

Abel Pifre
L'utilisation de
la chaleur
solaire

Livroscope
Paléo-Énergétique

MMXV

L'UTILISATION DE LA CHALEUR SOLAIRE

DU MÊME AUTEUR

L'Algérie. Paris, E. Lacroix, [1878], « Rapports sur l'Exposition universelle de 1878 », n° 12.

Utilisation de la chaleur solaire, conférence publique faite au palais du Trocadéro, le 28 août 1878. Paris, E. Lacroix, [1878].

Conférence sur l'utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire, par M. Abel Pifre, ... 28 août 1878 in Ministère de l'Agriculture et du commerce. *Exposition universelle internationale de 1878, à Paris. Congrès et conférences du palais du Trocadéro.* Comptes rendus publiés sous la direction de M. Ch. Thirion. Paris, Impr. nationale, 1879.

« Les Récepteurs solaires. Exposition des appareils de M. Mouchot, ... Visites des ingénieurs, anciens élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures à l'Exposition universelle de 1878 », *Annales industrielles.* Saint-Germain-en-Laye, impr. de D. Bardin, 1879.

Appareils solaires et services qu'ils peuvent rendre. Compte rendu de la communication faite à la Société des ingénieurs civils, le 20 février 1880. Paris, impr. de E. Capiomont et V. Renault, 1880.

La Réparation des dommages de guerre [1.] *Nos espoirs et la réalité* [2.] *Nos déceptions et nos inquiétudes.* Paris, impr. Chaix, 1915, 2 fasc.

La Réparation des dommages de guerre. Pourquoi et comment la loi votée par la Chambre doit être refaite. Dédié à MM. les Sénateurs par un sinistré. 22 mars 1917. Paris, impr. de Chaix, 1917.

Abel Pifre

L'Utilisation de la
chaleur solaire

suivi de

Les Récepteurs solaires

et des commentaires de Charles Bontemps,
Gaston Tissandier et E.-H. Weiss

*Édition établie et présentée
par Éric Dussert*

Livroscope



Le présent ouvrage a été composé dans le cadre des recherches du groupe Paléo-Énergétique
<http://www.paleo-energetique.org/>

Illustration de couverture : *Le Petit Inventeur* (1927)

© Livroscope, Paléo-Énergétique et L'Œil d'Or, 2015

ISBN : 978-2-9136-6172-1

Préface

Promouvoir le Soleil

Lorsqu'en 1927 E.-H. Weiss annonce aux jeunes Géo Trouvetou de France abonnés au *Petit Inventeur* que les ressources terrestres ne sont pas infinies, il use d'un adjectif qui sonne curieusement : « Certains craignent et prédisent, écrit-il, l'épuisement [*des combustibles solides et liquides*], sans penser que la science toujours en marche amène fatalement des remplaçants nouveaux, pratiques et souvent imprévus. »

Fatalement... Dans le cas de l'invention d'Augustin Mouchot (1825-1912), gloire hexagonale qui s'ignore, la fatalité a joué de tout son poids en effet, et à rebrousse-poil du principe *apparemment logique* énoncé par Weiss contre la solution de remplacement nouvelle, pratique – mais aussi peu imprévue que possible. Force du paradoxe : malgré le soutien de savants et d'ingénieurs, qui, tour à tour, se sont penchés sur sa trouvaille solaire et lui ont apporté des applications domestiques ou industrielles, ou bien ont lancé des recherches complémentaires, le cours de la science a choisi une voie a-naturelle, à savoir le moteur à deux temps

d'Étienne Lenoir (1859), lequel a eu raison du « concentrateur d'énergie solaire », d'autant que les industriels du pétrole veillaient au grain afin d'empêcher qu'une solution universelle et peu onéreuse ne liquéfie sans y prêter gare leurs bénéfices.

On aura tout compris de l'histoire industrielle si l'on se concentre sur ce point d'économie pure : la gratuité fait l'affaire de tous mais elle ne fait jamais celle d'aucun homme d'affaires. *Sic transit* l'invention de Mouchot, qui s'éteignit le 4 octobre 1912 à Paris dans un anonymat total, presque aveugle, miséreux, pensionné depuis 1907 par une Académie des Sciences sommée de ne pas se montrer oublieuse par l'un de ses membres éclairés.

