



**HAL**  
open science

## Matière et architecture

Alexandre Moret

► **To cite this version:**

Alexandre Moret. Matière et architecture. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01549163

**HAL Id: dumas-01549163**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01549163>**

Submitted on 28 Jun 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



MEMOIRE  
**MATIERE ET ARCHITECTURE**

---

RESSOURCES ET TECHNOLOGIES 2016/2017

**énsa-v**  
*école nationale supérieure  
d'architecture de versailles*

---



## ABSTRACT

**Construire à notre époque, c'est avant tout un acte technique.** Les bâtiments dans lesquels nous vivons regroupent un nombre croissant de technologies et de matériaux servis par l'industrie. Ils assurent notre confort, notre sécurité et une réponse économiquement viable aux besoins de masse. Pourquoi? Parceque l'Architecture qui concerne le plus grand nombre est une architecture généralisée de l'urgence. L'Architecture que nous pouvons nous payer est une architecture contrainte par des besoins de masse, des coût réduits et des standards de confort évolués. Dans ce cadre, son champ d'action est limité par la rationalisation des espaces, par des normes strictes, des budgets contraints, des délais réduits et des contraintes techniques plus prépondérantes à mesure que les standards de confort évoluent. Il est peu probable que cette dynamique s'inverse. Car la technologie, servie par l'industrie, continue de remplir toutes nos attentes et de repousser nos standards de confort; et car lorsqu'elle est controversée comme à notre époque (dépendance énergétique, pollution,..) la société répond globalement par de nouvelles techniques plus que par de nouvelles Architectures. L'Architecture adopte différentes positions vis à vis de ces technologies, tantôt exacerbées (architecture high tech), tantôt révoquées (architecture low tech), mais globalement, dans la majorité des constructions qui nous entourent, elle s'en accomode et les dissimule. Il est encore rare que ces technologies participent pleinement à ce que nous considérons être de l'architecture: des plasticités, des lumières, des qualités d'espace... Longtemps la technique et l'industrie ont initiés des bouleversements architecturaux (béton, acier, verre, brique, osb..); l'immense majorité de ces innovations techniques ont concernés le gros oeuvre. Alors que le second oeuvre est devenu le plus grand poste de dépense il semble pourtant échapper à l'architecte. Comme si l'architecture avait acquis une limite prédéfinie, que des éléments en étaient constitutifs et que d'autres s'y rapportaient. Pourtant un système de chauffage, un four, des gaines et réseaux de VMC et D'ECS peuvent être des matériaux d'architecture. **Dans ce mémoire nous développerons l'idée que ce sont bien eux les nouveaux matériaux architecturaux à s'approprier.** L'idée est de porter un regard critique sur ces technologies: de les penser, les concevoir dans le cadre de l'architecture et de voir là où elles peuvent mener; de voir si l'architecte a aussi sa place dans des processus de conception de matériaux, éloigné du projet architectural d'une agence d'architecture et du terrain; plus proche du milieu industriel. Ce mémoire limitera son champ de recherche aux technologies de chauffage et plus précisément à une technologie de chauffage solaire. Un système technique sera envisagé et expérimenté en tant que matériau architectural. L'expérimentation est au coeur de ce processus, réfléchir une telle technologie, c'est peut être déjà faire de l'architecture



# SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	pages 5-12
2. PROBLEMATIQUE.....	pages 15-20
3. ETAT DE L'ART.....	pages 23-39
4. EXPERIMENTATIONS ET PROTOTYPAGES.....	pages 41-86
5. ELARGISSEMENT.....	pages 89-94
6. ANNEXES.....	pages 97-98









# INTRODUCTION

- Société , Technique et Architecture
- Ruptures et Architectures
- Vers une évolution de la société
- Vers des évolutions de l'architecture

# SOCIETE, TECHNIQUE ET ARCHITECTURE

## L'architecture évolue au fil des besoins de la société et du progrès technique.

Dès la révolution industrielle, la maîtrise du métal permet de construire plus haut et plus léger. Des ponts en métal permettent la circulation des hommes là où le bois n'offrait pas des portées suffisantes. L'architecte s'approprie ce nouveau matériau que l'industrie façonne, pour produire de l'Architecture et répondre aux besoins de développement commerciaux de l'époque. Puis, c'est le début de l'exode rural, de l'urbanisation et c'est une nouvelle découverte technique qui permet à l'architecture de répondre à ces nouveaux besoins. Alors que l'architecture évolue vers une architecture de masse, le béton armé, rendu disponible par son industrialisation, le contexte économique et les enjeux sociétaux, impactera à son tour son époque. Il faut reconstruire, produire rapidement. La technique et l'architecture se répondent : elle sont nobles, constructives, structurelles, matérielles,... Au 19ème siècle, l'industrie produit alors des matériaux que l'architecte met en valeur et exprime. Comme la demande produit l'offre et l'offre produit la demande, on peut penser que l'architecte permet le développement sélectif de certaines de ces technologies et elles se développent dans le sens du progrès architectural: vers des structures plus élancées, de nouvelles formes de matérialité, de nouvelles capacités d'expression.

Puis, la densité urbaine génère de nouveaux enjeux et de nouveaux besoins. L'habitat collectif apparaît à l'après guerre créant avec lui des besoins nouveaux: en eau, en air, en énergie. Les standards de confort augmentent et la technique y répond encore. Petit à petit, des réseaux de tubes, se greffent aux architectures. La technique répond aux besoins mais elle est esthétiquement contestée et purement utilitaire. Alors les matériaux, ces tubes, restent des produits industriels, des produits usinés, qui se greffent techniquement à des architectures qui les masquent. A la différence de l'acier, de la brique, du béton, du vitrage, du contreplaqué, de l'OSB, de toutes ces technologies qui ont façonné l'architecture depuis la révolution industrielle, la technique des flux ne se transforme pas en un matériau architectural: on la connaît dans des gaines techniques, cachée derrière des faux plafonds, en compresseurs sur des balcons, dissimulée.

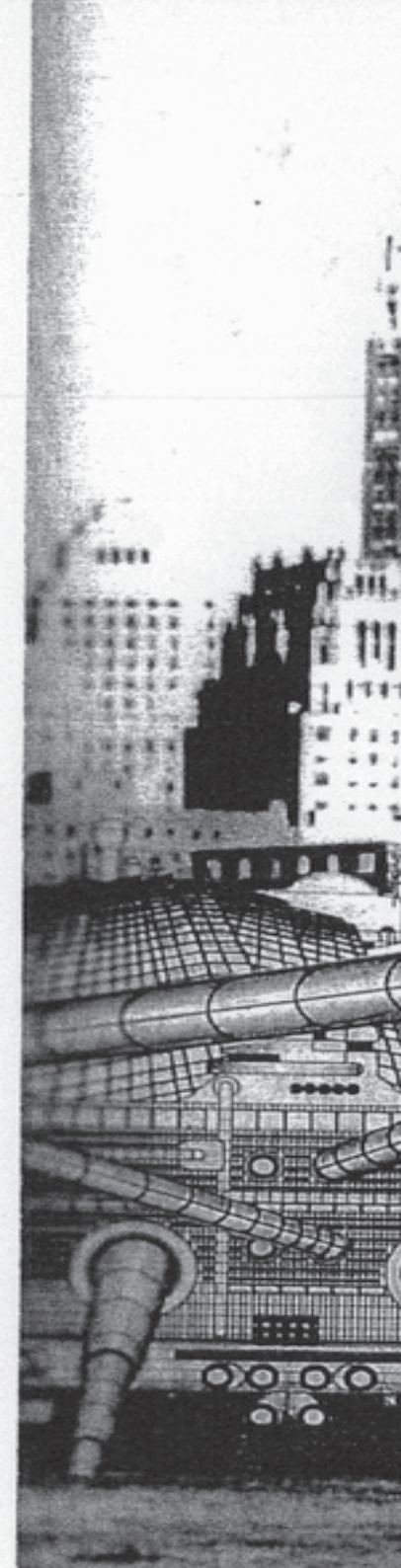
La technique des flux, comme tout autre élément constitutif d'un bâtiment, a pourtant un potentiel architectural: dans de rares cas, comme le centre Georges Pompidou, initié par les théories d'archigram, un bâtiment détourne les codes de la technique des flux en leur donnant un sens architectural. La structure et les fluides se trouvent à l'extérieur offrant une nouvelle manière d'aborder l'architecture là où on ne l'attendait pas.

La technique continue de remplir toute ses promesses: plus de confort, plus vite, mieux. Elle permet des progrès sociaux qui deviennent de nouvelles bases de confort. L'industrie du tube se développe, malgré son rejet esthétique, car elle apporte un confort dont on ne peut plus se passer. Elle poursuit son développement mais rarement comme partie inhérente de l'architecture.

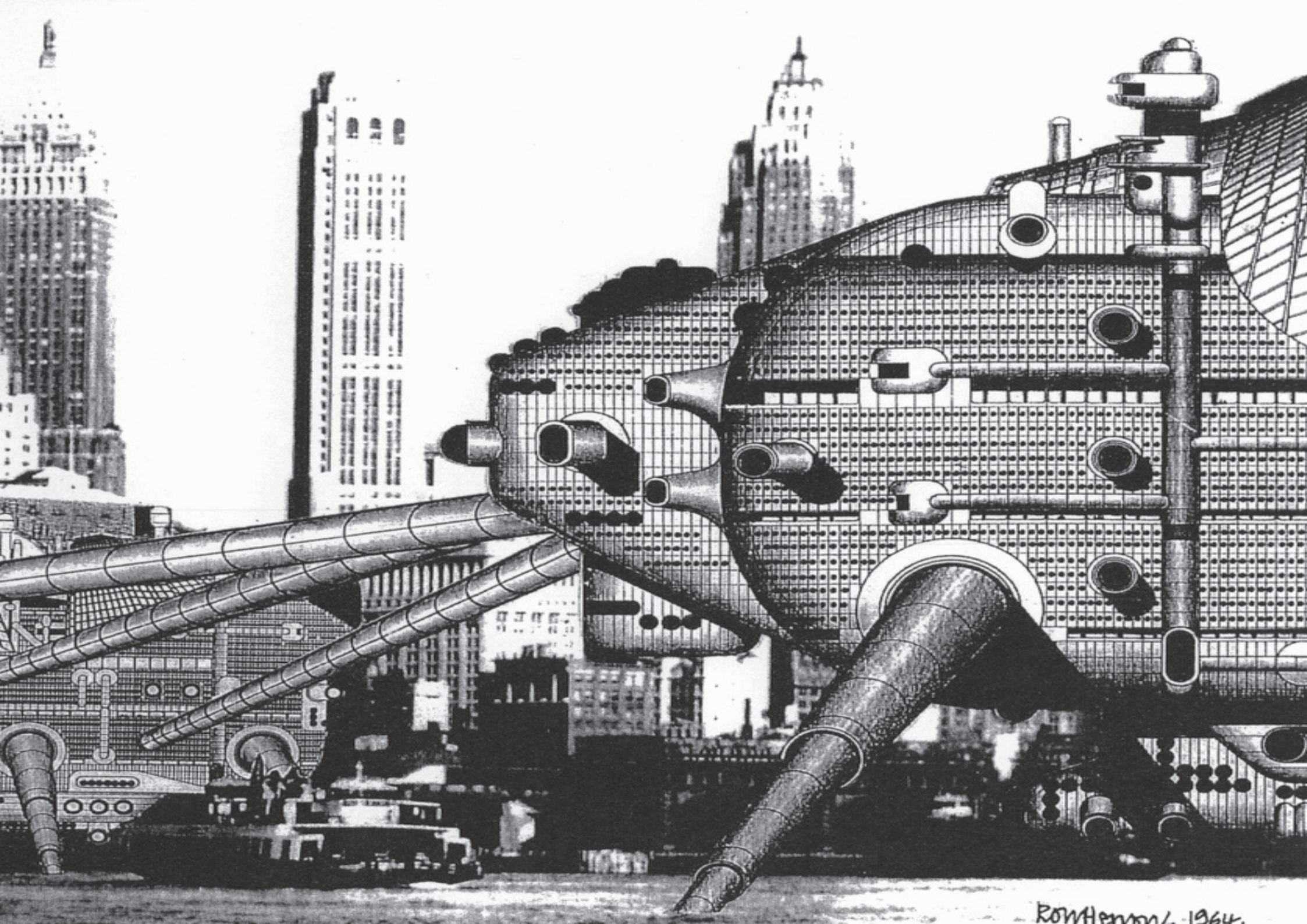
La technique a créé de nouveaux standards d'hygiène, de sécurité, de confort. Elle permet des progrès sociaux qui deviennent de nouvelles bases. Portée par les institutions, les organismes de certification soutenus par l'État (AFNOR, CSTB...) l'innovation technique pousse à toujours plus d'innovation. La technologie s'impose dans une course effrénée au progrès.

«Le progrès technique est comme une hache qu'on aurait mis dans les mains d'un psychopathe»  
Albert Einstein

**Longtemps la technologie a permis l'élaboration de matériaux qui ont transformé l'architecture: la brique, le métal, le béton, le verre. Tous sont passés du statut de technologie à matériaux architecturaux, ils ont façonnés de nouvelles manières d'aborder l'architecture en même temps qu'ils devenaient incontournables dans l'évolution de la société.** Mais certaines technologies notamment les technologies qui garantissent notre confort thermique n'ont jamais effectué ce transfert. Elles remplissent toujours leur rôle mais n'influencent pas l'architecture, on cherche au contraire à en réduire l'impact.







1964  
1963  
1962  
1961  
1960  
1959  
1958  
1957  
1956  
1955  
1954  
1953  
1952  
1951  
1950  
1949  
1948  
1947  
1946  
1945  
1944  
1943  
1942  
1941  
1940  
1939  
1938  
1937  
1936  
1935  
1934  
1933  
1932  
1931  
1930  
1929  
1928  
1927  
1926  
1925  
1924  
1923  
1922  
1921  
1920  
1919  
1918  
1917  
1916  
1915  
1914  
1913  
1912  
1911  
1910  
1909  
1908  
1907  
1906  
1905  
1904  
1903  
1902  
1901  
1900

Ron Henson / 1964.

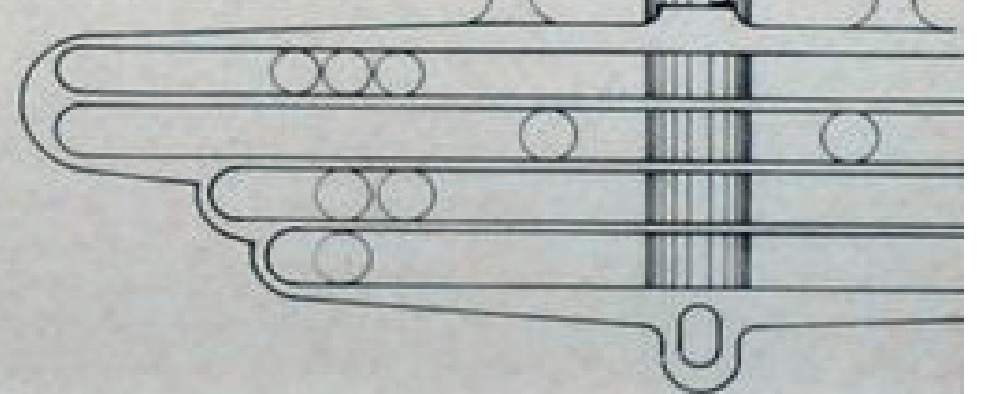
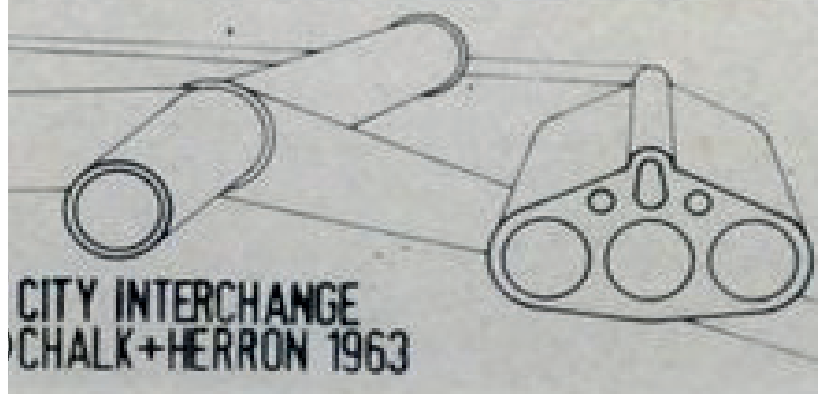
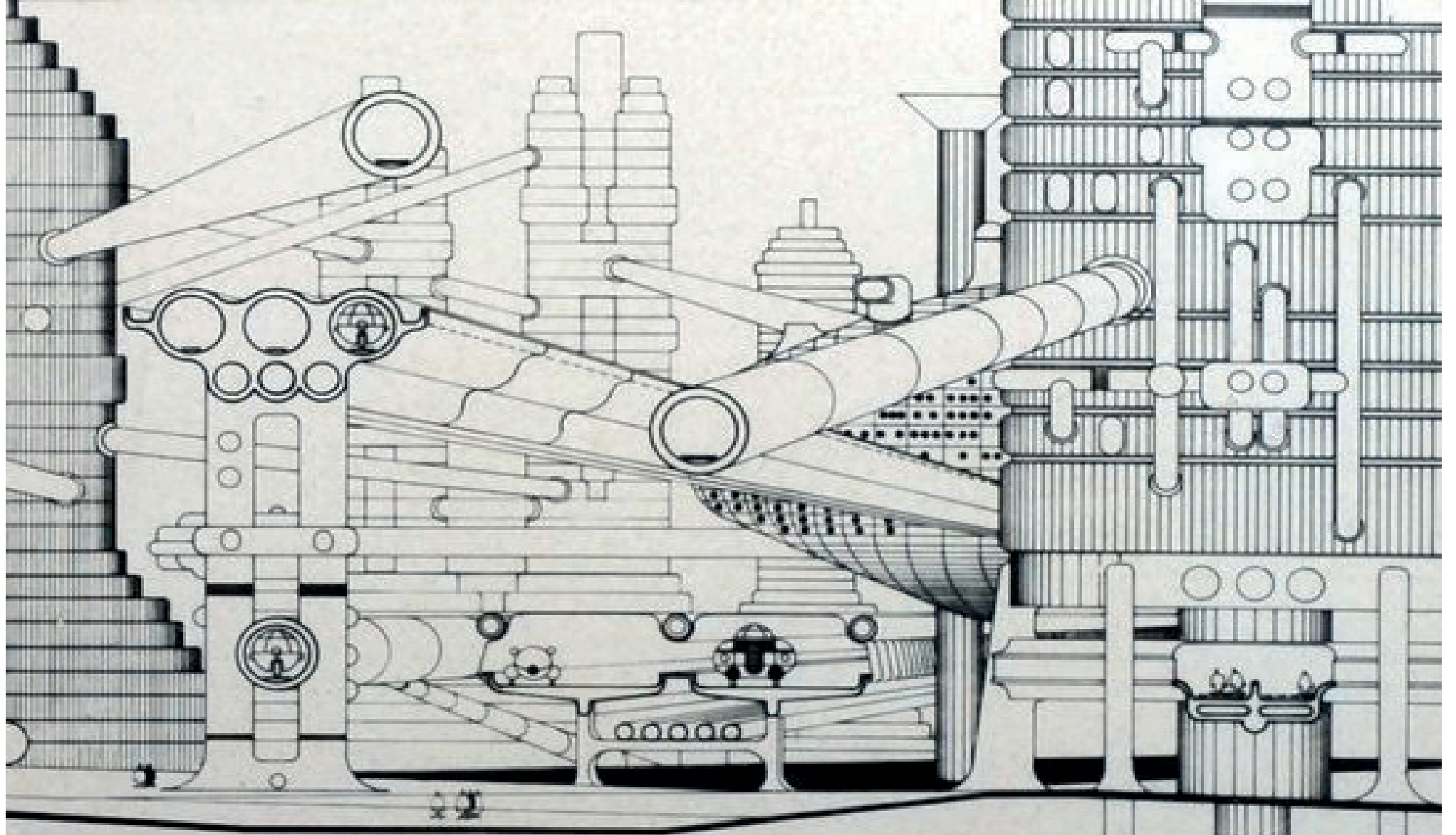
# RUPTURES ET ARCHITECTURES

Des oppositions idéologiques se construisent entre ces technologies et les définitions que l'on veut donner à «l'Architecture». Depuis la fin de la seconde guerre mondiale plusieurs postures architecturales sont apparues en réaction à la prédominance grandissante de la technique dans l'architecture. L'architecture high tech de Renzo piano , Archigram , Foster a fait son apparition en même temps que l'architecture low tech: un grand écart entre une architecture industrielle de la haute technologie et une architecture qui considère la technologie et l'industrialisation comme des menaces pour l'architecture.

Mais malgré ces oppositions idéologiques, malgré ces approches qui veulent renouer avec l'architecture traditionnelle, ce qui constituait il y a 60 ans une augmentation du confort vis-à-vis de la société de l'époque, un luxe pour ses habitants, constitue aujourd'hui un standard que les labels, normes et certifications font évoluer. Les constructions sont de plus en plus performantes, de plus en plus exigeantes, et de plus en plus techniques. L'accélération impacte essentiellement les équipements techniques et le second œuvre plus que la matière et les principes de conception structurels. Dans une construction de logements les matériaux de construction et la structure ne représentent en moyenne que 40% du budget contre 50% il y a encore dix ans. Le second oeuvre, cette technique des tubes et des réseaux, de plus en plus prépondérant, s'impose plus largement comme le premier poste de dépense, et il échappe pourtant souvent à l'architecte.

La question que veut soulever ce mémoire est alors la suivante: comment s'approprier la technique pour servir l'architecture? Peut-on transformer les technologies qui nous entourent, notamment celles qui garantissent notre confort thermique, en des matériaux architecturaux à la manière du béton et du métal? Dans l'automobile, la technique et le design ne font souvent qu'un: les éléments techniques s'intègrent aux formes des véhicules pour former un tout: carrosserie, phares, roues, capteurs s'intègrent graduellement depuis 50 ans jusqu'à sembler moulés dans une seule et même pièce dans les véhicules modernes; n'est ce pas l'évolution logique d'une architecture plus que jamais technologique ?





