'une parabole par la méthode des géodésiques

C- Les eaux parfumées sont-elles comparables à celles obtenues par une méthode traditionnelle ?

Lors de notre déplacement en janvier, nous avons réalisé plusieurs extractions avec à chaque fois les mêmes quantités de fleurs et d'eau. La seule variable a été le temps de distillation, la puissance apportée par le brûleur à gaz étant plus importante.

Hydrodistillation du 21/01/2016 à Marrakech

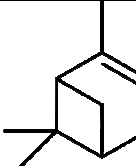
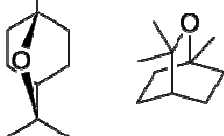
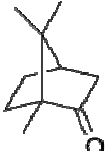
m = 500g de romarin

V_{eau} = 2,5 L d'eau

V_{distillat} = 75 cL.

1) Espèces chimiques attendues

Doc. 16 : Composition des huiles essentielles de romarin

Espèce chimique	Formule brute	Formule semi-développée	θ_{eb} (°C)	Huiles de romarin de France	Huiles de romarin du Maroc
Alpha-Pinène	C ₁₀ H ₁₆		156	20%	10%
Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O		176	20%	50%
Camphre	C ₁₀ H ₁₆ O		204	20%	10%

2) Analyse quantitative et propriétés physiques

Nous avons réalisé une extraction par solvant avec de l'éther diéthylique.

Protocole :

Extraction par solvant :

- Dans une ampoule à décanter, introduire les 750 mL d'eau parfumée obtenue
- Y ajouter 100 mL d'éther
- Agiter tant qu'une surpression se produit
- Extraire la phase aqueuse après décanter
- Récupérer la phase étherée dans un erlenmeyer
- Renouveler l'extraction avec 100 mL d'éther sur la phase aqueuse.

Séchage de la phase étherée :

- Ajouter du sulfate de magnésium anhydre tant que celui-ci prend en masse pour absorber l'eau contenue dans la phase étherée
- Filtrer la phase étherée dans un ballon à colle rodé préalablement taré.

Vaporisation du solvant :



- A l'aide d'un évaporateur rotatif, vaporiser l'éther en abaissant la pression pour éviter toute perte de substances volatiles qui seraient présentes dans les huiles.
- Peser le ballon une fois tout l'éther vaporisé.
- Mesurer la densité.

Résultats :

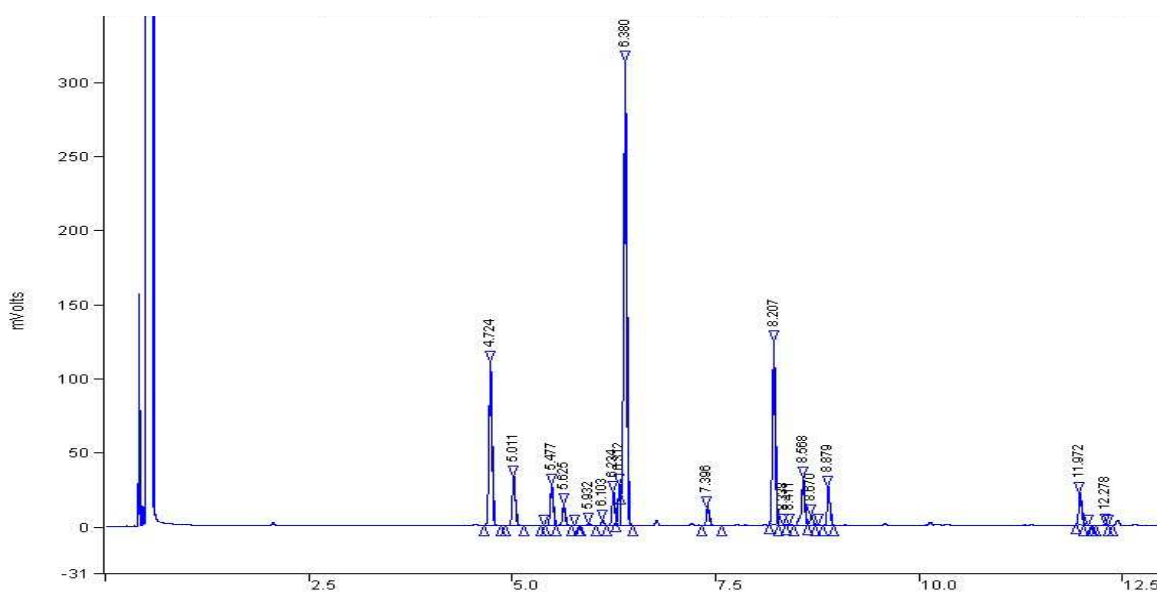
Type de distillation	Matière première (en g)	Volume d'eau (en L)	Volume d'hydro-distillat (en L)	Temps (en min)	Masse d'huiles obtenues (en g)	Densité des huiles	Indice de réfraction
Traditionnelle	500 g de romarin	2,5 L	0,75 L	30	6.9	0.91	1.4672
Solaire			0,75 L	60	7,1	0.91	1.4668

Conclusion : Les caractéristiques physiques mesurées sur les huiles extraites sont très proches voire non différenciables pour les deux techniques. D'autre part pour des quantités égales de plantes traitées et de distillats récupérés, les masses d'huiles extraites sont sensiblement les mêmes.