Augustin Mouchot, cet homme qui figure désormais légitimement parmi les personnages dont l'humanité est fière, avait, cinquante-et-un ans plus tôt, c'est-à-dire le 4 mars 1861, déposé le brevet d'une « héliopompe » destinée à chauffer l'eau grâce au Soleil, « au moyen d'un entonnoir tronconique ». Le premier après Archimède il usait du Soleil sans vergogne. Durant le siège de Syracuse en 213 av. J.-C., Archimède avait en effet détruit une partie de la flotte du Romain Marcellus avec ses « miroirs ardents ». Le bienveillant Augustin Mouchot n'avait pour sa part que des objectifs pacifiques.

Né le 7 avril 1825 à Semur-en-Auxois – cette ville qui, entre parenthèses inspira sa curieuse *Ville enchantée* à l'Anglaise Margaret Oliphant (1828-1897), qui fit aux morts

revendiquer la cité –, Augustin Bernard Mouchot était petit-fils de laboureur et d'un coutelier, et fils d'un serrurier. Il a d'abord usé ses fonds de culotte sur les bancs du collège de Semur puis à Dijon où il est reçu bachelier ès-lettres le 13 août 1845. Dès lors, il enseigne aux collégiens bourguignons (Arnay-le-Duc et Autun, 1846) puis aux lycéens de Dijon (1848) mais il conserve un objectif plus scientifique : tout en donnant ses cours, il poursuit ses études et obtient son bachot de sciences en 1850, une licence de mathématiques en 1852 et une licence de physique en 1853. Le 15 septembre de cette année, il est nommé professeur adjoint de mathématiques (pures et appliquées) au lycée d'Alençon puis, trois ans plus tard, professeur titulaire, un poste qu'il occupe six années durant avant d'être nommé à Alençon en 1860. C'est là qu'il s'intéresse à l'énergie solaire en se basant sur les travaux de Claude Pouillet (1790-1868) qui a évalué l'intensité des rayonnements solaires dans son *Mémoire sur la chaleur solaire. Sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique et sur la température de l'espace* (Bachelier, 1838). Mouchot imagine alors une sorte de *cocotte à insolation* qui lui permet d'obtenir « un excellent pot-au-feu » d'un kilo en quatre heures de temps. Le bœuf et les légumes sont, nous dit-il, « parfaitement cuits », malgré l'irruption de quelques nuages au cours de l'opération. Dans son livre précurseur, *La Chaleur solaire et ses applications industrielles* (Gauthier-Villars, 1869), il assure que le « consommé a été d'autant meilleur

que l'échauffement de la marmite s'était produit avec une grande régularité ».

Encouragé par ce résultat, Augustin Mouchot construit en 1866 un moteur solaire comme on va voir sous la plume d'Abel Pifre (1852-1928), jeune ingénieur ambitieux tout juste issu de l'école des Arts et Manufactures (promotion 1876) qui promet sa découverte depuis qu'ils se sont associés. De fait, son « concentrateur solaire » a déclenché l'enthousiasme des scientifiques. On a présente sa chaudière à vapeur solaire à Napoléon et il a reçu en 1878 la médaille d'or de l'Exposition universelle de Paris et, quatre ans plus tard, Pifre en quête d'applications généralisables rapidement, équipe le concentrateur pour le coupler à une presse lors du meeting de l'Union Française de la Jeunesse au jardin des Tuileries le 6 août 1882. Entre 13 h et 17 h 30, une belle presse Marinoni mue par une énergie de 2,5 chevaux-vapeur imprima 500 exemplaires à l'heure du « Soleil-Journal », une publication de circonstance dont aucun exemplaire ne nous est malheureusement parvenu.