CITY INTERCHANGE  
CHALK+HERRON 1963

«Il faut, si le besoin s'en fait sentir, créer de nouveaux matériaux. Si l'architecte conçoit le projet en tant que pure exigence, alors il doit trouver le matériau qui en permet l'exécution. L'architecture ne peut pas être l'expression de la conscience créatrice de l'époque si[...] elle se contente des matériaux existants. »(Mies Van Der Rohe)





## VERS UNE EVOLUTION DE LA SOCIETE

Le préalable à la réflexion qui nous intéresse, et que nous développerons plus tard, est issu d'un constat de terrain. Depuis des années, le monde de la conception architecturale ou technique des bâtiments s'est lancé dans une course effrénée à la performance : RT2000, puis RT2005, BBC, BBC+, RT2012,... Chaque année de nouvelles exigences réglementaires, normatives ou volontaires, tels de nombreux labels et référentiels locaux, naissent. Les institutions normatives accentuent la mutation du monde du bâtiment vers une technique omniprésente. Car la culture constructive européenne a longtemps poussé l'architecture à se couper de son milieu naturel. Factuellement, l'apposition de technologies de pointe dans les constructions est ainsi l'un des outils privilégiés afin de produire des bâtiments répondants aux attentes de confort et de réglementation thermique. Dans la culture européenne, l'habitat érige des barrières contre les aléas climatiques, puis des technologies permettent de vivre confortablement ( pompes à chaleur, VMC double flux,..). Ce constat de terrain s'accompagne pourtant actuellement d'un renversement de situation: avec la prise de conscience récente des enjeux de la transition énergétique: ces technologies se sont tournées vers les énergies alternatives ( solaire, éolien, géothermie ..). Des architectures prenant en compte ces besoins se développent sur cet essor ( architectures bioclimatiques ) mais elles ne généralisent pas à cause d'un manque de repère sur leur performances, des lourdes contraintes financières de conception qu'elles entraînent parfois et de leur faible compatibilité avec l'urbanisme massif. Les nouveaux enjeux de la thermique du bâtiment s'organisent désormais autour des énergies renouvelables mais risquent de rester une affaire très lucrative de produits technologiques issus de l'industrialisation ( panneaux solaires, principalement ) et non une manière de repenser l'architecture, de façonner des espaces, des matériaux .

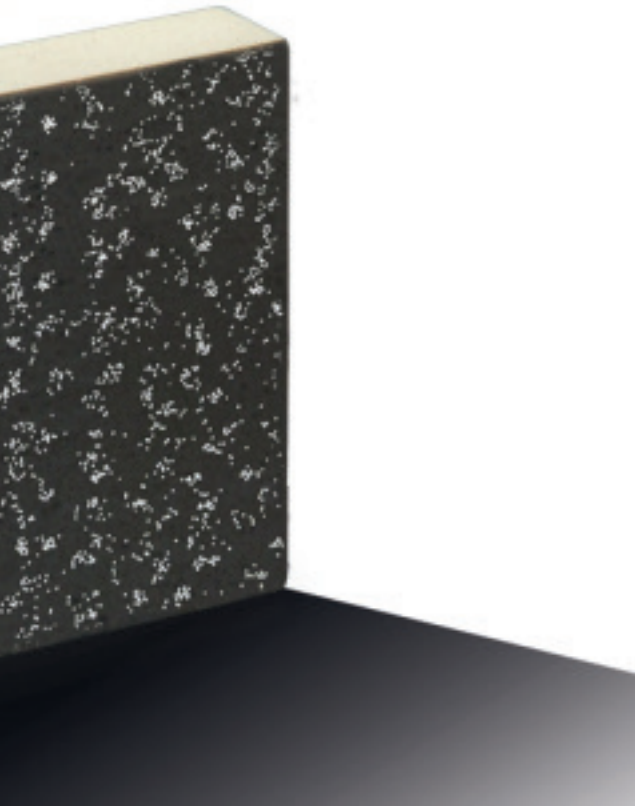


## VERS DES EVOLUTIONS DE L'ARCHITECTURE

Alors que l'ingénierie se perfectionne, que la technique apporte de nouvelles solutions quelle place peut adopter l'architecte? Shigeru Ban, adopte une nouvelle esthétique par la technique nouvelle, où développée spécialement, le bâtiment devient un prototype. C'est cette démarche qui nous intéresse: la technologie nouvelle mise au service de l'architecture qui développe de nouvelles esthétiques.

Le rapport de l'architecte au prototype technique sera ainsi l'axe de développement principal du mémoire pour tenter de comprendre ce qui les lie: comment s'effectue la transformation de la technologie au matériau architectural? Comment y jouer un rôle?

Il est de plus en plus fréquent de concevoir un matériau pour voir aboutir le projet: le matériau sur mesure , spécialement mis au point pour un usage particulier se développe dans le travail de certains architectes ( Kengo Kuma, Cratere,... ). Il ne s'agit alors plus de choisir mais de concevoir les matériaux. Certains architectes décident de développer un matériau qui n'existe pas encore, en travaillant directement avec des fabricants pour la recherche et la conception d'un matériau spécial destiné à un projet spécifique.







# EXPOSÉ DU SUJET

- Observation initiale
- Objectif du mémoire
- L'attrait de l'énergie solaire
- Problématique
- Hypothèse



## POSTULAT DE DEPART

L'énergie solaire est la principale ressource alternative dont nous bénéficions. La terre reçoit chaque jour en énergie solaire l'équivalent d'un an des besoins en énergie de l'homme. Dans l'architecture, la réponse contemporaine aux enjeux de la transition écologique se traduit essentiellement par des technologies en kits solaires photovoltaïques qui se greffent sur des architectures. Paradoxalement, ces technologies qui se veulent écologiques et qui se sont imposées, incitées par un cadre réglementaire et politique favorable, sont de plus soumises à polémique. De fait, il est encore difficile d'en mesurer le réel impact écologique. Entre l'architecture et ces machines une rupture semble encore s'opérer. La lumière qui anime ces technologies est pourtant un matériel architectural. Depuis des siècles, les architectes la manipulent. Au-delà de la « lumière éclairage », il est question de la lumière comme forme d'énergie. En la qualifiant, en combinant ses qualités, en l'abordant de manière technique plus qu'artistique on peut l'apporter là où l'architecture ne la cherche peut être pas. Aujourd'hui, si l'éclairage artificiel est maîtrisé dans ses dispositifs les plus sophistiqués, la lumière naturelle, solaire, tend à être oubliée.

## L'ATTRAIT DE L'ENERGIE SOLAIRE : L'ENERGIE REÇUE CHAQUE AN- NÉE À TRAVERS LA LUMIÈRE:

sur terre:

---

**10000** fois  
la puissance énergétique insatallée par l'homme

---

**178 M** de  
réacteurs nucléaires

---

sur le sol français:

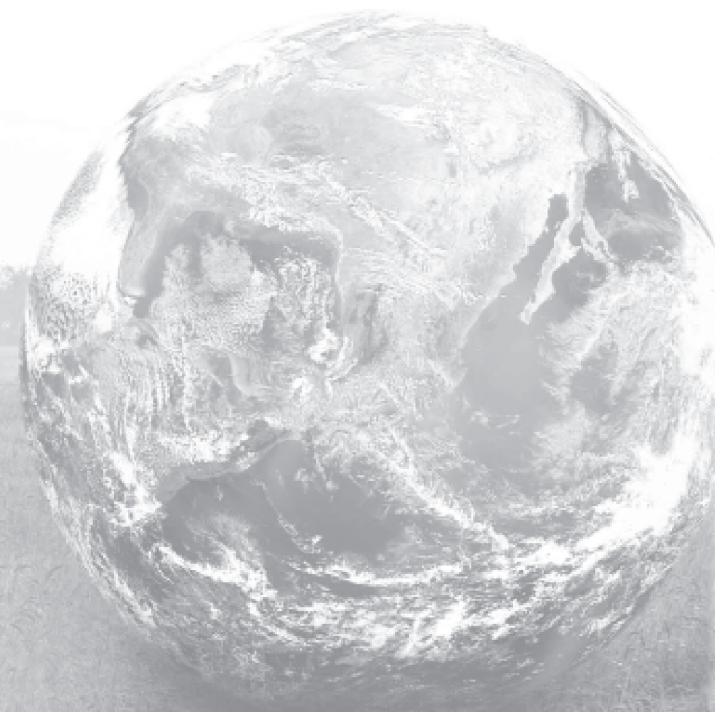
---

**200** fois  
l'énergie consommée chaque année

---

**1000 KW/M<sup>2</sup>**

---



## SUN CITY

L'objectif de ce mémoire n'est pas de fournir une énième technologie solaire. En revanche, partant du constat qu'il existe une rupture entre l'architecture et les technologies «écologiques» qui garantissent notre confort, il s'agit de tenter de réfléchir à une manière architecturale de se les approprier, de les aborder. En partant de l'énergie solaire,

l'objectif est de faire d'une technologie solaire appropriable un élément architectural capable de multiples déclinaisons et libertés. En d'autres mots, il s'agit de tenter d'aborder une technologie solaire comme une matière première architecturale, de comprendre les forces qui pèsent et qui permettent de faire d'une technologie un matériau architectural







Small rectangular object in the sky.

Vertical yellow line on the left side of the image.

Vertical yellow line in the middle of the image.

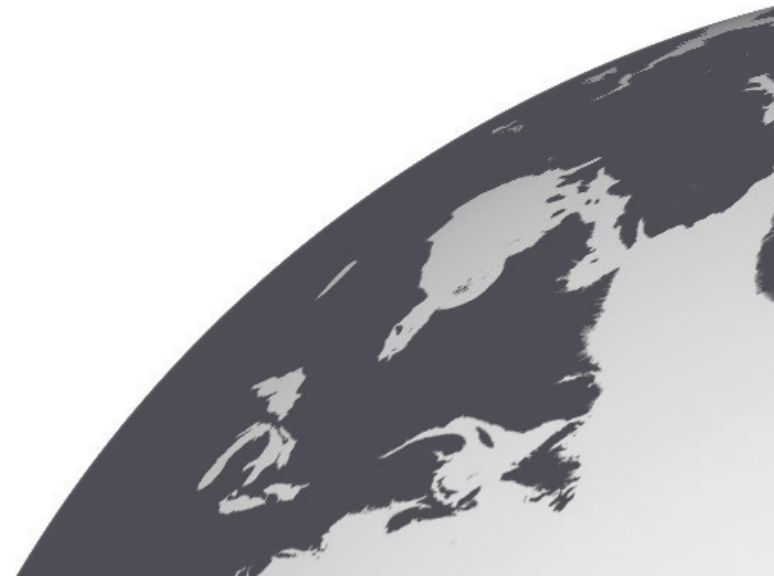
Vertical yellow line on the right side of the image.

Vertical yellow line on the far right side of the image.

## PROBLEMATIQUE

L'idée de ce mémoire est d'intégrer l'énergie solaire en tant qu'élément architectural afin de réfléchir à une solution alternative pour un chauffage plus écologique.

Pour répondre à cette problématique, le mémoire adoptera une approche technique pour tenter de la convertir en un matériau maléable et aux qualités architecturales. La réflexion débutera sur une application des fours solaires : les fours solaires cylindro paraboliques. Ce système technique, qui sera décrit plus loin dans ce livret, est actuellement utilisé pour la cuisson ou la production d'électricité. Il possède un fort potentiel d'adaptabilité architecturale. Il s'agit d'une utilisation pure de la lumière transformée en chaleur. Dans le cadre de ce mémoire, je souhaite concentrer mon travail sur l'adaptation de ce système en tant qu'élément architectural de chauffage solaire. La première phase du mémoire viserait à envisager ce système technique via un prototype dont serait testé la viabilité, l'adaptabilité, et le potentiel d'évolution. Dans l'idée de faire de ce prototype un élément architectural de nouveaux prototypes se mettront en place et viendront enrichir la réflexion. De fait, dans un premier temps ce mémoire sera l'occasion de tester un système technique en lui-même afin de vérifier s'il a un réel impact sur les besoins énergétiques d'un bâtiment. Puis, il s'agira de revenir sur ce premier prototype en vue d'y apporter des améliorations.





**Pourquoi vouloir lier technologies et architecture autour du solaire est pertinent?**

La RT 2012 fixe depuis sa mise en application un seuil d'utilisation d'énergies renouvelables ( seuil EnR ) dont elle préconise au moins un procédé. La RT2020 devrait fixer des ambitions encore plus strictes vis à vis des énergies renouvelables avec une transition vers le Bepos. Ces seuils ont largement ouvert la voie au photovoltaïque qui bénéficie d'intérêts fiscaux incitateurs. Pourtant, au vue de la durée de vie de ces systèmes, de leurs besoins en énergie grise , de leur très faible rendement et de leur coût il est légitime de douter de leur impact écologique. D'autres solutions doivent donc être envisagées en parallèle.







# ETAT DE L'ART: MATIERE ET TECHNOLOGIE

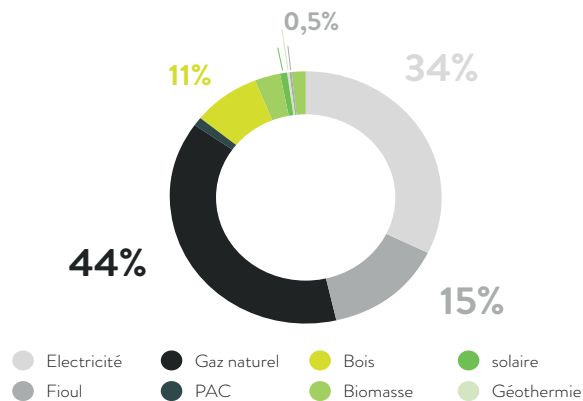
- Généralités
- Historique de l'énergie solaire
- Comparatif
- Acteurs majeurs
- Les fours solaires
- Chronologie/comparatif

## CONTEXTE: LA CIBLE DE CE MEMOIRE

Le chauffage est le poste principal de consommation des bâtiments construits. En France la majorité des foyers sont chauffés à partir du gaz naturel, de l'électricité ou du fioul. Les autres énergies utilisées (énergie solaire, géothermie, etc) représentent moins de 4% du chauffage français. Pourtant, paradoxalement, à l'exception de ces 4%, toutes ces énergies utilisées sont issues de près ou de loin de l'énergie solaire.

De fait, **le soleil est à l'origine de toutes les formes de production énergétique aujourd'hui utilisées sur Terre, à l'exception de l'énergie nucléaire, et de la géothermie.** Factuellement, l'homme utilise principalement l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique (les aliments que notre corps utilise), énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse. Par abus de langage lorsque nous parlons d'énergie solaire nous l'assimilons couramment à l'énergie photovoltaïque. Pourtant là encore il s'agit d'une énergie solaire transformée : Les panneaux photovoltaïques transforment les rayons solaires en électricité qui est réinjectée dans le réseau électrique avant de revenir se retransformer en chaleur dans des radiateurs à résistance électrique. Les pertes énergétiques sont importantes.

Les systèmes qui nous permettent de nous chauffer sont souvent complexes, coûteux, peu intuitifs et ils engendrent des pertes importantes. L'architecture peine à se les approprier et elles ils sont relégués au statut de « technologies ». Ce mémoire s'appuie donc sur une question qui peut sembler naïve : pourquoi l'énergie solaire ( qui est pourtant perçue à la surface de la terre sous forme de chaleur ) n'est-elle pas utilisée directement pour la construction afin de se chauffer ? L'objectif sera de mettre au point une solution technique de chauffage solaire non photovoltaïque afin d'en mesurer le potentiel et les freins.



\* Répartition des systèmes de chauffage en France ( 2015)

CHARBON

PETROLE

GAZ  
NATUREL

GEOOTHERMIE

SOLAIRE

Plus respectueux



# GENERALITES ET ENJEUX

## RÉPONDRE AUX ENJEUX ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Dans le contexte actuel de changement climatique où la limitation des gaz à effet de serre est primordiale, et devant la menace d'épuisement des combustibles fossiles, le défi auquel l'architecture doit faire face est de trouver des sources d'énergie pour répondre à un besoin toujours plus important. Les énergies renouvelables peuvent être des solutions en raison de leur abondance. Parmi ces énergies, on peut citer l'énergie solaire. L'énergie solaire est souvent considérée comme l'énergie de l'avenir : elle est potentiellement inépuisable à échelle humaine, renouvelable et propre. L'enjeu économique est de taille dans un contexte où les prix du charbon, du gaz naturel et du pétrole sont amenés à augmenter avec la diminution irrémédiable à long terme de ces ressources. Il est aujourd'hui reconnu d'une manière générale que l'énergie solaire est la seule ressource énergétique (renouvelable et fossile compris) capable de pourvoir à la totalité de la demande énergétique mondiale sur le très long terme .

La Commission européenne pour les énergies renouvelables s'est fixé pour objectif de porter la part de l'énergie solaire à 20 % de l'énergie en 2020 et 50 % en 2040.

L'énergie solaire peut être utilisée par divers procédés. On peut citer, le procédé de conversion photovoltaïque pour produire de l'électricité, les techniques de l'habitat solaire permettant de chauffer les habitations par le rayonnement solaire, les fours solaires etc..

## ACCROÎTRE LA RENTABILITÉ ET LE RENDEMENT

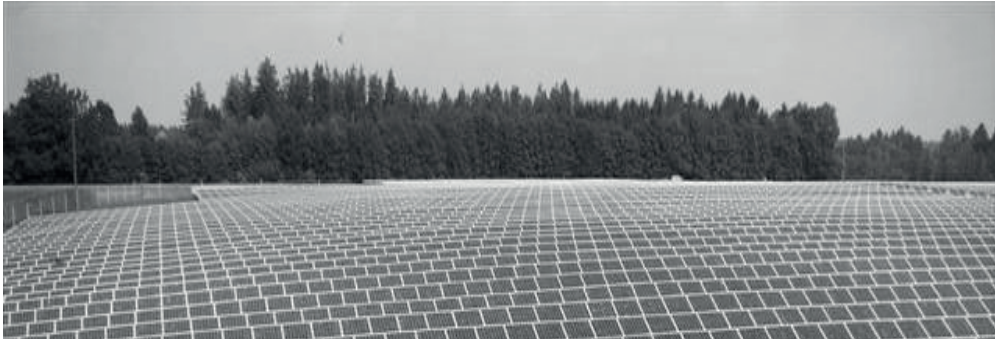
Concernant les technologies solaires, à l'heure actuelle l'investissement initial est toujours très important. De nombreux pays ont mis en place des systèmes d'incitation financière (sous forme de détaxation, de subventions, ou de tarifs avantageux pour le rachat de l'énergie produite) afin d'encourager l'innovation et les premières installations. C'est notamment le cas en France.

L'utilisation de ces systèmes de production d'énergie solaire se justifie immédiatement dans les situations où il est très coûteux de transporter des combustibles (fossiles), de procéder à un raccordement au réseau électrique, comme pour des appareils isolés (balises marines, horodateurs) ou dans des zones isolées ou peu peuplées. En ville, ces technologies se développent principalement sur les bâtiments récents suite à la norme RT 2012 . La hausse brutale du prix du pétrole brut en 1974 avait lancé une course aux énergies alternatives dans les pays industriels, dans cette effervescence plusieurs plates-formes d'expérimentations des technologies solaires ont vu le jour aux Etas Unis (Bastrow, Californie), en Espagne (Almeria), en France (Thémis), qui ont posé les bases de développement de la production d'électricité par concentration solaire .

Depuis les années 2000, la prise de conscience générale de la problématique environnementale et climatique, concrétisée par les accords de Kyoto en 1997 ,a relancé les efforts pour élargir la diversité énergétique avec regain d'intérêt notoire pour l'énergie solaire.

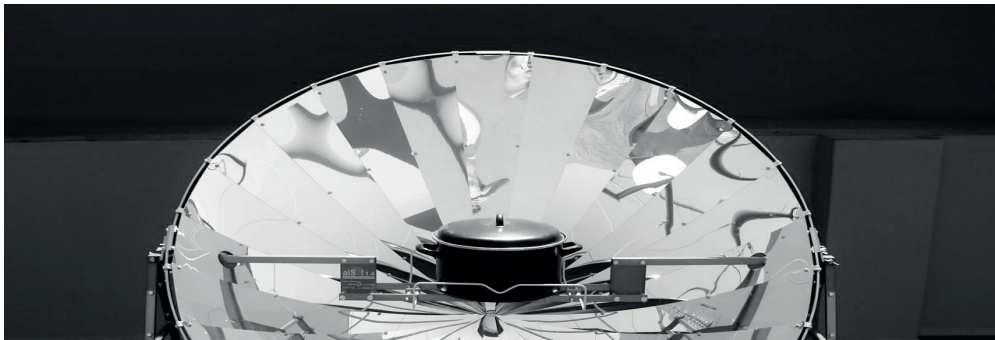
# LES VOIES PRINCIPALES D'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE

Actuellement, il existe deux technologies principales basées sur l'utilisation de l'énergie solaire:



## **LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE:**

Ces systèmes reposent sur un phénomène physique qui convertit les ondes électromagnétiques émises par le soleil en électricité



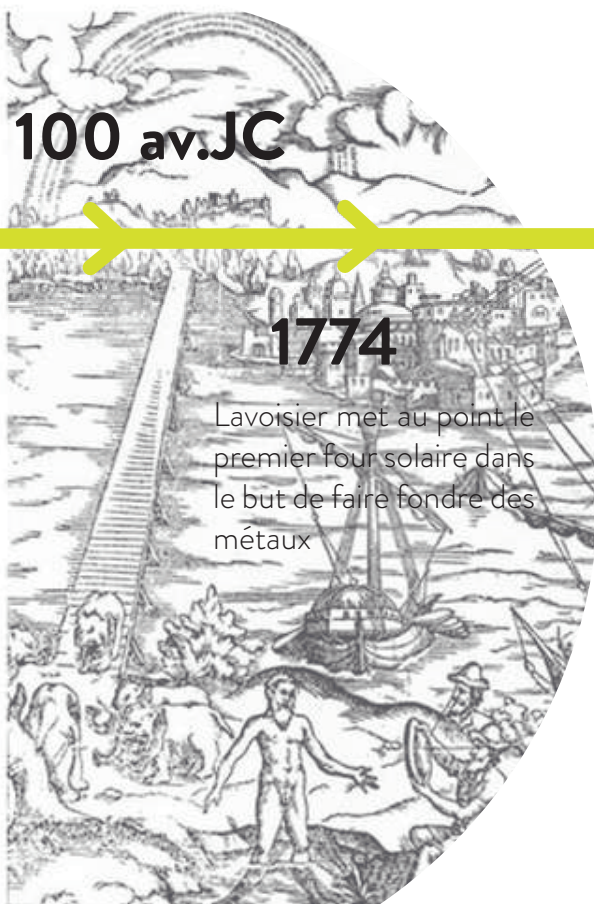
## **LE SOLAIRE THERMIQUE:**

Ce sont des systèmes qui récupèrent directement le rayonnement émis par le soleil sous forme de chaleur. Cette chaleur peut être ensuite utilisée telle quelle ou bien être réutilisée pour produire de l'électricité

# CHRONOLOGIE DE L'ENERGIE SOLAIRE

L'utilisation de l'énergie solaire dans la plus ancienne grande cité est créditée, mais n'a pas été prouvée, à Archimède (282-212 avant J.-C.), qui avait brûlé la flotte romaine dans la baie de Syracuse (maintenant détenue par l'Italie) en concentrant les rayons solaires en un point de focalisation jusqu'à prendre feu.