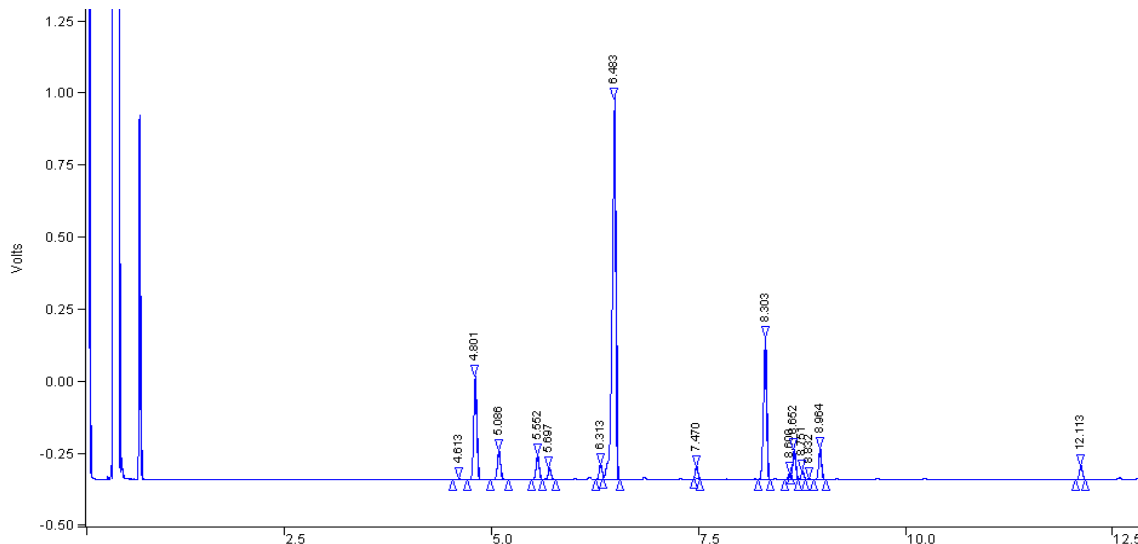
3) Analyse quantitative et composition chimique des huiles obtenues

L'analyse des huiles obtenues a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

- Le gaz vecteur est le dihydrogène
- La phase stationnaire est un polymère « peu polaire »



Doc. 18 Spectre des huiles extraites avec la méthode traditionnelle



Doc. 19 Spectre des huiles extraites avec la méthode solaire

Analyse des deux spectres (en rouge les principaux pics donc composants des huiles):
En voici les trois principaux composants:

Distillation traditionnelle		Distillation solaire	
t (en min)	%	t (en min)	%
4.74	9	4.80	12
6.42	50	6.48	51
8.25	20	8.30	17

Conclusion : La composition des deux huiles est très proche. On peut même faire des suppositions quand à la nature des espèces correspondant aux différents pics sachant qu'en CPG, plus la température d'ébullition est faible, moins le temps de rétention est élevé.

Ainsi, nous avons supposé que les différents pics pouvaient correspondre:

- le premier pic à l'alphapinène qui bout à 156°C et dont le pourcentage attendu était de 10%
- le second à l'eucalyptol qui bout à 176°C avec un pourcentage attendu de 50%
- le troisième pic au camphre qui bout à 204°C, avec un pourcentage attendu de 10%.

Une chromatographie de camphre et d'eucalyptol nous a confirmé que ce sont bien ces molécules que nous avons identifiées.

Notons enfin, que ces pourcentages sont cohérents avec le romarin que l'on trouve au Maroc (confère tableau p.14).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Par mimétisme, nous avons donc pu mettre au point un dispositif à faible coût utilisant l'énergie solaire pour distiller des eaux parfumées. Certes au mieux, il faudra à peu près doubler le temps en pleine saison pour distiller des volumes équivalents qu'avec du gaz, mais ceci en utilisant une énergie gratuite et propre.

Beaucoup d'améliorations sont possibles, comme suivre le soleil avec un petit cerveau moteur installé sur un moteur d'essuie-glace. Cependant, la distillation nécessite un minimum de surveillance et donc suivre le soleil peut se faire manuellement.

Dans les semaines à venir, nous devons voir si construire une parabole par la méthode des géodésiques avec des plaques d'aluminium offset est réaliste et si l'aluminium est alors suffisamment réfléchissant. Enfin, il sera temps d'aller faire la promotion de notre dispositif en distillant au côté des artisans et en rencontrant des associations à l'occasion de la Fête du Printemps à Marrakech les 27 et 28 mars et au Festival de la rose à Kalaat les 7 et 8 mai.