Malgré tous ses efforts, Abel Piffre peine à rentabiliser son aventure, malgré, et c'est à peine croyable, ses idées pour pays ensoleillés – en particulier celle qui consiste à produire des fibres de lin dans la plaine du Tell plutôt que de les perdre lors de la production des graines de ladite plante... Si le prêtre portugais Manuel Antonio Gomes, dit « Padre Himalaya », parvient en 1900 à produire des azotes fertilisants à Sorède dans les Pyrénées orientales, au pied du massif des Albères, grâce à un concentrateur solaire

montant les températures à 1500° C (puis à 4000° C un peu plus tard aux États-Unis), la solution n'est nullement retenue, malgré les enjeux et les besoins des pays chauds, et on songe en particulier aux exploitations coloniales. Une enquête mérite d'être poussée pour comprendre ce blocage. Car contrairement aux espoirs de Mouchot et de Pifre, ou du père Himalaya, si l'« utilité pratique » du principe peut être saisie rapidement et par l'individu isolé et par l'industriel, l'invention et ses promoteurs se heurtent à un mur. Faute de capitaux ? Y aurait-il eu des maladresses dans le montage du projet ? Des défauts dans la communication ? Comme les conférences qui suivent le montrent, Abel Pifre n'aura pas ménagé sa peine pour promouvoir le Soleil comme fournisseur d'énergie et pour lui imaginer des solutions techniques. Ce qui frappe en définitive dans l'histoire de ce fiasco industriel français – et mondial –, c'est combien l'échec de cette brillante invention, et de ses promoteurs, ne connaît pas d'explication raisonnable. Qu'est donc devenu le « succès presque populaire [*des*] petits appareils domestiques » de Mouchot ?

Le briffant Abel Pifre poursuivra sa carrière dans un autre domaine émergent, les ascenseurs. En s'associant aux alentours de 1900 à l'Américain Otis, la société anonyme Maison Abel Pifre constituée en 1880, sise 178 rue de Courcelles à Paris, devient les Ateliers Otis-Pifre, Ascenseurs, monte-charge, escaliers roulants (registre du commerce de la Seine n° 66709). Si Otis reste le grand inventeur

de la machine, le nom d' « ascenseur » lui-même est français (Léon Édoux, 1867) et l'idée d'assurer à l'année la maintenance des appareils vendus est bien d'Abel Pifre.

ASCENSEURS

ATELIERS ABEL PIFRE
Ingénieur - Constructeur
PARIS, ALBERT (SOMME)

AGENCE DE LYON
BUREAUX & ATELIER :
28 bis, Rue Dumoulin
(PRÈS DE L'AVENUE DE SAXE)
TÉLÉPHONE 47-77

SON REPRÉSENTANT

LYON

P. D. 8657

Comme l'écrit Pifre dans les pages qui suivent, « ce sujet entraîne facilement ». Nul besoin d'être un grand visionnaire pour comprendre la portée de l'invention, pour être certain que l'humanité a besoin dès les années 1880 d'une énergie solaire maîtrisée et *utilisée*. Émile Zola lui-même se souvient dans son roman aux accents messianiques *Le Travail* (Fasquelle, 1901) de ces savants dont il tait les noms. Son héros rêve d'une cité meilleure où l'énergie, en l'espèce l'électricité, serait offerte sans limite. Ne retenant pas le potentiel de la houille blanche (Aristide Bergès, 1878) ou l'énergie marémotrice – en fonction sur l'Adour dès le

XII^e siècle, mais industrialisée en 1966 sur la Rance – l'énergie solaire est la panacée via un « Soleil secourable » grâce auquel « des savants étaient parvenus à imaginer de petits appareils qui captaient la chaleur solaire et la transformaient en électricité [...]. Et c'est par l'énergie solaire que la Cité du bonheur, que les hommes vivront [...] sous le grand Soleil bienfaisant, notre père à tous ».

Le héros de Zola est un rêveur, mais on reste perplexe lorsque l'on doit constater, une fois encore, qu'une règle anthropologique de base – une technologie survit dès lors qu'elle est utile et adaptée – ait été détournée alors que du rêve de Zola la réalité avait déjà allumé la mèche. Un feu d'artifice était annoncé... il s'étouffa dans la viscosité d'une mare de pétrole. Aussi, en souvenir de Franchot, Ericsson et Pouillet, en mémoire d'Armstrong ou du père Himalaya, rendons au « grand appareil Mouchot » son lustre, ne serait-ce que pour saluer les soubresauts qui ont animé la « jeune industrie solaire » dont, plus d'un siècle après le coup de génie d'Augustin Mouchot, nous attendons toujours tant...