100 av.JC



1774

Lavoisier met au point le premier four solaire dans le but de faire fondre des métaux



1839

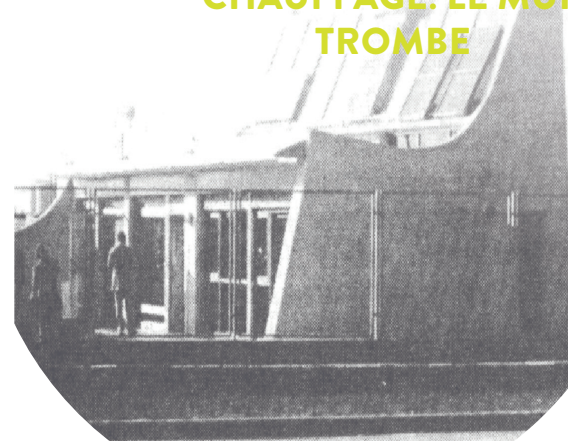
Antoine Becquerel découvre le phénomène photovoltaïque

1882

PREMIERES APPLICATIONS DU FOUR SOLAIRE DANS LES MACHINES A VAPEUR

1949

PREMIERE ARCHITECTURE SOLAIRE POUR LE CHAUFFAGE: LE MUR TROMBE



PREMIER CHOC PETROLIER

1970



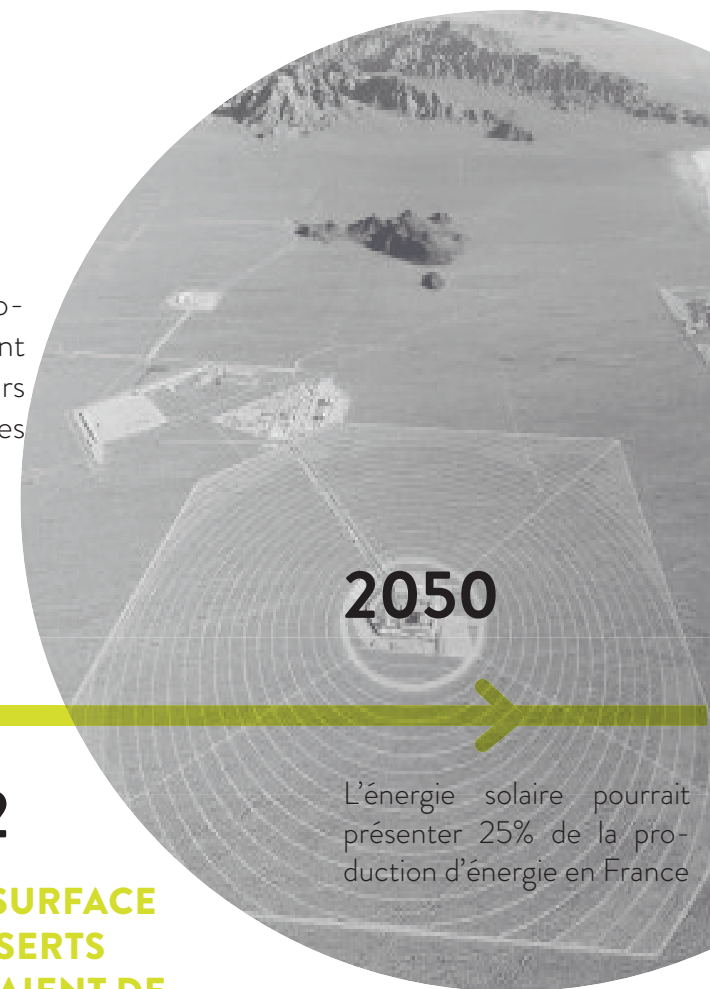
**1979**

L'entreprise Luz développe des capteurs solaires et le cylindre parabolique était responsable de la première usine commerciale d'électricité dans le monde



Les énergies solaires thermique et photovoltaïque se développent rapidement en France. Entre 2007 et 2009, leurs productions énergétiques respectives ont été multipliées par 2 et par 7.

**2000**



**2050**

L'énergie solaire pourrait présenter 25% de la production d'énergie en France

**1970-1980**

**LES CHOCS PÉTROLIERS RELANÇENT L'INTÉRÊT ACCORDÉ AU SOLAIRE**

**1980**

les développements sont freinés pour des raisons de rentabilité alors que le prix du pétrole redescend et que le nucléaire se développe

**1990**

**NOUVEL ESSORT DU SOLAIRE A TRAVERS LE PHOTOVOLTAÏQUE**



**2012**

**5 % DE LA SURFACE DES DÉSERTS PERMETTRAIENT DE PRODUIRE TOUTE L'ÉLECTRICITÉ DONT A BESOIN LA PLANÈTE.**

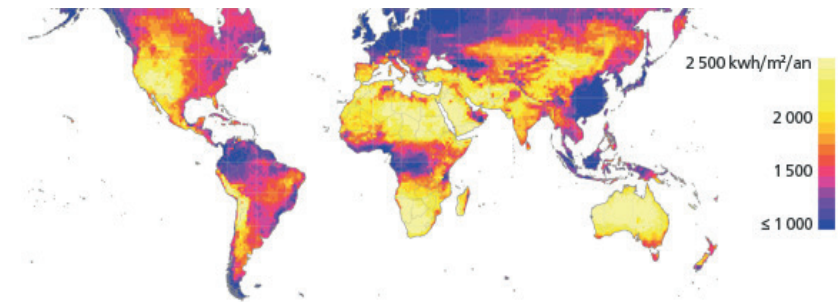


# LE SOLAIRE THERMIQUE ET LES SYTÈMES SOLAIRES À CONCENTRATION

Le solaire thermique est donc la voie d'utilisation la plus directe d'utilisation de l'énergie solaire. Il ne repose pas sur une transformation de cette énergie mais sur une concentration de cette énergie afin d'en obtenir une quantité suffisante pour permettre des applications. Le principe de la concentration de l'irradiation solaire est connu depuis l'Antiquité, comme l'illustre le mythe des « miroirs ardents » d'Archimède. Le plus souvent grâce à des miroirs réfléchissants ou des loupes, un système à concentration réoriente le rayonnement solaire collecté par une surface donnée sur une cible de dimension plus réduite : le démarrage d'un feu de feuilles mortes avec une loupe utilise ce principe. A l'heure actuelle, les systèmes solaires à concentration sont utilisés dans la cuisson, ou dans des expérimentations sur les hautes températures et là encore également pour produire de l'électricité.

Lorsque ces systèmes sont utilisés pour produire de l'électricité il s'agit là des centrales solaires thermodynamiques: elles utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur. Ce fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C. peut ensuite produire de l'électricité par le biais de turbines à vapeur ou à gaz . Contrairement aux installations solaires photovoltaïques dont le produit est directement l'électricité, les technologies solaires thermodynamiques dans leur processus génèrent de la chaleur. Un système à concentration, par définition, réoriente le rayonnement : il faut donc que celui-ci ait une direction. C'est le cas de l'irradiation directe (qui nous vient « directement » du soleil), mais pas de l'irradiation diffuse (qui est distribuée dans toutes les directions).

Pour la production d'électricité, dans les zones les plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire (voir carte ci-dessous) l'ensoleillement direct est supérieur à 2000kwh/m<sup>2</sup>/an. L'ensoleillement français n'est pas suffisant pour envisager des projets thermodynamiques électriques substantiels en métropole. Ces systèmes ne s'y sont donc jamais développés. De fait, c'est en Afrique du Nord que se trouve le plus grand gisement solaire au monde. En recouvrant 1% des déserts de ces systèmes solaires on pourrait produire suffisamment d'électricité pour la planète entière. En revanche, si les centrales thermodynamiques électriques doivent atteindre des températures de l'ordre de 500°C pour fonctionner, le chauffage d'un bâtiment ne réclame lui que des températures de 55 à 60°C tandis que l'eau chaude sanitaire est environ à 45°C. Ces systèmes pourraient-ils donc trouver une utilisation en métropole mais dans l'architecture?

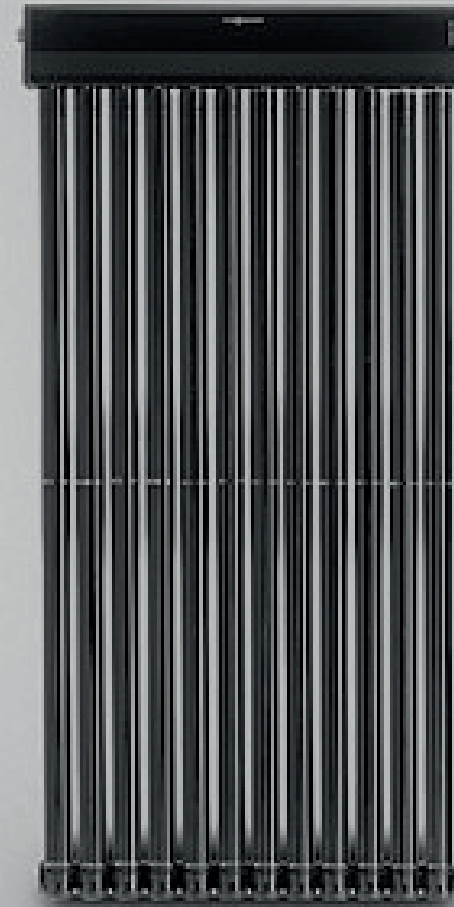


## UN SYSTEME INSPIRANT: LES TUBES SOUS VIDE

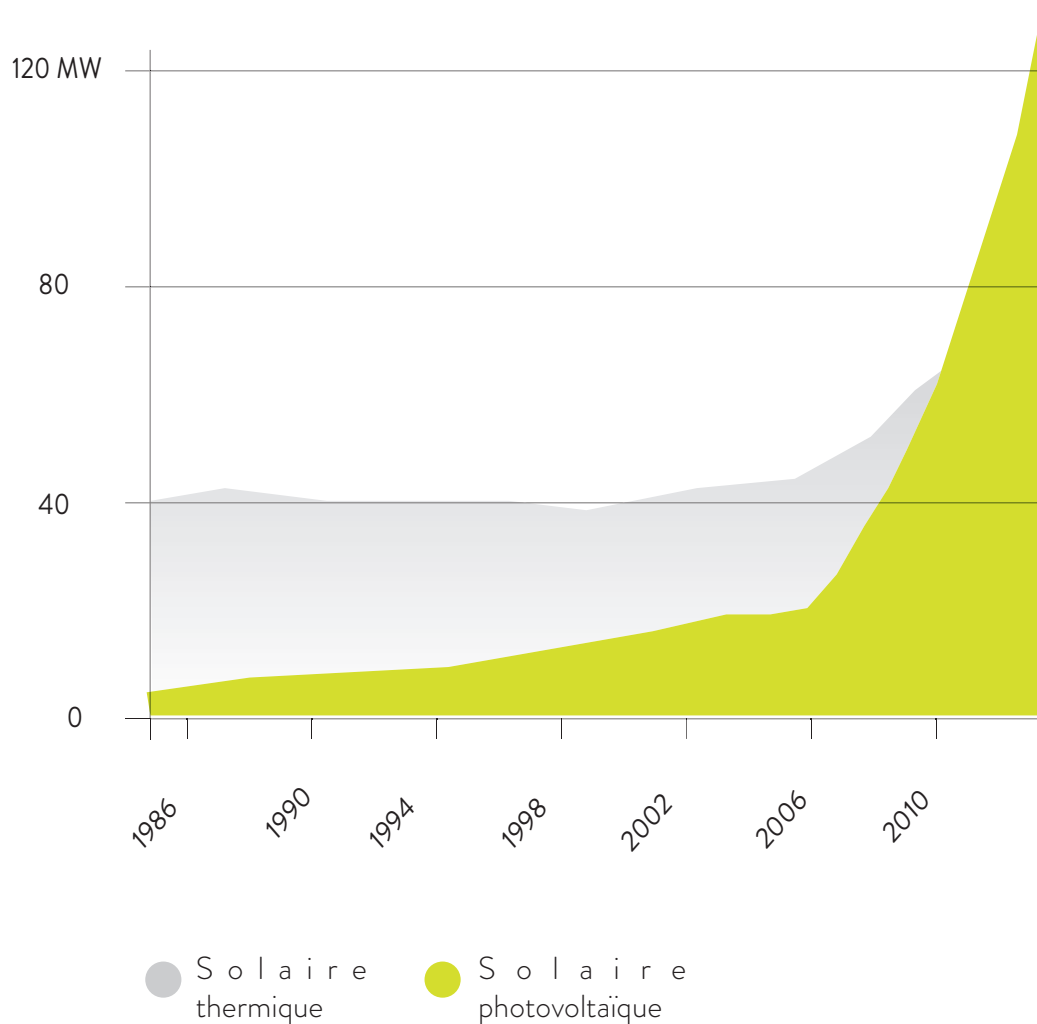
Une telle application des systèmes solaires existe en Europe. C'est une solution assez proche des fours solaires qui est utilisée pour le chauffage sanitaire: il s'agit des systèmes de chauffage solaires à tubes sous vide. Ce système n'utilise pas le principe de concentration des fours solaires mais repose sur une application directe de la chaleur reçue par le soleil: cette chaleur est absorbée par un liquide placé dans des tubes de verre isolés par une épaisseur de vide.

Ces systèmes sont essentiellement rencontrés pour le chauffage de piscine et les chauffages d'eau sanitaires. Les déperditions thermiques sont très faibles dans les tubes sous-vide ce qui permet de bénéficier pleinement des apports solaires.

Pour les régimes à température moyenne (delta de  $T^\circ$  de  $20^\circ$  à  $100^\circ\text{C}$ ), recherchés pour des applications comme la production d'eau chaude sanitaire ou le chauffage à basse (delta de  $60^\circ\text{C}$ ) et moyenne température (delta de  $100^\circ\text{C}$ ), les déperditions commencent à prendre le pas sur le rendement optique. Dans ce cas, les capteurs devront posséder outre un bon absorbeur sélectif, une bonne isolation thermique. Pour ces plages, les capteurs à tubes sous vide et les capteurs plans vitrés sont concurrentiels.



## L'ÉVOLUTION DES ENERGIES SOLAIRES EN FRANCE: LA PRÉPONDÉRANCE DU PHOTOVOLTAÏQUE



Porté par des soutiens politiques forts, des avantages fiscaux et réglementaires avantageux, par sa capacité d'adaptation à un réseau électrique standard, le solaire photovoltaïque a vécu un essor très fort depuis les années 2006. Il s'est largement imposé en France depuis 2010 et sa croissance est désormais fulgurante. Avec la RT 2012 et le récent attrait du solaire, le chiffre d'affaires des filières photovoltaïques et solaires thermiques a atteint 4,5 milliards d'euros en 2015, selon les estimations il va continuer à croître pour atteindre 5,18 milliards en 2018. Si le marché du solaire s'est développé par des acteurs locaux jusqu'en 2010, la taille du marché a maintenant conduit à une forte industrialisation et à l'émergence de très puissants concurrents asiatiques.

En France, le chauffage représente 2/3 de la consommation d'énergie d'un foyer. L'énergie solaire dont la principale caractéristique est de produire de la chaleur est minoritairement utilisée directement pour le chauffage. Elle est souvent transformée en électricité via des panneaux photovoltaïques puis pour des raisons financières revendue à EDF afin d'alimenter le réseau électrique. Pour 1kwh d'énergie solaire recue par le panneau photovoltaïque 0.14Wh est transformée en électricité, puis à cause des pertes dans le réseau seule 0.12Wh arrive jusqu'au client. En outre, la production d'énergie électrique française est régulée via des prévisions de consommation électrique. Les panneaux solaires étant répartis aléatoirement sur le territoire il n'est pas encore possible d'établir de prévisions de production d'électricité fiables pour ces systèmes. La conséquence directe est que EDF produit un surplus d'énergie le plus souvent grâce à des centrales thermiques, puis régule lorsque c'est possible la production lorsque les panneaux entrent en action.

# COMPARATIF

## L'ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE

L'énergie solaire thermique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire :

- en usage direct de la chaleur : chauffe-eau , chauffages solaires,...
- en usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage .

De fait, elle est utilisée principalement pour le chauffage de l'eau ou des locaux. On utilise pour cela des capteurs thermiques. Il en existe plusieurs catégories, mais le principe est toujours le même : le capteur thermique absorbe les rayons solaires et les transforme en chaleur. Celle-ci est ensuite transmise à un liquide ou à un gaz qui la transporte (le gaz est alors dit « caloporteur ») vers un réservoir de stockage de chaleur.

L'énergie thermique du soleil permet également de produire de l'électricité par voie thermodynamique. Le principe est identique à celui d'une centrale électrique classique : la production de vapeur ou de gaz à haute pression est turbinée pour être ensuite transformée en électricité. Ce processus nécessite des températures importantes (de 250°C à plus de 1 000°C) que l'on atteint en concentrant la lumière solaire avec des miroirs vers un fluide caloporteur. La technologie de concentration majeure est réalisée par les centrales solaires cylindro-paraboliques

### QUELQUES CHIFFRES:( CENTRALE SOLAIRE CILINDRO PARABOLIQUE )

**Prix: 70euros du m<sup>2</sup>**

**Rendement: 25% si production électricité, 70% si production chaleur**

**Puissance: 6 kw/m<sup>2</sup>**

**Durée de vie: 25 à 40 ans**

## L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire dans une cellule photovoltaïque. Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs, comme le silicium. Cette forme d'énergie reste aujourd'hui quantitativement limitée ; on lui prédit néanmoins un grand avenir grâce aux progrès attendus, à la baisse des coûts, à sa simplicité et à sa polyvalence.

La première application est apparue dans le domaine spatial pour les satellites. D'autres secteurs ont ensuite utilisé la technologie photovoltaïque, notamment les télécommunications, le balisage maritime et aérien, l'éclairage domestique et le pompage de l'eau. Mais comme le Soleil n'est pas visible en un point de la Terre 24 heures sur 24, cette application nécessite l'utilisation de batteries ou autres systèmes qui assurent le stockage de l'énergie en vue d'une consommation hors période d'ensoleillement.

### QUELQUES CHIFFRES:

**Prix: 1000euros du m<sup>2</sup>**

**Rendement: 15 à 20 %**

**Puissance: 0.14 kw/m<sup>2</sup>**

**Durée de vie : 10 ans environ**

# LES FOURS SOLAIRES

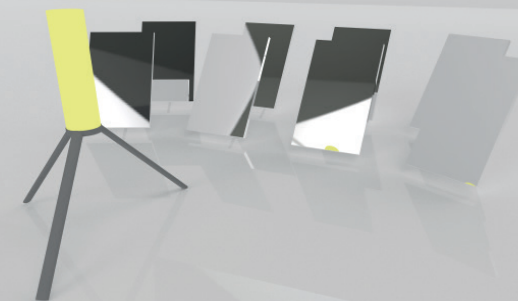
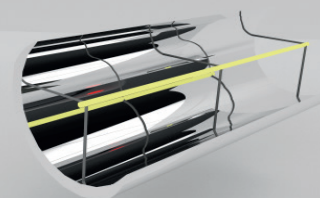
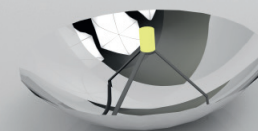
Les fours solaires sont une application de l'utilisation thermique de l'énergie solaire. Ils appartiennent à la famille des systèmes solaires dits à concentration. Les technologies solaires à concentration permettent de transformer le rayonnement solaire en chaleur jusqu'à 2000°C, avec un bon rendement. La ressource est ici le rayonnement solaire direct, qui représente entre 50% et 90% de la totalité du rayonnement solaire reçu sur terre. Ces systèmes ont connu une forte expansion ces dernières années, notamment pour leur facilité et coût de construction, leur fort rendement et leur durée de vie.

RÉSULTATS ET PROSPECTIVES	1985	2000	2015
RENDEMENT MOYEN	8%	8%	8%
COÛT DE PRODUCTION (EURO/ KW)	25	12	6
COÛT DU SYSTÈME (EURO/ M <sup>2</sup> )	400	150	70

\*Exemple de progrès pour les fours cylindro-paraboliques de 1985 à 2015

## Qu'est ce qu'une technologies solaires à concentration?

Le principe de ces systèmes est de concentrer le rayonnement solaire en une surface réduite. Ceci permet, pour une surface de capteur donnée, de diminuer la surface de réception effective et donc de minimiser l'influence des pertes thermiques du récepteur. Le rayonnement est concentré en une zone réduite qui est donc chauffée plus fortement. Ainsi la température atteinte après transformation en chaleur est plus élevée que pour des dispositifs à capteurs sans concentration (typiquement capteurs thermiques plans ou panneaux photovoltaïques). Les principaux dispositifs optiques qui permettent de concentrer l'énergie solaire mettent en œuvre des surfaces réfléchissantes (miroirs). La forme géométrique qui donne la meilleure concentration est la parabole puisque tout le rayonnement est alors concentré en un unique point. On rencontre typiquement 3 filières : les fours solaires paraboliques, les fours solaires cylindriques, les systèmes à miroir orientables et à récepteur central.



## QU'EST CE QUI INFLUE SUR LA CAPACITE D'UN FOUR SOLAIRE

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Alors que les chauffe-eau domestiques produisent une eau à une cinquantaine de degrés, il est possible, par la concentration, de chauffer des fluides à des températures de l'ordre de 250 à 1 000°C selon la taille de miroirs et l'ensoleillement. Il devient alors envisageable de les utiliser dans des processus industriels comme la génération d'électricité (on parle parfois « d'électricité solaire thermodynamique »). D'autres utilisations directes ou indirectes des fluides chauds sont possibles comme le dessalement de l'eau de mer, le refroidissement ou encore la génération d'hydrogène.

Le principe de la concentration de l'irradiation solaire est connu depuis l'Antiquité.

## TECHNIQUE ET ARCHITECTURE

Les fours solaires sont l'une des solutions techniques qui m'ont le plus intrigué pour conjuguer architecture et énergie solaire. En effet, ce sont des systèmes à la mise en œuvre et au fonctionnement simple et peu coûteux comparé aux photovoltaïques. Certains de ces systèmes ont un fort potentiel architectural (forme, matériaux..) et un rendement intéressant à l'échelle des besoins de chauffage des logements ou des bureaux.

Les fours solaires sont l'une des applications les plus basiques de l'énergie solaire ce qui en fait un élément technique intuitif et donc propices à être modulé.

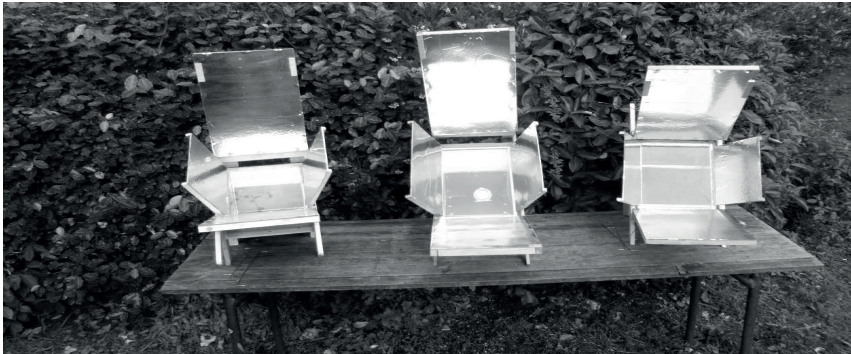


## SYSTEMES EXISTANTS



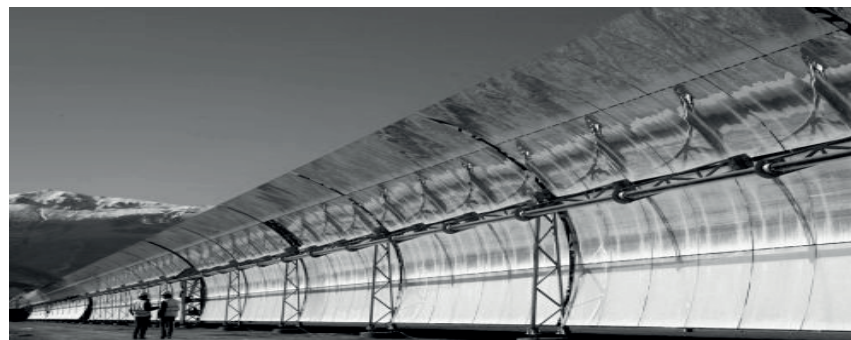
### ▷ FOUR PARABOLE

RENDEMENT DE 75%



### ▷ FOUR À MIROIRS PLANS

RENDEMENT DE 70% MAX

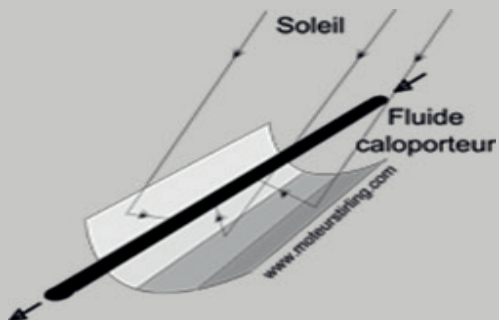
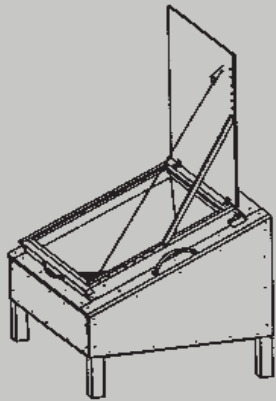


### ▷ FOUR CYLINDRIQUE

RENDEMENT DE 70% MAX

TYPES

# SHEMA



- **Prix: 150 EURO du m<sup>2</sup>**  
**Température max de 1200°C**  
**Puissance maximale atteinte: 300MW h**

C'est la technique la plus efficace pour la cuisine solaire, et celle qui permet le moins de pertes: une parabole concentre les rayons solaires en un point où la température peut atteindre les 1200°C. Plus la parabole est grande plus la température atteinte est importante. Ce système est en revanche coûteux et peu adaptable.

- **Prix 300EURO du m<sup>2</sup>**  
**Température max atteinte 3000°C,**  
**Puissance maximale atteinte: 1000 kw du m<sup>2</sup>.**

C'est le système le plus économique existant pour la cuisine solaire. Peu d'applications sont utilisées pour la production d'électricité car les températures atteintes sont faibles puisque les pertes sont importantes: des miroirs plans envoient les rayons solaires en un point ce qui permet son chauffage.

- **Prix : 260 EURO du m<sup>2</sup>**  
**Température max atteinte: 550°C ,**  
**Puissance maximale atteinte: 300MW du m<sup>2</sup>**

C'est la technologie la plus répandue aujourd'hui. Le foyer d'une parabole est un point, celui d'un miroir cylindro-parabolique est un axe, sur lequel est placé un tube absorbant (le récepteur) de couleur noire, pour capter un maximum de rayonnement. Dans ce tube circule le fluide caloporteur, qui se réchauffe jusqu'à une température d'environ 500°C et qui est ensuite centralisé et transporté jusqu'au bloc de génération électrique. L'ensemble miroir cylindro-parabolique/récepteur suit le mouvement du Soleil. Cette technique sert principalement pour la production d'électricité.







## LES FOURS SOLAIRES: CHAUFFAGE ET ARCHITECTURE

Comme on l' a décrit précédemment, Les systèmes solaires à concentration thermodynamique exploitent le rayonnement du soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux d'énergie solaire. Ces système thermique concentrés permettent d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés tels que les sytèmes à tube sous vide.

Alors que les chauffe-eaux domestiques produisent une eau à une cinquantaine de degrés avec une bonne exposition solaire, il est possible, par la concentration, de chauffer ces mêmes fluides à des températures de l'ordre de 250 à 1 000°C avec ue exposition similaire ou d'atteindre des températures de 50°C avec une exposition solaire bien moins favorable mais sur une palette de temps plus large . S'il n'est pas envisageable en France de les utiliser dans des processus industriels comme la génération d'électricité comme j'ai pu le développer précédemment il est en revanche crédible de leur trouver des applications plus constantes en architecture où ces sytèmes deviennent efficaces sur une plus longue plage météorologique. D'autres utilisations peuvent donc être expérimentées et c'est bien là le but de ce mémoire.



# EXPERIMENTATION

- Expérimentation 1
- Analyse des résultats
- Expérimentation 2
- Analyse des résultats



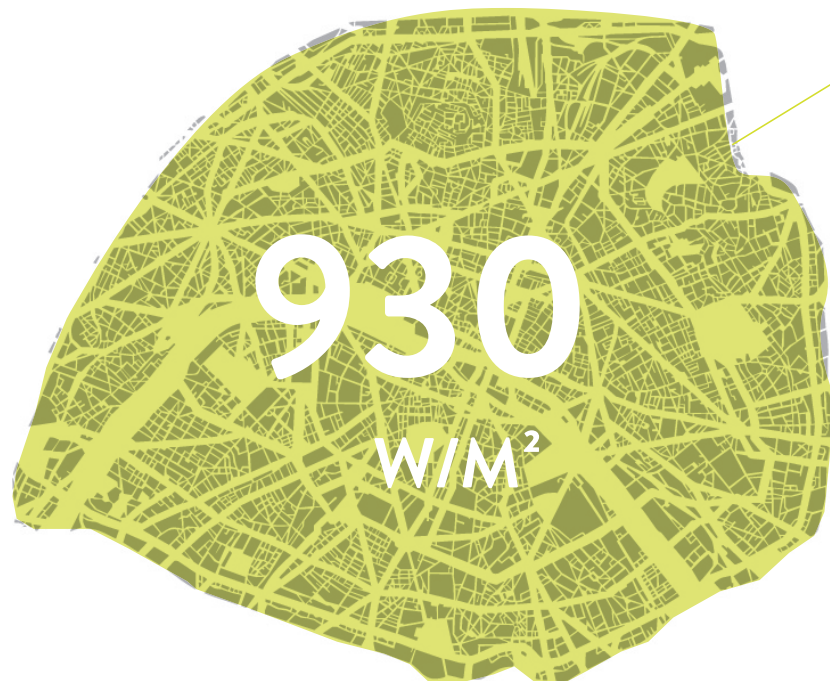
## POSTULAT DE DEPART

Les fours solaires sont une solution technique qui m'intrigue pour conjuguer architecture et énergie solaire. Comme on l'a vu précédemment, les fours solaires cylindro paraboliques plus spécifiquement sont des systèmes à la mise en œuvre et au fonctionnement simple et peu coûteux. Ils pourraient avoir un fort potentiel architectural (forme, matériaux..) et un rendement peut être intéressant à l'échelle des besoins de chauffage des logements ou des bureaux. En l'état on peut imaginer les adapter à des systèmes de façades en lames, à des pergolas, à des toitures. De nombreuses applications des fours solaires cylindro paraboliques existent ( production électrique,

cuisson) et ils ont un fort potentiel d'adaptabilité. Dans le cadre de ce mémoire, je souhaite concentrer mon travail sur l'utilisation de ce système afin d'en faire une matière première architecturale. Dans cette partie je compte vérifier par l'expérience l'intérêt global du système technique pour une utilisation de chauffage d'appoint à Paris. Le rendement du système est dur à approcher par le calcul j'aimerais le vérifier par l'expérience. Sur la base d'un premier calcul hypothétique je vais d'abord tester la faisabilité théorique d'un tel système à Paris. S'il y a un pas entre la théorie et la pratique, j'aimerais ensuite le mesurer.

## DIMENSIONNEMENT POUR PARIS

Lors de cette phase de mémoire, j'ai pu établir une première hypothèse concernant la capacité d'apport du système que j'ambitionne de réaliser (le détail des résultats des calculs est fourni en annexe). Par le biais d'une première étude théorique j'ai essayé d'analyser les apports possibles d'un système solaire sur mon appartement afin d'en évaluer l'intérêt.



Le système sera envisagé en vue d'une utilisation à Paris, sachant que l'ensoleillement y représente un valeur médiane en France



**1100kwh/m<sup>2</sup>**  
en moyenne

## APPROCHE THEORIQUE

Pour établir cette approche théorique, je me suis basé sur les données fournies par l'agence nationale de l'énergie solaire. Celle-ci a établi des relevés de l'énergie solaire disponible à Paris, constitutives d'un cadastre solaire. Elles représentent l'énergie potentiellement récupérable par mon système si celui-ci avait un rendement de 100%. J'ai ensuite analysé les déperditions de mon appartement afin de mettre en relation les possibles apports solaires et les apports que

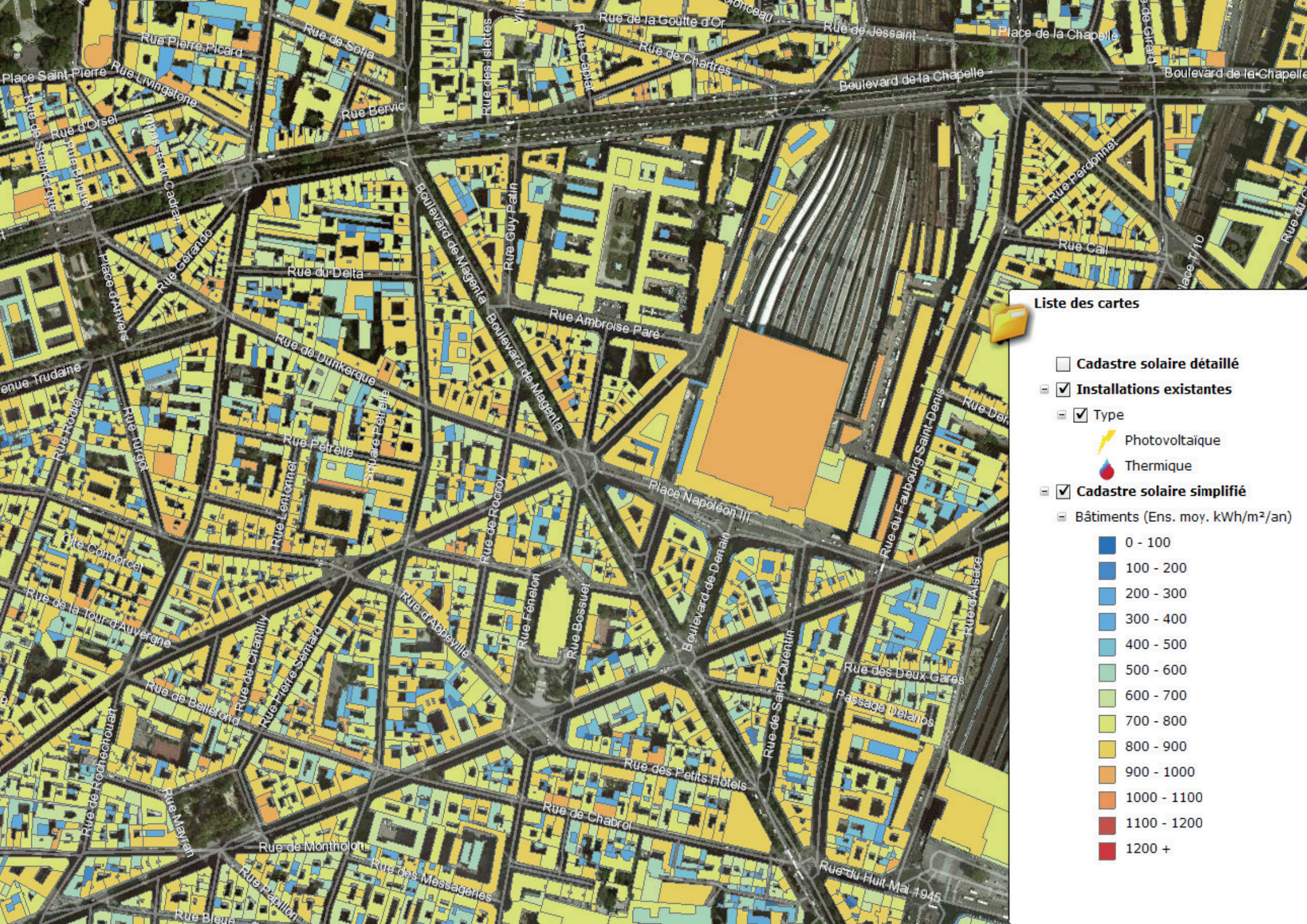
nécessite le chauffage de tout un appartement. J'ai calculé ces données à partir de la composition des parois de mon appartement et des températures moyennes en fonction de la période de l'année (fournies par météo France)

J'ai ensuite comparé ces données trouvées sur mes factures de gaz afin de valider mes calculs.
















Cette première approximation m'a permis de mesurer la portée de mon système.







**Liste des cartes**

- Cadastre solaire détaillé
- Installations existantes
  - Type
    -  Photovoltaïque
    -  Thermique
- Cadastre solaire simplifié
  - Bâtiments (Ens. moy. kWh/m<sup>2</sup>/an)
    -  0 - 100
    -  100 - 200
    -  200 - 300
    -  300 - 400
    -  400 - 500
    -  500 - 600
    -  600 - 700
    -  700 - 800
    -  800 - 900
    -  900 - 1000
    -  1000 - 1100
    -  1100 - 1200
    -  1200 +



# APPROCHE THEORIQUE

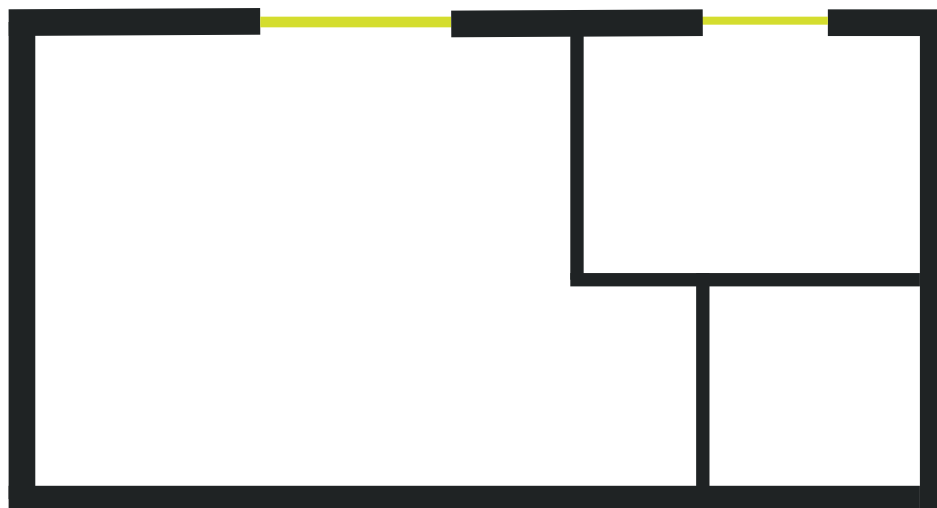
Les données collectées par l'agence nationale de l'énergie solaire via les panneaux solaires installés sur les toits parisiens permettent d'approcher théoriquement l'énergie solaire disponible en fonction du mois de l'année

MOIS DE L'ANNEE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
ENERGIE SOLAIRE PAR M <sup>2</sup> DISPONIBLE	0.87	1.52	2.88	1.87	1.52	2.88	3.56	4.45	2.43	1.98	0.99	0.72

\*Energie solaire en Kwh/m<sup>2</sup> par jour disponible sur les toits Parisiens

## MISE EN PERSPECTIVE

Mon appartement de 45m<sup>2</sup> est exposé plein sud et sert de comparatif afin de mesurer l'impact que pourrait avoir l'énergie solaire sur les consommations énergétiques



## ANALYSE DES DEPERDITIONS THERMIQUES

composition des murs: béton/isolant polystyrène  
composition des ouvertures: fenêtres double vitrage simples

La composition des murs de l'appartement et leur dimension permet de mesurer les déperditions thermiques subies en fonction du mois de l'année.

Ceci est permis grâce aux écarts de températures moyens entre l'intérieur et l'extérieur

MOIS DE L'ANNEE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE MOYENNE	2.7	4.1	6.6	10.2	13.8	17.1	18.9	18.5	15.8	10.8	6.7	3.5
DELTA T INTÉRIEUR /EXTÉRIEUR	18.3	16.9	14.4	10.8	7.2	3.9	2.1	2.5	5.2	10.2	14.3	17.5
DEPERDITIONS THERMIQUES FAÇADES +VITRAGES	170.73	157.7	134.35	100.76	67.1	36.38	19.59	23.32	48.51	95.16	133.41	162.27
DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR+AUTRES	78	72	67	48	32	18	8	12	23	48	74	83
CONSOMMATION RESULTANTE EN CHAUFFAGE ( KWH/JOUR)	11.56	9.45	6.34	4.32	2.34	1.38	1.23	0.99	8.45	10.39	11.39	10.54

\*Energie solaire en Kwh/m<sup>2</sup> par jour disponible sur les toits Parisiens

A la lumière de ces résultats, j'ai établi en première hypothèse qu'un tel système solaire sur une surface de captation de 5M<sup>2</sup> avec un rendement de 50% me permettrait d'effectuer entre 20 et 40 % d'économies énergétiques sur un hiver. Le rendement de 50% a été choisi arbitrairement. Pourtant ce rendement pourrait être supérieur. Les fours solaires disponibles dans le commerce ont des rendements proches des 70%.

Ce système serait donc pertinent utilisé sur les toitures des immeubles ou sur leurs façades. Celui-ci aurait une surface de captation importante et pourrait permettre des économies de chauffage conséquentes sur un hiver.



## CONCEPTION DU PREMIER DISPOSITIF

Afin de faciliter les démarches mon prototype aura une surface de captation de  $0.5\text{m}^2$ . Sachant que l'énergie produite par ces systèmes est proportionnelle à la surface de captation, toutes les observations que je ferais avec un système d'une telle dimension seront donc applicables à un système de dimension supérieure.

Avec une surface de captation réduite je pourrais alors réduire la température maximale atteinte dans le matériau de stockage et donc réduire les risques et les coûts.

Cette expérimentation sera mise en place sur le balcon de mon logement. Un balcon de  $4\text{m}^2$  exposé plein sud.

Dans le cadre de cette expérience un prototype a donc été produit : il s'agit d'un four cylindro parabolique combiné à un échangeur à eau.



### Le choix du type de concentration

Pour pouvoir récupérer l'énergie avec le maximum de rendement il faudra que la température soit suffisamment élevée pour pouvoir être utilisée. Il faut maximiser l'efficacité du concentrateur pour avoir le meilleur rendement, les fours cylindriques sont pour cela une alternative efficace: ils permettent de chauffer un fluide tout en permettant sa circulation.

Les matériaux utilisés devront donc être choisis pour maximiser la concentration: une surface miroir doit donc être utilisée dans le cylindre

### Le dispositif d'orientation

Un dispositif d'orientation des lames sera à prévoir pour le système final afin que celui-ci reste face au soleil tout au long de la journée. Le dispositif devra suivre la course solaire.

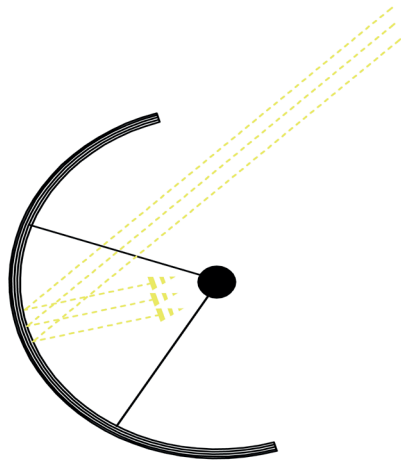
### Le dispositif de stockage

Comme sur un four tube traditionnel, un fluide caloporteur circulera et accumulera l'énergie thermique.

# PRINCIPES PHYSIQUES UTILISES

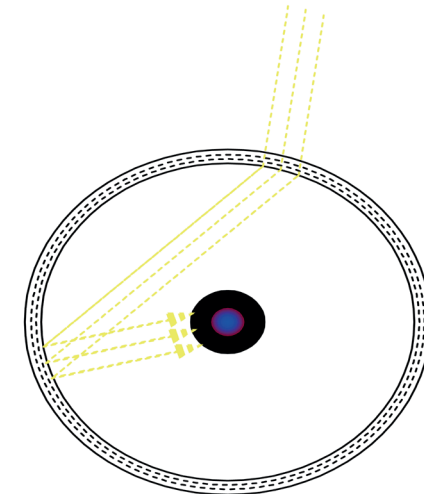
## LA CAPTATION: ABSORPTION/RÉFLEXION:

Un four solaire est la combinaison de deux mécanismes : un matériau réfléchissant qui renvoie et concentre le rayonnement solaire, et un matériau absorbant qui le recueille et le transforme. De fait, les rayonnements solaires sont un flux d'énergie: le corps noir absorbe la totalité des rayonnements, il est donc le matériau absorbant par excellence, tandis qu'il s'oppose au matériau réflecteur qui à l'inverse renvoie la totalité du rayonnement solaire.



## EFFET DE SERRE

Le verre est transparent pour le rayonnement solaire mais bloque le rayonnement infrarouge. Il a ainsi un caractère sélectif. La radiation solaire entrante est donc piégée et finit par être absorbée. Les infrarouges sont incapables de traverser les parois par lesquelles ils se sont introduits. Ce phénomène physique sera utilisé pour envelopper le tube absorbant le rayonnement solaire. Dans l'idéal ce tube de verre enveloppant le tube absorbant servirait également d'isolant thermique en emprisonnant une lame de vide (le vide est le meilleur isolant thermique).



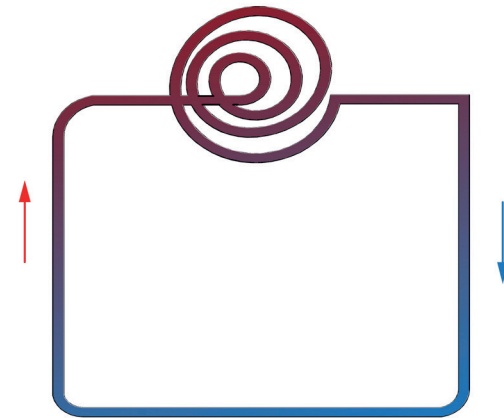
## LA CONDUCTION THERMIQUE

La conduction thermique est un mécanisme de transfert de chaleur par diffusion qui se produit essentiellement à travers un solide opaque ou entre deux matériaux en contact dont les faces sont soumises à des températures différentes. L'élément le moins chaud absorbe l'excédent de chaleur de l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. ce phénomène physique sera utilisé dans l'échangeur eau-air afin de chauffer l'air contenu dans le milieu expérimental isolé. C'est la température de cet air qui sera relevée dans l'expérience:



## LA CONVECTION NATURELLE

En plaçant l'échangeur eau-air au dessus du four solaire on utilise le principe de convection naturelle: Il s'agit de la tendance naturelle d'un fluide à monter quand il est chauffé, car il devient moins dense et plus léger. L'eau chauffée par le four solaire monte ainsi dans l'échangeur si et seulement si la température dans le four solaire est supérieure à la température dans l'échangeur. Si l'ensoleillement est trop faible pour chauffer suffisamment l'eau l'échange thermique est donc stopé: l'avantage est que le système ne se met en marche que si il permet des apports



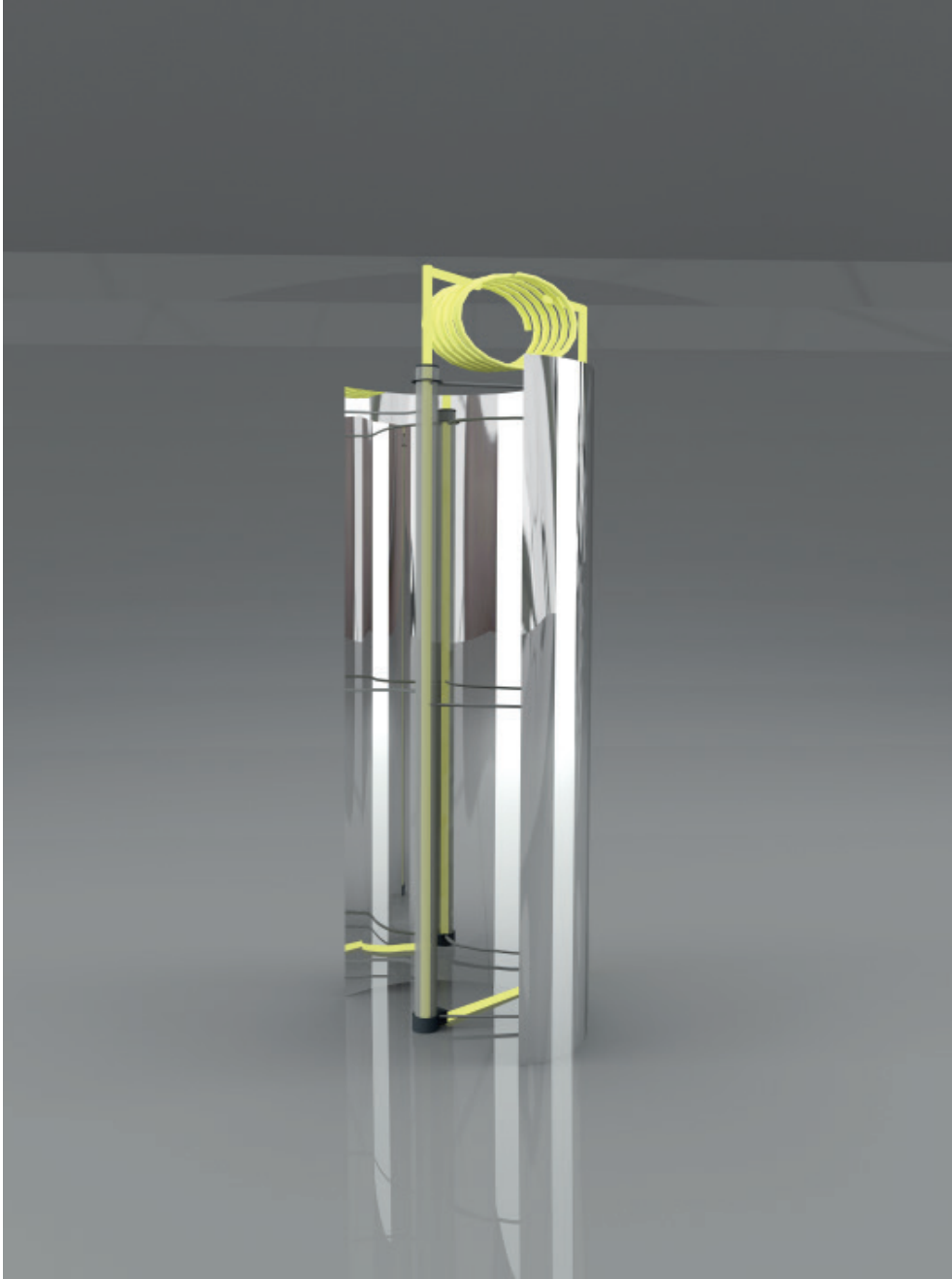




Le tube absorbant de verre creux contient un tuyau de cuivre peint en noir mat: ce tube de cuivre est contenu dans un tube de verre, qui joue le rôle d'isolant et génère un effet de serre.



Un demi-cylindre recouvert de papier miroir concentre les rayons sur le tube d'absorption. Le tube d'absorption est fixé sur l'axe focal du demi-cylindre.



le tube d'absorption est mis en eau et en en réseau grâce à un système de tubes de cuivre isolés thermiquement. Ce réseau contient un échangeur eau-air composé d'un serpentin en PVC.



L'échangeur est isolé dans un milieu expérimental: une boîte de bois isolée thermiquement via de l'isolant en polystyrène expansé (deux épaisseurs à  $0.038\text{w/m.k}$ ). Une sonde thermométrique recueille la température au coeur de la boîte.

# MISE EN OEUVRE

**ETAPE 4:** Dans un échangeur air eau placé en partie haute la chaleur du liquide s'échange avec l'air de la boîte. L'eau du tube s'équilibre avec l'air de la boîte.

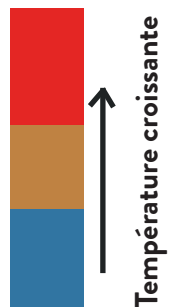
**ETAPE 3:** le liquide contenu dans le tube absorbeur se chauffe par conduction. Par convection naturelle le liquide chaud se met en mouvement: il monte

**ETAPE 2:** le tube absorbeur est composé d'un tube intérieur absorbant noir mat qui permet la circulation d'eau et son échauffement, ce tube absorbeur est enveloppé d'un tube isolant en verre: ce second tube permet la mise en place d'un effet de serre et piège une lame de vide, ce qui permet une isolation du tube absorbant



**ETAPE 1:** la radiation solaire est concentrée sur un tube absorbeur via un demi cylindre miroir

**ETAPE 5:** L'eau refroidie dans l'échangeur redescend pour se représenter dans le tube absorbeur



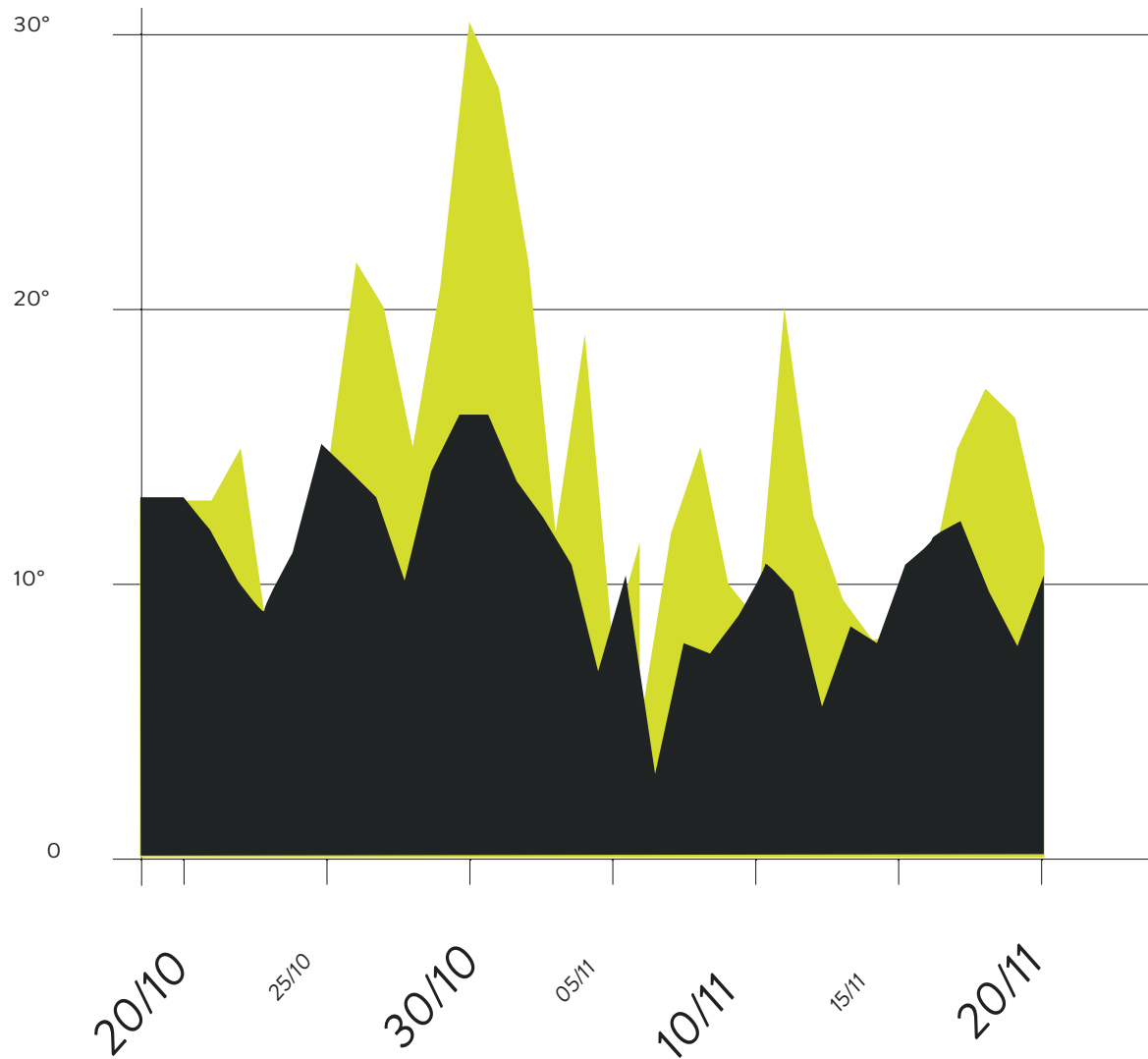


# PREMIER ESSAI EXPERIMENTAL

SYSTÈME UTILISÉ SANS DISPOSITIF DE SUIVI DE LA COURSE SOLAIRE: RELEVÉS FAITS À 13H DE MANIÈRE QUOTIDIENNE.

DATE	TEMPERATURE EXTÉRIEURE	TEMPÉRATURE INTERIEURE	METEO
20/10	13°	13°	NUAGEUX ET PLUVIEUX
21/10	12°	13°	NUAGEUX ET PLUVIEUX
22/10	10°	15°	ENSOLEILLE
23/10	9°	12°	BRUMEUX
24/10	11°	11°	PLUVIEUX (CHANGEMENT ISOLATION)
25/10	15°	16.4°	NUAGEUX
26/10	14°	22°	SOLEIL
27/10	13°	20°	SOLEIL/ALTERNANCE NUAGEUX
28/10	10°	15°	SOLEIL/ALTERNANCE NUAGEUX
29/10	14°	21°	SOLEIL
30/10	16°	31.4°	SOLEIL (FOUR TOURNÉ TROIS FOIS DANS LA JOURNÉE POUR SUIVRE COURSE SOLAIRE)
31/10	16°	28°	SOLEIL
01/11	13.5°	22°	SOLEIL/ALTERNANCE COUVERT
02/11	12.2°	14°	COUVERT
03/11	10.5°	22°	SOLEIL
04/11	6.9°	8°	COUVERT
05/11	10°	11.5°	COUVERT
06/11	3.1°	8°	PLUIE
07/11	7.7°	12°	SOLEIL/ALTERNANCE COUVERT
08/11	7.2°	15°	SOLEIL/ALTERNANCE COUVERT
09/11	8.8°	10°	PLUIE
10/11	10.4°	10.5°	PLUIE
11/11	9.6°	20°	SOLEIL
12/11	5.6°	12.4°	PLUIE ET ENSOLEILLEMENTS
13/11	8.1°	9.6°	NUAGEUX
14/11	7.8°	8°	COUVERT
15/11	10.3°	12°	COUVERT
16/11	11.6°	11.7	COUVERT
17/11	12.2°	15°	COUVERT/SOLEIL
18/11	9.6°	17°	SOLEIL
19/11	7.5°	16°	SOLEIL
20/11	10.1°	11.3°	PLUIE





## GRAPHIQUE DE L'ÉNERGIE REÇUE

 TEMPÉRATURE DANS LE PROTOTYPE

 TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE

## ANALYSE DES RESULTATS ET MISE EN PERSPECTIVE

### Calcul de l'énergie captée par le système:

Le système contenait 2.2 L d'eau soit une masse  $m=2.2$  kg d'eau

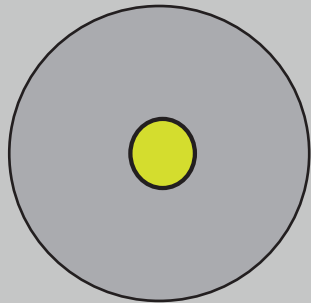
la formule permettant de calculer l'énergie reçue par de l'eau en fonction de sa température est donnée par :  **$E = m \cdot C_{eau} \cdot (T_{finale} - T_{initiale})$**  avec  $C_{eau} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  (capacité thermique massique de l'eau).

Après un mois d'expérimentation il s'avère que le prototype est capable de fournir  $0.17 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{jour}$  d'énergie dans le meilleur des cas. Il a donc un rendement d'environ 20%. Sachant que le potentiel d'ensoleillement du mois de novembre est de  $0.99 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jour}$  à Paris au mois de novembre. Ce rendement expérimental s'explique par l'absence de suivi de la course solaire par le prototype et par le fait que le tube absorbeur n'est pas isolé thermiquement.

Au vu des calculs effectués dans la première partie de ce mémoire le système en l'état n'est capable de ne compenser que 3% des besoins énergétiques de mon appartement sur le mois de novembre si il a une surface de captation de  $1 \text{ m}^2$  et d'environ 30% si il a une surface de captation de  $10 \text{ m}^2$ .




Muni d'un système de suivi de la course solaire et d'une isolation thermique efficace le rendement du prototype pourrait être bien supérieur et pourrait donc rejoindre les calculs théoriques effectués en première partie du mémoire. C'est ce qu'il reste à expérimenter.

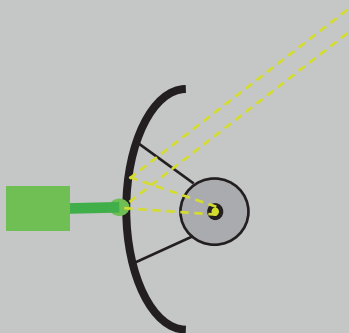
La solution afin d'augmenter fortement le rendement du système serait d'utiliser des tubes sous vide afin d'empêcher les nombreuses déperditions thermiques du système et d'y ajouter un système de suivi de la course solaire.



### Tube sous vide:





Le tube absorbeur est enveloppé dans un tube de verre plus large: ce second tube emprisonne une lame de vide. Le vide étant l'isolant thermique par excellence, le tube absorbeur ne subit alors plus de déperditions thermiques par conduction

-  **Matériau absorbeur**
-  **Épaisseur de vide**
-  **Verre**



### Système de suivi de la course solaire

Le miroir concentrateur s'oriente en fonction de la position du soleil afin que les rayons restent toujours concentrés sur le tube absorbeur

-  **Tube absorbeur**
-  **Dispositif d'orientation**
-  **Rayons solaires**
-  **Miroir concentrateur**

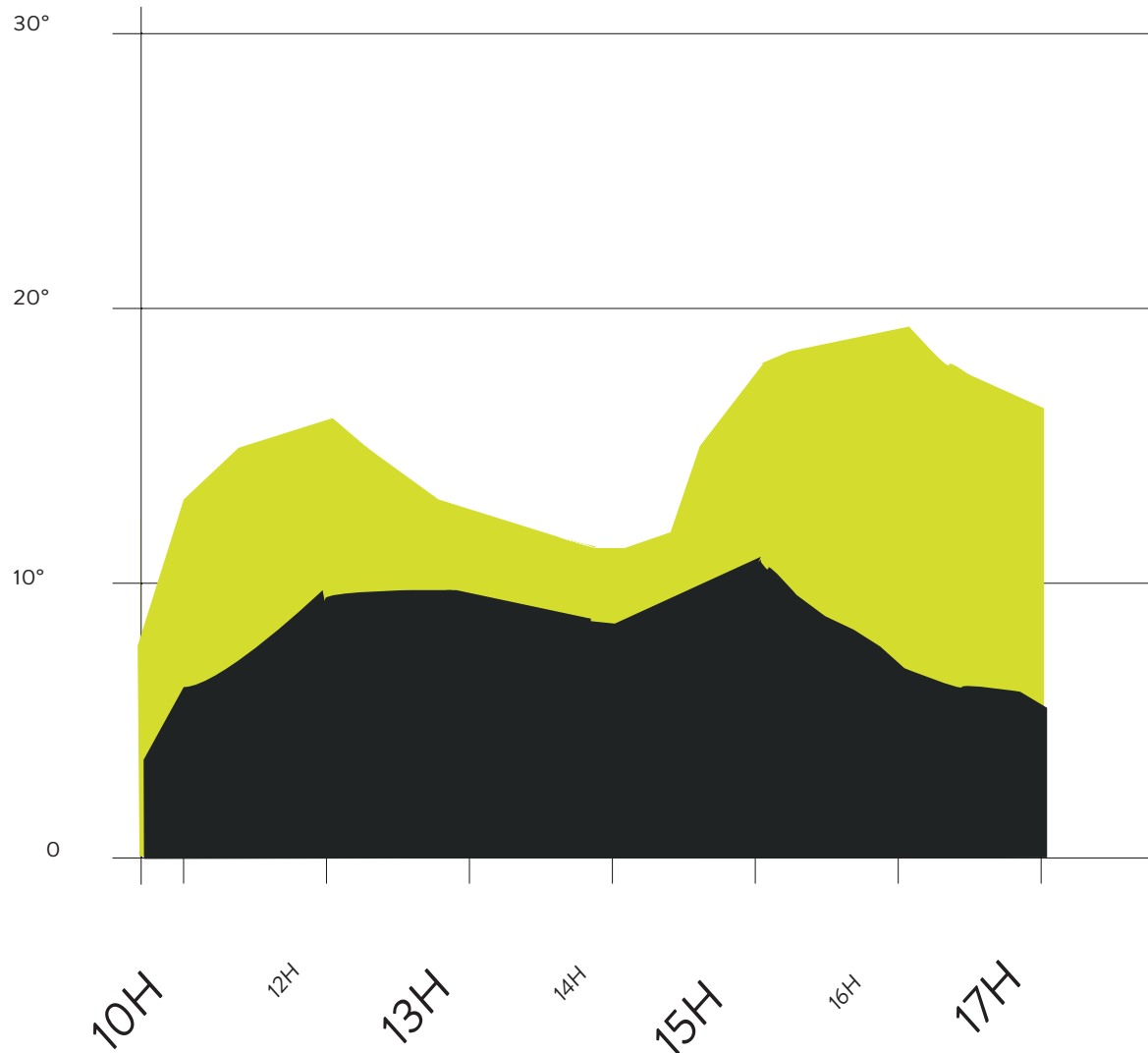
## SECONDE EXPERIMENTATION

SYSTÈME UTILISÉ AVEC SUIVI DE LA COURSE SOLAIRE: RELEVÉS FAITS À HEURES PAR HEURE LE 4 DECEMBRE 2016

Dans cette seconde expérimentation, le dispositif est réorienté toutes les heures afin de suivre la course solaire.

HEURE	TEMPERATURE EXTÉRIEURE	TEMPÉRATURE INTÉRIEURE	METEO
10H	3°	7°	NUAGEUX
11H	7°	13°	SOLEIL
12H	10°	15°	ENSOLEILLE
13H	10.4°	12°	PASSAGES NUAGEUX
14H	9.4°	11°	SOLEIL
15H	11°	16.4°	SOLEIL
16H	8°	18°	SOLEIL
17H	7.5°	17.5°	SOLEIL COUCHANT
18H	5.4°	17.3°	NUIT

Dans ce type de configuration le rendement du système est très largement augmenté ce qui prouve le besoin de mettre en place un système de suivi de la course solaire dans le système architectural. On observe aussi l'importance des déperditions thermiques lorsque le soleil se couche, ce qui montre que le rendement du système serait augmenté par une meilleure isolation.



## GRAPHIQUE DE L'ÉNERGIE REÇUE

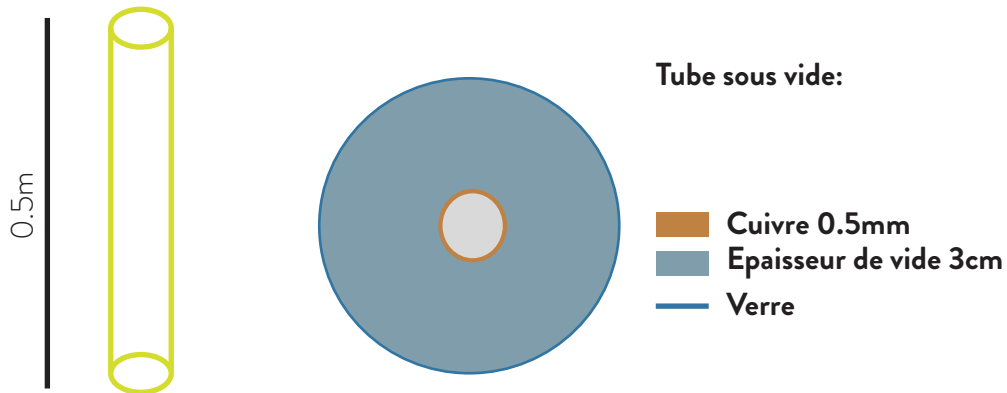
 TEMPÉRATURE DANS LE PROTOTYPE

 TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE



# CALCUL DES PERTES ET EXPLICATION DE L'ÉCART

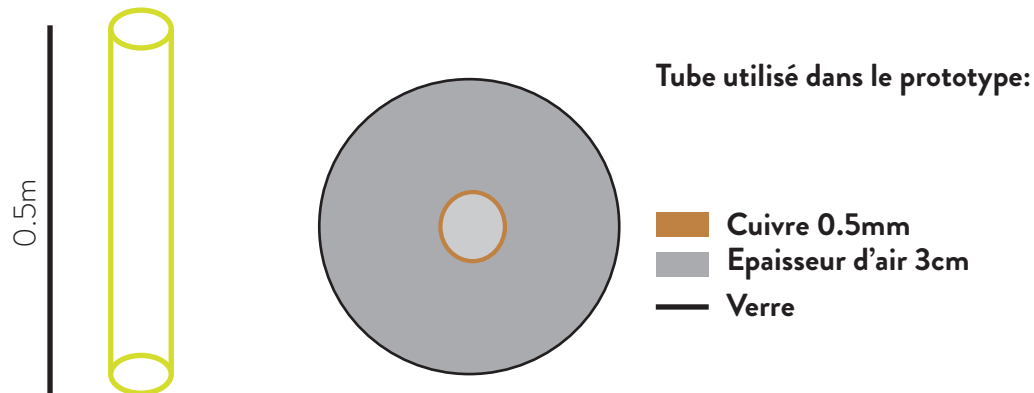
Les systèmes de chauffage actuels utilisés dans le chauffage de l'eau sanitaire et décrits dans la partie étude théorique de ce mémoire sont munis de tubes sous vides. La solution afin d'augmenter fortement le rendement du système serait d'utiliser des tubes sous vide afin d'empêcher les nombreuses déperditions thermiques du système et d'y ajouter un système de suivi. Ceci n'étant pas réalisable dans le cadre de ce mémoire pour des raisons budgétaires, une approche théorique a été effectuée afin d'estimer le potentiel du système muni de ces tubes:



**Tube sous vide:**

- Cuivre 0.5mm**
- Épaisseur de vide 3cm**
- Verre**

Si l'on néglige les déperditions thermiques par rayonnement, le tube sous vide présente l'avantage de ne pas subir de pertes thermiques par conduction. Les déperditions thermiques sont donc négligeables dans le tube sous vide



**Tube utilisé dans le prototype:**

- Cuivre 0.5mm**
- Épaisseur d'air 3cm**
- Verre**

Dans le prototype, le tube absorbeur était composé d'un tube de cuivre entouré par un tube de plastique et 3cm d'air, on peut ainsi évaluer les déperditions thermiques qui s'y déroulaient:

Le cuivre possède un indice de conductivité thermique de  $390\text{W/m.K}$

L'air possède un indice de conductivité thermique de  $0.0262\text{W/m.K}$

Le verre possède un indice de conductivité thermique de  $1.2\text{W.m.K}$

la perte de chaleur dans un tube est donnée par la formule suivante: **Pertes=**  
 **$K \cdot (\text{Température intérieure du tube} - \text{température extérieure})$  en  $\text{W/m}$**

**K est le coefficient de transmission de la chaleur par le tube, ce coefficient se calcule par la formule suivante:**

**$1/K = R/2P_i + 1/P_i \cdot D_e \cdot h$  ; h est un coefficient donné en fonction de la température et R se calcule en fonction des diamètres des différents matériaux du tube.**

**Après calcul on définit qu'à une température moyenne de  $20^\circ$  pour l'intérieur du tube et  $10^\circ$  à l'extérieur les pertes thermiques dans ce tube étaient de**

**$K = 21.91\text{W}$**

**Sachant que le système est capable d'apporter  $0.17\text{kWh/m}^2$  / jour d'énergie dans le meilleur des cas, soit  $170\text{WH/m}^2$ , ces pertes sont donc importantes.**

# CALCUL DES PERTES ET EXPLICATION DE L'ÉCART

Le circuit d'eau est composé entre le tube récepteur et l'échangeur thermique de tubes de cuivres isolés thermiquement grâce à un isolant appelé calorifuge



cette épaisseur d'isolant détournant le tube dans lequel circule l'eau chaude était de 25mm

DIAMETRE DU TUBE	PERTES DE CHALEUR EN W/M		
	TUBE NU	CALORIFUGE 25MM	CALORIFUGE 50MM
TUBE 10MM	24	7.5	5.5
TUBE 20MM	43	10.0	7.5

\*DONNÉES FOURNIES PAR LE CSTB DANS LE CADRE DE LA RT2000

Sachant que le tube calorifugé était long de 0.75m, les pertes sont ainsi de 5.565W pour l'ensemble du prototype. Ces pertes sont relativement faibles au regard des pertes dans le tube absorbeur mais tout de même importants au regard du rendement actuel du système. On pourrait ainsi obtenir un rendement sensiblement meilleur en doublant les épaisseurs de calorifugeage.

## CONCLUSION

Ce premier prototype démontre le potentiel de ce type de système solaire mais également ces limites: si l'écart entre la théorie et l'expérience est relativement important, cela s'explique simplement par des problèmes de pertes thermiques qui pourraient être compensés par une meilleure isolation et l'utilisation de tubes sous vide. Un système de suivi de la course solaire permettrait d'augmenter encore fortement le rendement du système mais on peut se demander si l'énergie qu'apporterait le système serait alors valable face à l'énergie électrique qui serait utilisée pour faire tourner les tubes. L'expérience et l'analyse de ses résultats montrent que le système peut avoir un impact sur les besoins de chauffage même au mois de novembre où les apports solaires sont pourtant faibles, ce qui laisse entendre que son efficacité serait meilleure dans certains mois intermédiaires de printemps et d'automne où les apports solaires sont forts et les températures assez faibles. La faiblesse du système semble être principalement dans le transfert de la chaleur entre le tube absorbeur et le milieu à chauffer. C'est donc cet aspect qu'il faut tenter d'améliorer pour rendre le système plus performant.



## MISE EN OEUVRE ARCHITECTURALE

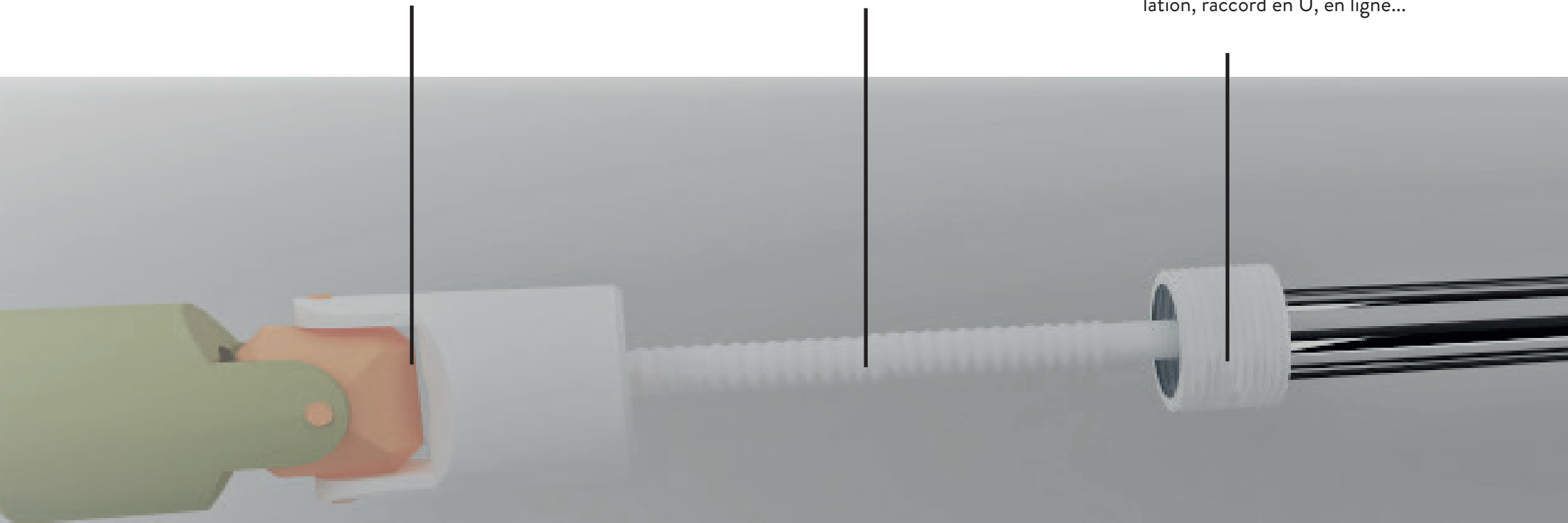
Afin de permettre la mise en oeuvre architecturale du système étudié, celui-ci pourrait être conçu en tant que tube modulable : le tube absorbeur en cuivre serait placé dans un tube sous vide en verre tandis qu'un demi cylindre de miroir l'envelopperait pour permettre la concentration solaire. Ce tube pourrait ainsi être constitutif d'un bardage, d'une pergola, d'un bardage etc.. Selon le diamètre, la longueur ou le nombre de tube différentes configurations seraient envisageables

### VUE ECLATEE DU SYSTEME DE TUBE

Système permettant la fixation des tubes entre eux

Flexible calorifuge permettant la circulation de l'eau chaude entre les tubes

Pas de vis permettant l'assemblage du tube avec différents systèmes: articulation, raccord en U, en ligne...

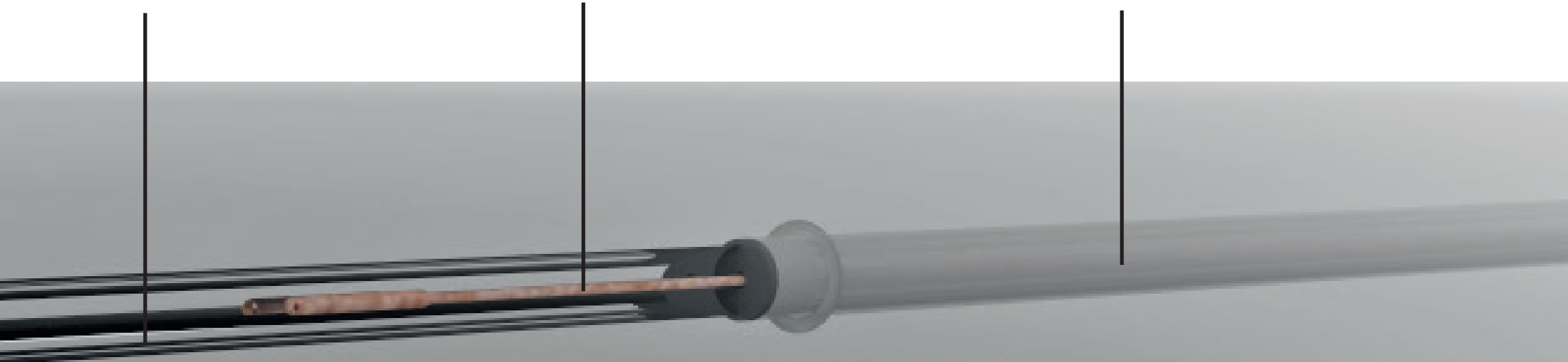




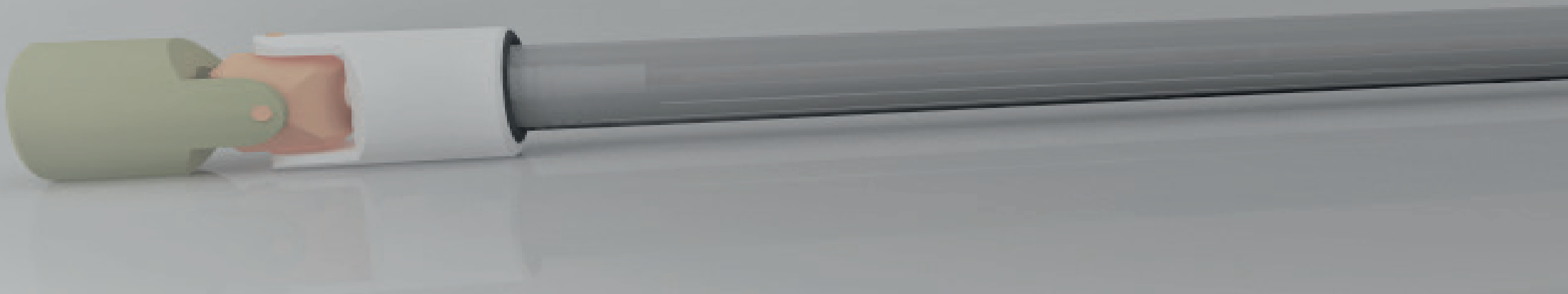
Demi-cylindre de Miroir concentrateur

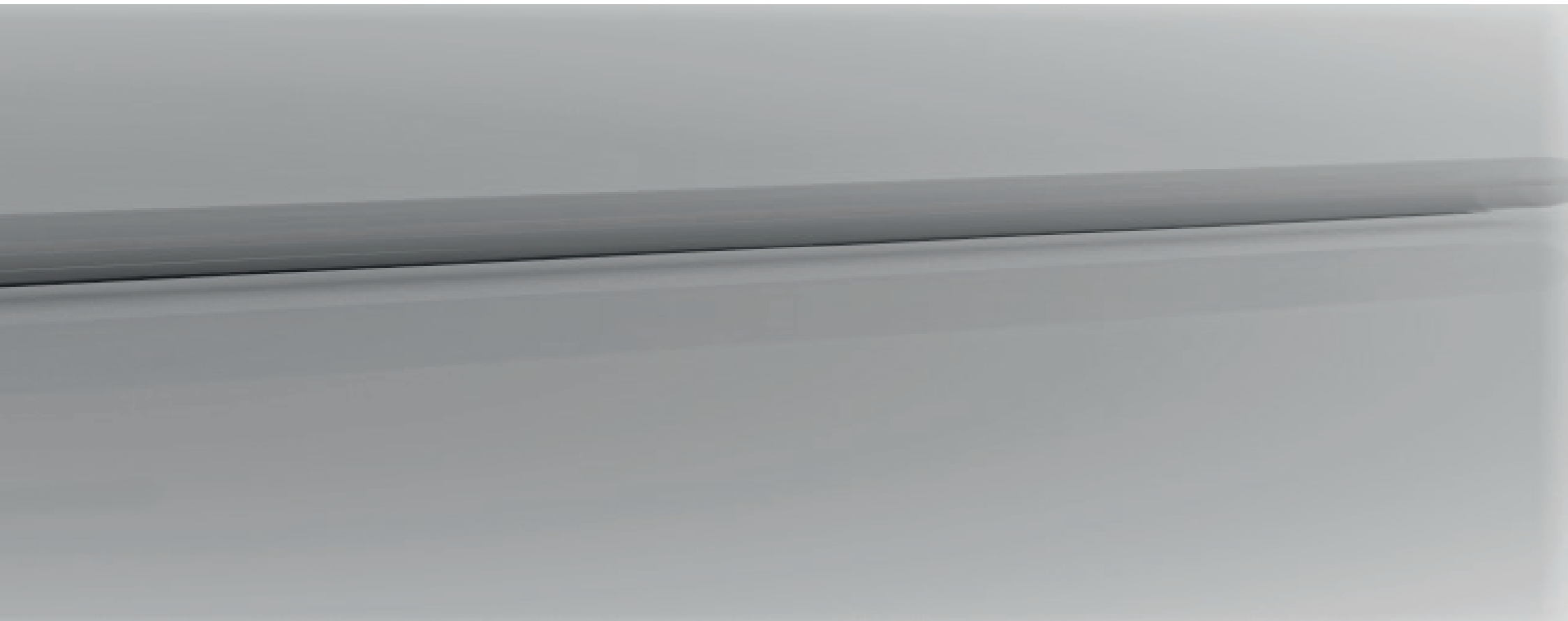
Tube absorbeur en cuivre

Tube sous vide en verre



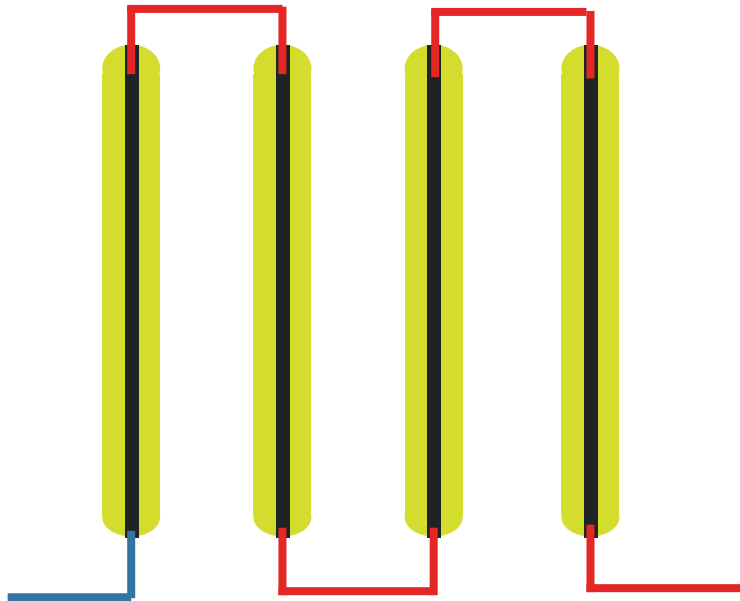
## VUE DU SYSTEME DE TUBE





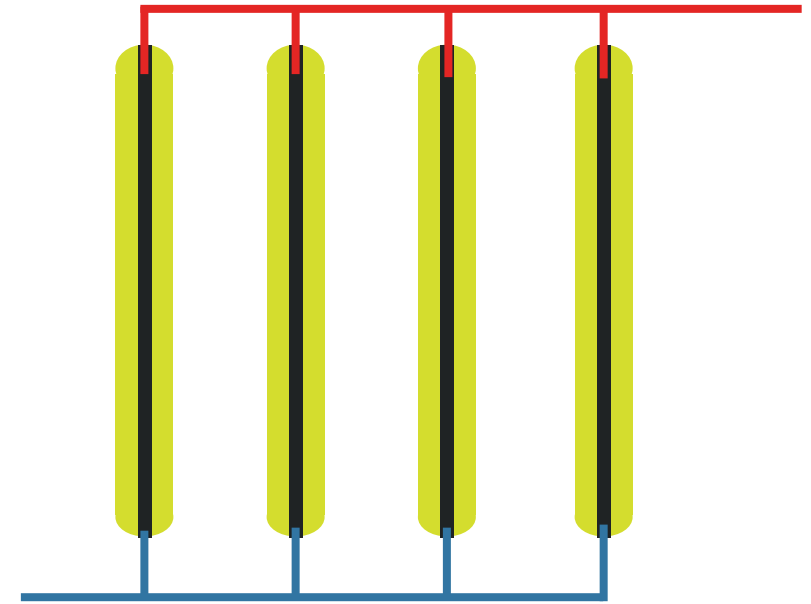
## MISE EN OEUVRE ARCHITECTURALE

En l'état, plusieurs montages possible du système sont envisageables, selon que les tubes seraient montés en série, en parallèle, et en rangées. Grâce à ces montages, le système pourrait s'adapter à des bardages voire même à des systèmes de bardages, où la façade plein sud pourrait alors avoir un rôle thermique important. Le système aurait alors la capacité de s'implanter sur des constructions existantes, ou sur des constructions neuves. La difficulté principale serait alors de permettre la circulation d'eau entre les tubes absorbeur. Les tubes pourraient alors être montés en série ( avec circulation d'eau forcée )



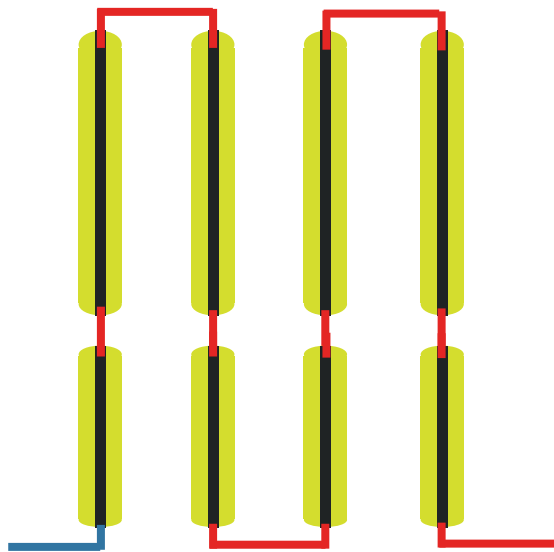
Montage en série

Les montages en parallèle sont plus propices au fonctionnement efficace du système car la convection naturelle est alors envisageable afin de faire circuler l'eau dans le système. En revanche pour que cela soit envisageable, l'air doit être parfaitement retiré du circuit d'eau et l'étanchéité du système doit être optimale.

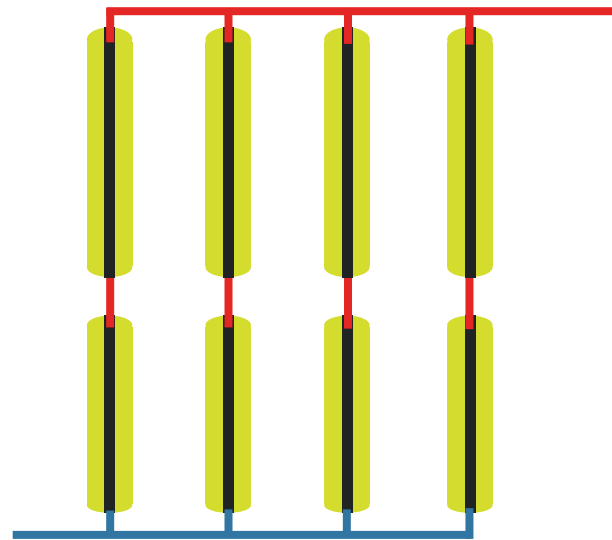


Montage en parallèle





Montage de deux rangées en série



Montage de deux rangées en parallèle



## RETOUR SUR LES RESULTATS

L'objectif de base de ce mémoire est de parvenir à faire d'une technologie solaire un élément architectural : son coût et sa praticité sont donc des éléments à prendre en compte en priorité. Après ce premier prototypage on se rend compte des limites du premier système envisagé: le coût de mise en oeuvre serait par exemple important aux vues de la complexité technique ( étanchéité, isolation, circulation de l'eau, système de suivi de course solaire si il y a ...Ce premier prototype a montré l'intérêt de vouloir récupérer l'énergie solaire pour le chauffage individuel mais le premier prototype doit être amélioré pour rendre le système plus intéressant d'un point de vue de sa rentabilité et de son rendement. L'analyse des résultats à montré les points faible du premier prototype: la nécessité d'un système de suivi de la course solaire, qui pourrait impacter le rendement, et les contraintes importantes d'isolation du liquide afin de conserver la chaleur récupérée et de la transmettre intégralement ( calorifugeage, tubes sous vide) . C'est donc sur ces points en particulier qu'il faut tenter d'apporter des réponses plus souples.

Afin de résoudre les problèmes rencontrés par le premier prototype il serait par exemple intéressant de différer la captation de la lumière de sa transformation en chaleur : ceci permettrait d'empêcher les déperditions et de limiter les couts car le liquide calorifuge n'aurait pas à circuler en façade par exemple dans le cas d'un bardage : La fibre optique semble être une solution intéressante afin d'améliorer le premier prototype. La lumière ne se transmet en chaleur que lors de son absorption par un matériau absorbeur: un miroir placé au soleil ne s'échauffe ainsi pas tandis qu'un corps noir y devient brulant.La fibre optique a la capacité de conduire la lumière sans l'absorber, elle peut ainsi faire circuler la lumière dans des cables à la manière d'un réseau électrique puis de déporter son absorption dans un même espace situé dans le bâtiment. La fibre optique s'est fortement développée depuis les années 2000. Utilisée principalement pour faire circuler des informations, on peut envisager l'utiliser dans le système imaginé. Ce deuxième prototypage s'attachera à tester cette potentialité.

A la lumière de cette première expérience on a confirmé en partie les calculs théoriques effectués en première partie de ce mémoire et prouvé l'utilité du dispositif en calculant l'énergie perçue par le système en un mois et en faisant un comparatif chiffré.

En revanche, la mise en pratique du modèle théorique a montré les limites de ce système : l'écoulement d'eau par convection naturelle ne se fait que si l'étanchéité est parfaite. Seule l'eau circule dans les tuyaux, les risques de fuite sont importants dans le réseau d'eau dus au fait des nombreux raccords et enfin il est difficile d'isoler convenablement la partie réceptrice de la chaleur, où se concentre le principal des pertes du système et limite donc son efficacité. Enfin un système de suivi de la course solaire améliorerait en grande partie le rendement. Un tube sous vide serait préconisé pour entourer le tube absorbeur. Ces nombreuses contraintes rendent le système utilisable en l'état mais il offre de nombreux points d'améliorations. Il faut donc réfléchir à une nouvelle manière d'améliorer le système.

## CONCEPTION DU SECOND DISPOSITIF

Ce second dispositif vise à résoudre les défauts observés lors de l'utilisation du premier dispositif: la nécessité d'un système de suivi de la course solaire la difficulté liée au fait de la circulation d'eau en façade les pertes de chaleur dues à la transformation trop rapide du rayonnement solaire en chaleur

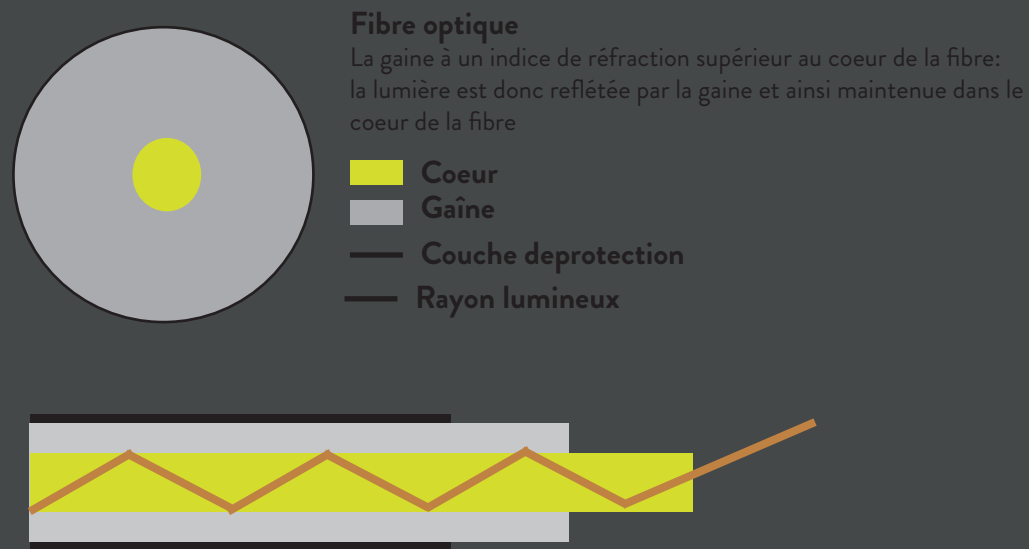
A la lumière de l'état de l'art effectué en première partie de ce mémoire plusieurs points ont été soulevés sur la transformation du rayonnement solaire en chaleur: toute lumière ne se transforme en chaleur que lors de son absorption: un miroir n'ayant aucune qualité d'absorption ne chauffe ainsi pas en plein soleil, tandis qu'à l'inverse un corps purement absorbant chauffe fortement au soleil. Ceci offre donc l'opportunité de transporter la lumière perçue dans des matériaux purement réfléchissants ( du type d'une fibre optique ) et ainsi différer la captation de la lumière solaire du lieu où cette lumière sera transformée en chaleur.

# LA FIBRE OPTIQUE

## Qu'est ce qu'une fibre optique?

Une fibre optique est un fil de verre ou de plastique ayant la particularité de conduire la lumière. La fibre optique est apparue dans les années 70 puis s'est fortement développée à l'heure d'Internet. Entourée d'une gaine protectrice piègant la lumière dans la fibre, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres.

La fibre optique fonctionne grâce au principe de réfraction de la lumière: les différents matériaux de la fibre ont des indices de réfraction différents, ce qui empêche la lumière de sortir de la fibre intérieure:





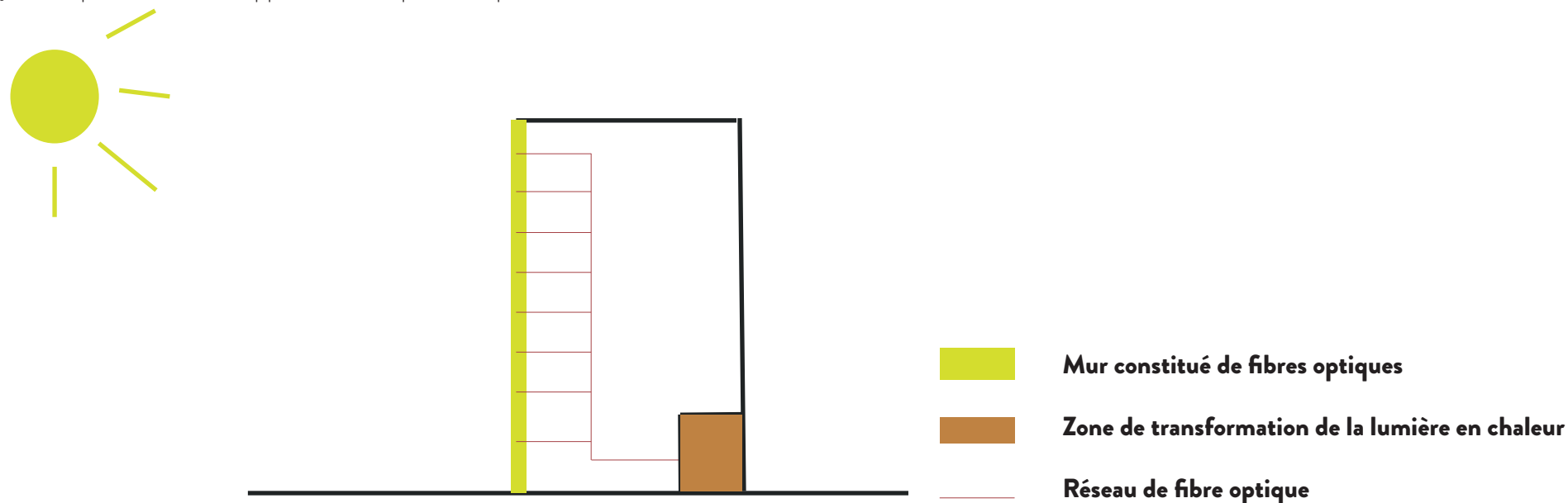
## EXPERIENCES AUTOUR DE LA FIBRE OPTIQUE

Dans cette partie du mémoire, plusieurs expériences sont réalisées autour de la fibre optique afin de tester les capacités de la fibre optique pour compenser les défauts du premier prototype.

Il s'agit de tester la fibre optique sur plusieurs points:

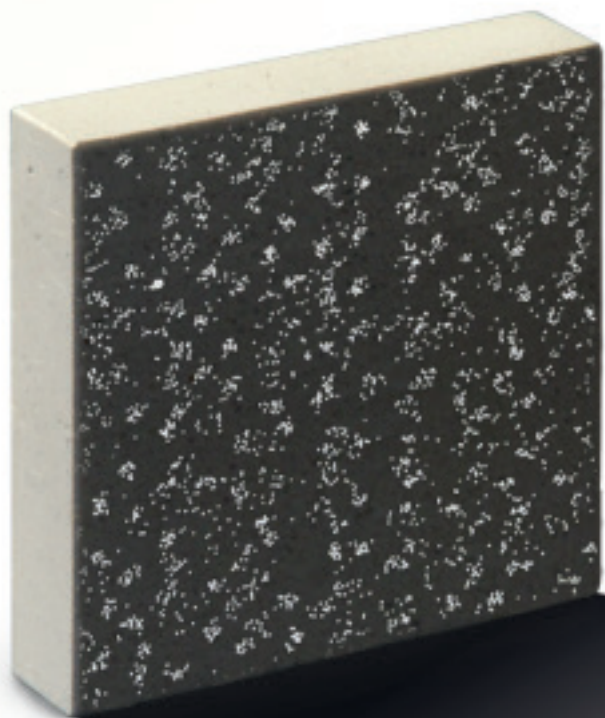
- Sa capacité à conduire la lumière quel que soit son angle d'incidence
- Sa capacité à conduire la chaleur d'un rayonnement lumineux sans l'absorber
- Sa capacité à être coulée dans du béton

Grâce à la fibre optique la lumière recueillie en façade pourrait être transmise à travers un réseau de fibre optique vers la chaufferie d'un bâtiment en traversant l'isolation où le dispositif de concentration du prototype initial permettrait la transformation de cette lumière en chaleur. La lumière pourrait alors traverser l'isolation de la façade en permettant des apports thermiques sans perte de chaleur.





Dans cette partie du mémoire la fibre optique sera testée afin de permettre son intégration en façade en tant que matériau constitutif d'une brique.

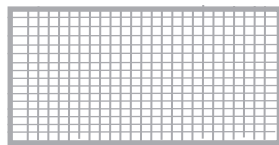


# EXPERIENCE 1: LA CAPACITE DE COULER DE LA FIBRE OPTIQUE DANS DU BETON

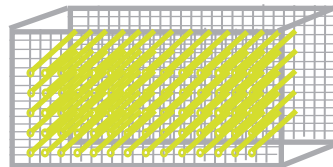
Cette première expérience vise à vérifier la résistance de la fibre optique lorsque celle-ci est coulée dans du béton. Il s'agit de vérifier que les réactions chimiques de durcissement du béton n'attaquent pas la fibre et n'empêchent pas son fonctionnement. 100 fibres optiques sont mis en place grâce à un treillis métallique dans un moule, puis du béton est coulé afin de former un bloc. Le béton est composé de suffisamment d'agrégats pour ne pas s'échapper par les treillis métalliques lors du coulage.



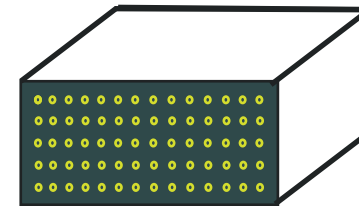
Récupération de 100 fibres optiques



Récupération d'une grille de métal perforée pour maintenir les fibres



Un moule est créé pour maintenir les fibres et permettre de couler le béton



Le béton coulé dans le moule durci : par capillarité le béton ne coule pas par les orifices des grilles perforées

- fibre optique 1mm
- béton







## EXPERIENCE 2: LA FIBRE OPTIQUE ET LA LUMIÈRE INDIRECTE



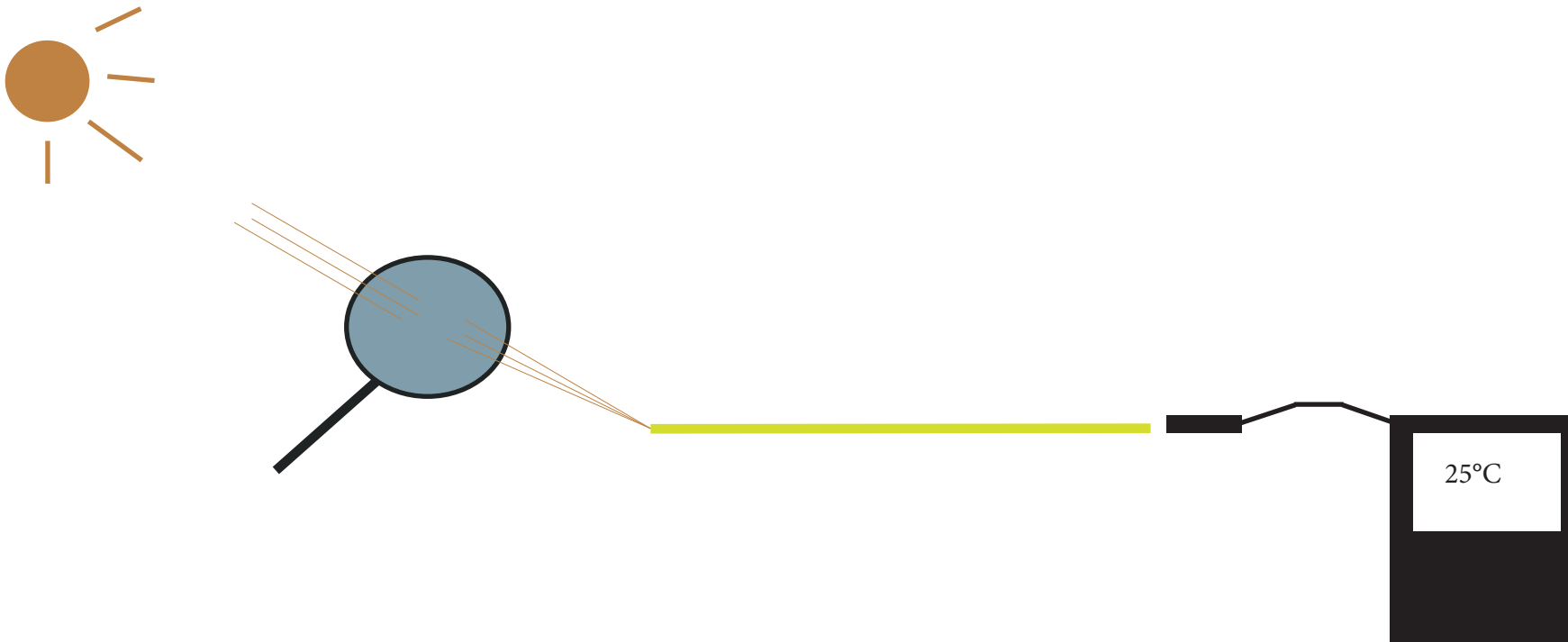
Dans cette expérience on éclaire la brique préalablement produite avec une lumière. Quelque soit l'angle d'incidence de cette lumière on observe que celle-ci est bien retransmise par les fibres de la brique





## EXPERIENCE 3: LA FIBRE OPTIQUE ET LE TRANSFERT DE CHALEUR

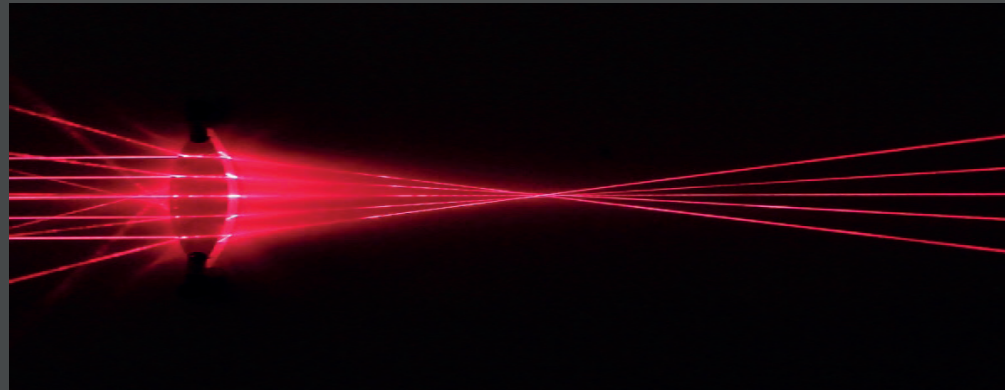
Dans cette expérience on teste la capacité de la fibre optique à transmettre la chaleur via la lumière: lors d'une journée ensoleillée on oriente une loupe (lentille convergente) de manière à concentrer le rayonnement solaire sur une fibre optique. On place à la sortie de la fibre une sonde thermométrique. Cette expérience montre que la température en sortie de fibre augmente : cela est dû à l'absorption des rayonnements solaires par la sonde en sortie de fibre.



## LES LENTILLES CONVERGENTES

### Qu'est ce qu'une lentille convergente?

Les lentilles convergentes sont des composants en verre/plastique/ou métalloïdes dont l'indice de réfraction permet de faire converger les rayonnements lumineux. Ces rayons se convergent en sortie de lentille en un point appelé foyer.

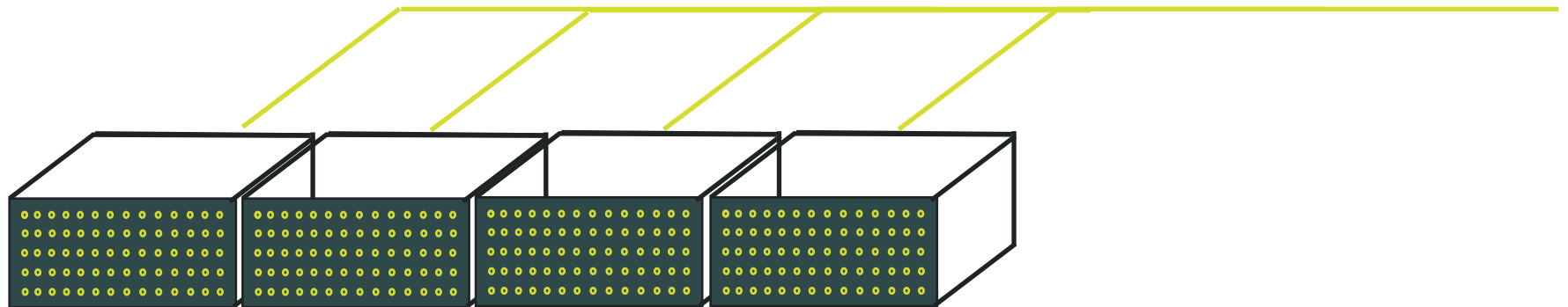
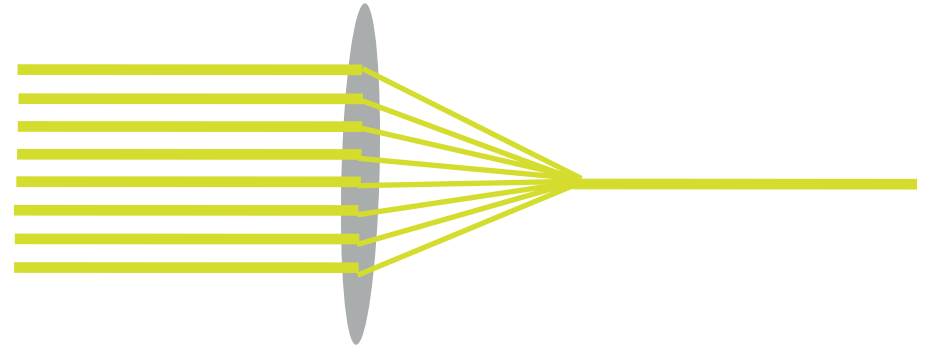


Les lentilles convergentes sont utilisées dans les loupes, les microscopes, les appareils photos, les projecteurs...

# LA FIBRE OPTIQUE ET LA CONCENTRATION DE LUMIERE

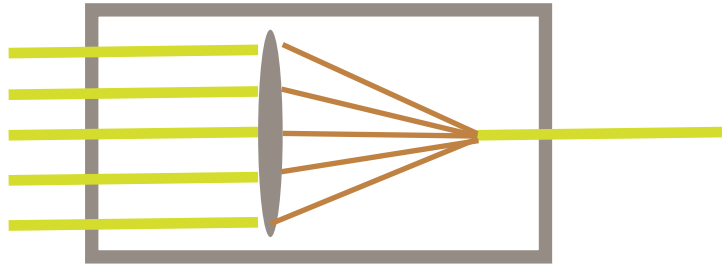
Afin de récupérer une quantité de rayonnements solaires suffisants, la face extérieure de la brique doit être constituée d'une grande quantité de fibres optiques. Pour rendre le système viable techniquement et financièrement la question qui se pose alors est: peut-on ensuite concentrer la lumière reçue par ces multiples fibres optiques afin de la faire sortir par un nombre restreint de fibres?

Pour réaliser cette expérience, on cherche à utiliser les propriétés des lentilles convergentes: ces lentilles ont la capacité de concentrer en un point appelé point focal une multitude de rayons



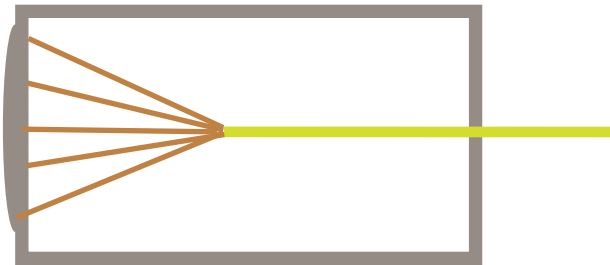
Plusieurs configurations d'utilisation de la fibre optique s'ouvrent alors grâce aux lentilles convergentes:

Utilisation 1:



La lentille convergente placée à l'intérieur de la brique permet de concentrer le rayonnement de chaque fibre de la façade extérieure de la brique en une seule fibre de sortie. Cette unique fibre peut ensuite traverser l'isolant à moindre perte puis se raccorder à un réseau de fibres jusqu'au dispositif de conversion du rayonnement en chaleur.

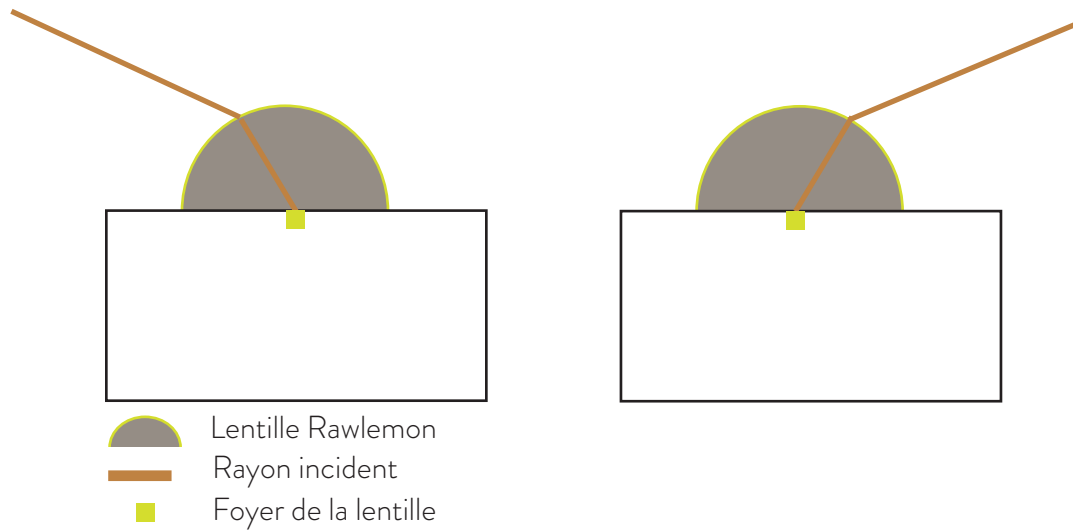
Utilisation 2:



La lentille convergente placée sur la face extérieure de la brique et permet de concentrer le rayonnement en une seule fibre de sortie, ce dispositif a un rendement moindre car les lentilles convergentes traditionnelles ont besoin d'être orientées face aux rayonnements lumineux, à la différence d'une fibre optique simple .



Cependant, dans le cas de l'utilisation numéro 2 ces défauts actuels des lentilles convergentes pourraient bientôt être résolus : l'entreprise Rawlemon a développé un système de lentille de forme sphérique, en forme de globe oculaire et utilise la réfraction de la lumière pour la concentrer sur un même foyer tout au long de la journée sans besoin d'alignement avec la course solaire.



Plusieurs autres dispositifs sont déjà à l'étude en cherchant à exploiter les capacités architecturales et techniques fortes de la fibre optique: La visée de ces dispositifs est principalement d'apporter de l'éclairage naturel dans des locaux non exposés, où d'alimenter des panneaux solaires mais la première partie de ce mémoire laisse penser que leur utilisation pour le chauffage pourrait également trouver un intérêt. Le système ECHY en est un exemple: des lentilles convergentes placées en toiture concentrent la lumière naturelle sur des fibres optiques. Ces fibres optiques transmettent ensuite la lumière perçue vers des locaux non exposés à la lumière naturelle( sous-sols, circulations...).







**ELARGISSEMENT**

## CONCLUSION

Nous vivons dans une architecture généralisée de l'urgence, liée aux contraintes d'une société en constante expansion, où l'architecture se réduit au profit de la réponse immédiate, efficace et rationnelle aux besoins: loger confortablement à moindre coût et moindre délai. Notre société rationalise et fixe le cadre de l'architecture: celle que nous pensons pouvoir nous payer. Pour la majorité des constructions, l'architecture s'efface au profit de la réponse aux besoins premiers de l'homme. Le temps, le budget, la liberté et les délais consacrés à l'architecture sont fixés par l'urgence de répondre aux besoins.

Tandis que les besoins évoluent, poussés par les technologies qui repoussent les standards de confort, le cadre de l'architecture se resserre encore. Se sentant menacée dans cette société qui la contraint, par cette technique qui la réduit, l'architecture se replie sur elle-même. La technique restreint le cadre de l'architecture, l'architecture masque ces techniques, ces deux entités s'opposent: l'architecture se réduit à un art, la technique s'oppose à l'Art.

En conséquence, nous établissons un compartimentage entre ce que nous considérons appartenant à l'architecture au sens noble du terme et les éléments techniques qui la composent (radiateurs, éclairage, plomberie, etc.). Cette frontière, difficile à déterminer nous laisse penser que Art et Technique s'accordent pour former une façade élancée, une structure émotive, mais s'opposent lorsqu'il s'agit de concevoir un système de chauffage, un interrupteur... Une architecture et une technique à plusieurs niveaux.

Quelles sont ces limites et comment décide-t-on que le plus petit des systèmes techniques ne fait pas partie du tout qu'il compose: un interrupteur est-il un élément architectural? L'architecture et la technique sont interdépendant jusqu'à un certain point? Et la délimitation / classification entre - matières, matériaux, formes - ne sont-elles pas les limites que nous nous fixons? L'architecture fait appel à des savoirs et à des procédés techniques qui influent directement la conception et la réalisation des édifices. Elle évolue en intégrant les innovations techniques de notre société, qui se développe et se transforme. Ce sont ces savoirs qui ont orientés la première partie de ce mémoire. Chaque culture développe des problématiques, problématiques auxquelles tentent de répondre les nouvelles techniques (la lumière, la connectivité, la maîtrise de la température, etc.)



Ces nouvelles techniques font évoluer la perception de notre environnement et induisent en retour de nouvelles problématiques. Elles ont conduit à la problématique de ce mémoire. La constante évolution de la perception de notre société et l'utilisation de nouvelles techniques contribuent aux évolutions de l'architecture. Dans une société où la technique induit l'évolution de la société et de la culture, créant de nouveaux besoins et augmentant les standards de confort et de sécurité, le lien entre l'architecture et la technique doit se renforcer et c'est le parti pris de cette étude. En faisant de la technique et de l'architecture deux éléments interdépendants, la position de ce mémoire est de penser que l'Architecture pourrait trouver en la Technique de nouveaux moyens de s'exprimer et la technique pourrait trouver en l'architecture de nouveaux moyens de s'intégrer pleinement dans notre société. L'architecture doit être le reflet de notre société.

La technique apporte de nouvelles possibilités à l'architecte, elle est un outil, dont la maîtrise peut induire de nouvelles architectures.

Ce mémoire, à travers différents prototypages, tente de comprendre l'importance du recoupement entre architecture et sciences. Les expérimentations scientifiques ont implicitement ouvert des questions architecturales.



Le premier système technique développé dans ce mémoire est le four solaire (utilisation de l'énergie solaire avec un système de miroirs) : les miroirs peuvent créer des reflets et des transparences dans les façades, des jeux de textures et de rythmes; l'intégration du système permet de le réfléchir comme un bardage, une pergola, un barreaudage où tout autre chose, le système de suivi de la course solaire qui est apparu nécessaire par l'expérimentation permet de faire évoluer une façade en fonction des heures et de l'ensoleillement et induit ainsi pour chaque orientation de bâtiment des mouvements spécifiques.

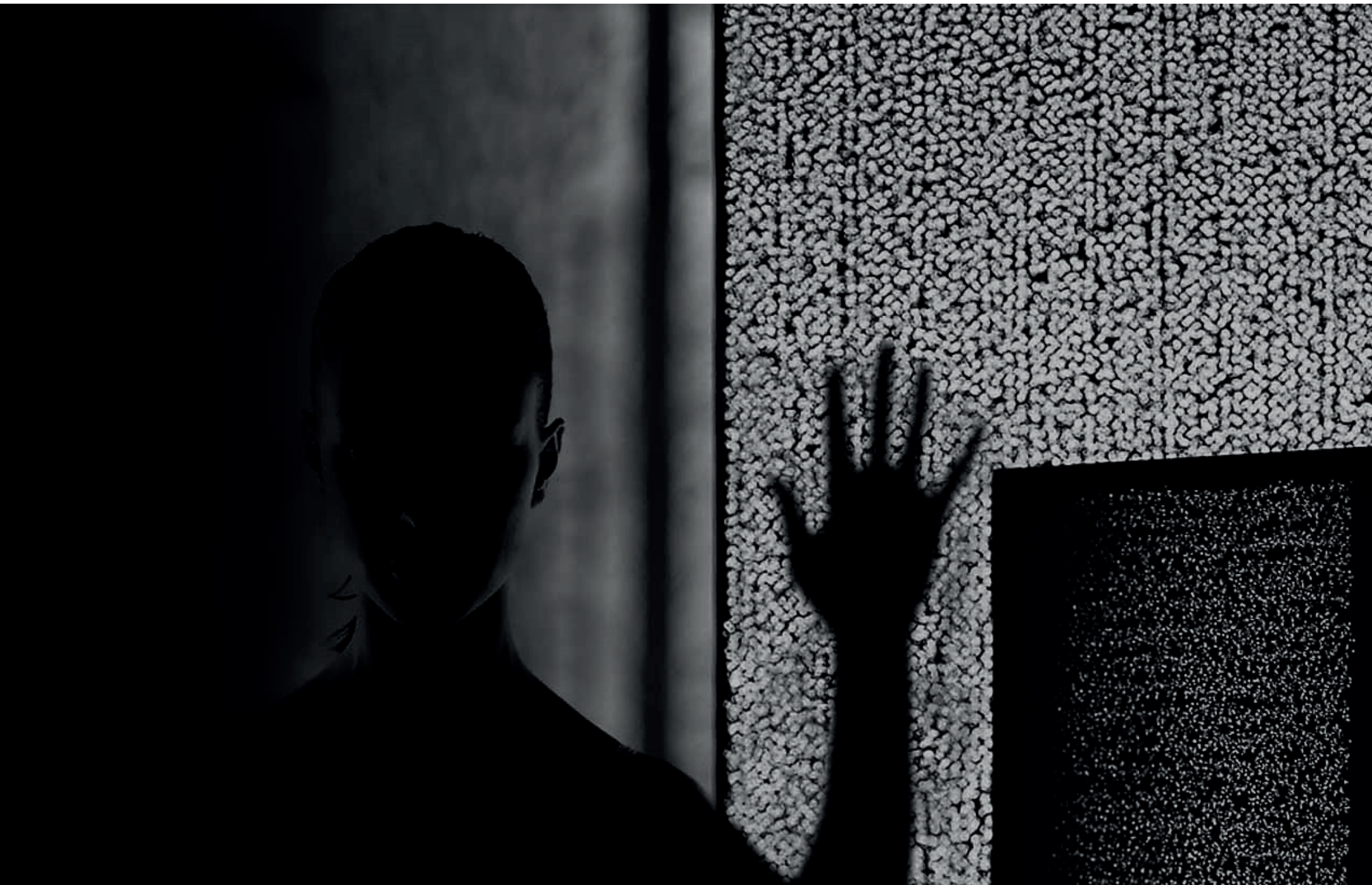
Le second système technique développé dans ce mémoire est la fibre optique dont l'utilisation s'est avérée intéressante par l'expérimentation. La fibre optique, de même que le four solaire, ouvre la voie à des développements architecturaux multiples : intégrée dans des façades, elle peut offrir de nouvelles transparences aux murs opaques, une nouvelle appréciation des éclairages nocturnes, des jeux d'ombres et de lumières, etc. En intégrant la technique dès la conception de l'architecture, nous pouvons envisager de nouvelles applications, de nouvelles formes, de nouveaux bâtiments intégrant l'intelligence de notre société et en particulier penser l'architecture comme nous n'aurions en premier lieu pas pensé.



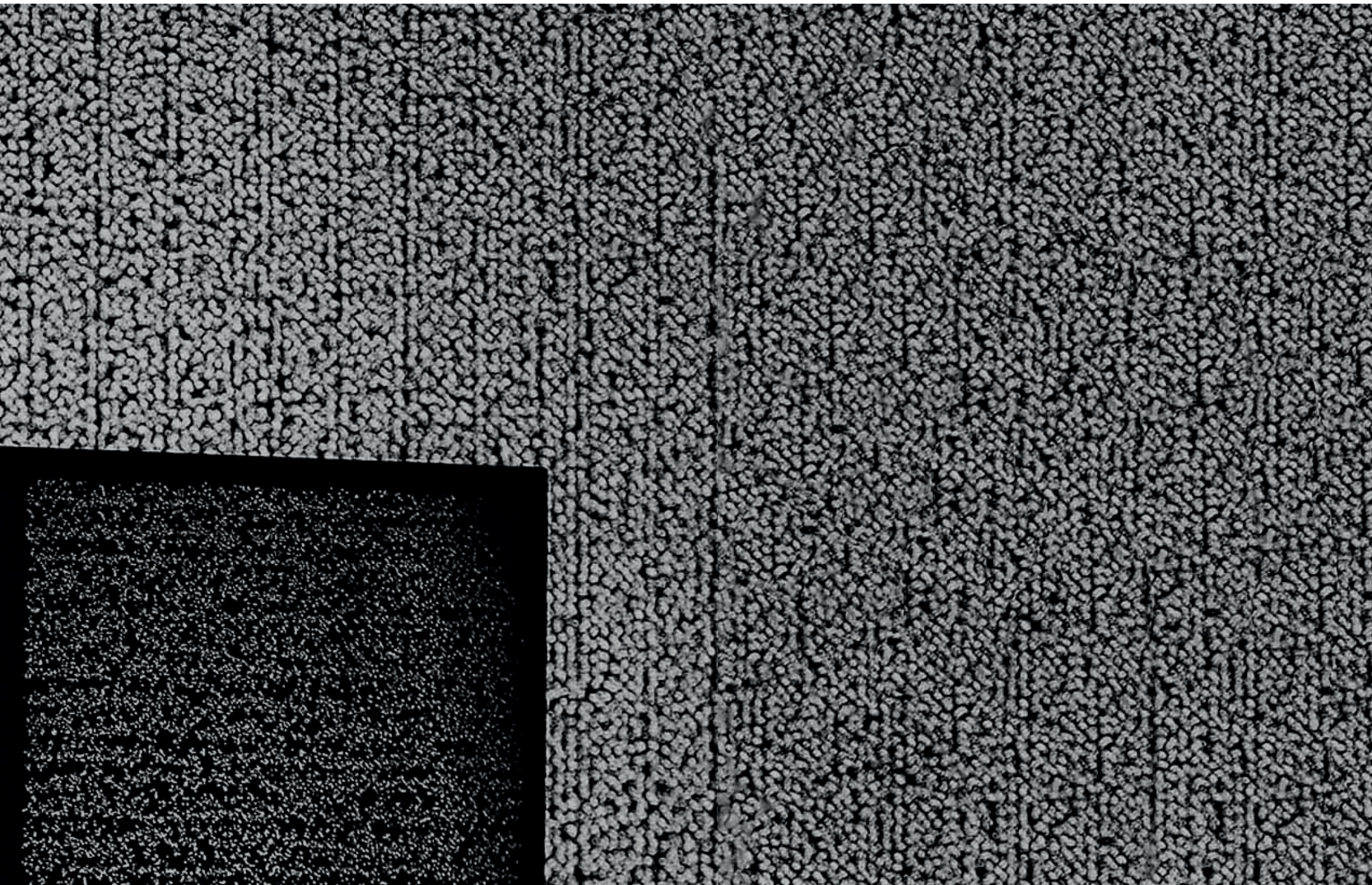




















# ANNEXES

# BIBLIOGRAPHIE

## Ouvrages

LES FOURS SOLAIRES-*Dominique Loquais, 2012: Informations nécessaires à la réalisation de four solaires.*

ENERGIE SOLAIRE ETAT ACTUEL DES APPLICATIONS- *J.L.Perrier, 1979 : état de l'art sur l'énergie solaire*

## Thèses

ETUDE DES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN MUR TROMBE-*M.K. Cherier , T. Benouaz , S.M.A. Bekkouche , et M. Hamdani, 2011 : étude théorique de l'isolation thermique par un mur Trombe lors de son application sur l'architecture de l'enveloppe d'un habitat*

L'ÉNERGIE SOLAIRE CONCENTRÉE : ETAT DE L'ART ET TECHNOLOGIES-*Abdelkadir BELHADJ*

CONCEPTION D'UN FOUR SOLAIRE DOMESTIQUE POUR LA CUISINE ET LE CHAUFFAGE-*Dakpogan Mahusi Eric, 1989*

FIBRES OPTIQUES INFRAROUGES POUR APPLICATIONS SPATIALES-*S. Maurugeon, CNRS*

DEVELOPPEMENT DE BRES OPTIQUES ET GUIDES D'ONDES INFRAROUGES-*Frédéric Charpentier, Université de Rennes*

## Articles

MURS SOLAIRES À ISOLATION RENFORCÉE, MURS SOLAIRES -*Bruno Peuportier et Alain Guiavarcharmine, 2010: Evaluation du potentiel de l'énergie solaire pour le chauffage*

STOCKAGE INTER-SAISONNIER : TUNNEL A GALET-*INSA Toulouse*

FOURS SOLAIRES ET OPTIQUE ADAPTATIVE-*Université grenoble/alpes*

POSSIBILITES DES FOURS SOLAIRES ALIMENTES PAR FIBRES OPTIQUES-*Jacques Dugas*

CONCEPTION DE LA MATERIALISATION EN ARCHITECTURE: L'EXPERIMENTATION COMME FACTEUR D'INNOVATION INDUSTRIELLE-*Nadia Hoyet*

MATÉRIAUX TRADITIONNELS ET ARCHITECTURE CONTEMPORAINE -*Chavanne Antoine*

## Internet

[Http://www.promes.cnrs.fr/index.php?Page=historique](http://www.promes.cnrs.fr/index.php?Page=historique) : *historique du four solaire d'Odeillo : plus grand four solaire au monde*

[Http://www.atlascuisinesolaire.com/](http://www.atlascuisinesolaire.com/) : *site de conseil pour les fours solaires*

[Http://foursolaire1.free.fr/](http://foursolaire1.free.fr/) : *conseils pour la réalisation d'un four solaire en entonnoir*

[Http://www.promes.cnrs.fr/](http://www.promes.cnrs.fr/) : *site du CNRS concernant les matériaux, procédés et énergies solaires*

[Http://www.eco2energie.com/energies/energies-renouvelables/energie-solaire/](http://www.eco2energie.com/energies/energies-renouvelables/energie-solaire/) : *état de l'art sur l'énergie solaire*

[Http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/ressources/science/11163\\_Energie/11175\\_L\\_nergie\\_solaire/380\\_dossier\\_energie\\_solaire](http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/ressources/science/11163_Energie/11175_L_nergie_solaire/380_dossier_energie_solaire) : *état de l'art sur l'énergie solaire*

[Http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16760](http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16760)

[Http://www.drgoulu.com/2013/02/03/pourquoi-une-loupe-ne-viole-pas-la-thermodynamique/#.WHJEcVwn5GM](http://www.drgoulu.com/2013/02/03/pourquoi-une-loupe-ne-viole-pas-la-thermodynamique/#.WHJEcVwn5GM)

[Http://www.keller-msr.fr/pyrometre/pyrometre-cellatemp-pkf36.php](http://www.keller-msr.fr/pyrometre/pyrometre-cellatemp-pkf36.php) : *thermomètre à fibre optique*