Éric Dussert

Utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire

Conférence publique faite au palais du Trocadéro
le 28 août 1878

Le bureau est composé de :

MM. Le baron de Watteville, Président ;

Chabrier, ingénieur civil, administrateur de la C^{ie} générale
transatlantique ;

Correnti, commissaire général du gouvernement italien ;

Desmares, sénateur ;

Lacascade, député ;

Leblanc, professeur à l'École Centrale ;

Richard, ancien Président de la Société des Ingénieurs
Civils ;

Ser, professeur à l'École Centrale, Ingénieur en Chef de
l'Assistance publique.

La séance est ouverte à 2 heures 5 minutes.

M. le Président. – Avant de donner la parole à M. Abel
Pifre, permettez-moi, Messieurs, de vous retracer, en
quelques mots, les préliminaires de la question qui va nous
occuper.

Depuis longtemps l'attention du Ministère de l'Instruction publique était attirée sur les travaux de M. Mouchot, et il fut décidé, après l'avis d'une commission spéciale composée des hommes les plus compétents, que M. Mouchot serait envoyé en mission en Algérie pour mettre en application ses théories ingénieuses.

M. Mouchot alla passer un an en Algérie ; et, dans ce pays de Soleil constant, il put faire des expériences qui furent couronnées des plus éclatants succès.

M. le Ministre de l'Instruction publique, qui avait eu l'honneur et le bonheur de faciliter à ce savant l'application de ses découvertes, s'est trouvé largement récompensé par les succès qu'a obtenus son missionnaire (*Applaudissements.*)

Je laisse maintenant à une bouche plus autorisée et plus savante que la mienne, le soin d'exposer les découvertes scientifiques de M. Mouchot et les résultats qu'elles ont obtenus.

La parole est à M. Abel Pifre.

M. Abel Pifre

Messieurs,

Il existe un livre, malheureusement très rare aujourd'hui, publié par Fournier il y a une dizaine d'années ; il a pour titre : *Le Vieux-Neuf*¹.

¹ Édouard Fournier, *Le Vieux-Neuf, Histoire ancienne des inventions et découvertes modernes* (Paris, E. Dentu, 1859, 2 vol. ; 1877, 3 vol.).

Son auteur, un jour de fantaisie originale, s'est attaché à soutenir cette thèse : que les découvertes récentes se rapportent presque toutes à des idées très anciennes, et méritent pourtant le nom d'inventions puisqu'elles résultent directement du progrès contenu dans la science. En effet, les chercheurs n'ont-ils pas, chaque jour, de nouvelles ressources d'investigation, qui leur servent d'échelle pour monter plus haut ? Mais si nous nous inclinons avec l'auteur devant les instructions supérieures des temps reculés, nous saluons surtout avec enthousiasme les solutions pratiques et les applications que la fécondité de l'heure présente met sous nos yeux.

Aucun sujet, Messieurs, ne peut mieux justifier la thèse de Fournier, que celui dont je vais avoir l'honneur de vous esquisser les points principaux.

L'idée d'utiliser les rayons du Soleil remonte aux premiers âges d'une antique civilisation, mais la réalisation de ce problème ne date que de quelques années, et son passage du domaine de l'expérimentation pure aux effets pratiques portera désormais la même date que notre belle Exposition de 1878.

Le Soleil, Messieurs, a le grand rôle sur la surface du globe ; et, sans parler d'une théorie qui ne tend à rien moins qu'à attribuer à sa seule chaleur le mouvement même et de la vie sur la Terre.

L'auteur du mouvement ! Oui, Messieurs, puisqu'à part les marées et les phénomènes volcaniques dus au calorique

interne, c'est lui qui balance dans l'atmosphère les différences de température et qui pompe les vapeurs de l'Océan. Cause des perturbations météorologiques, le Soleil promène les vents pour assainir l'air et transporter les pluies au plus haut des montagnes, d'où il les fait descendre en fondant les glaciers, ces réservoirs des rivières et des fleuves qui répandent leurs eaux en une juste mesure.

L'auteur de la vie ! oui, Messieurs, puisque grâce à lui, grâce aux effets chimiques de sa lumière et de sa chaleur, la Terre ouvre son sein à la germination des plantes et devient féconde pour donner leur nourriture aux êtres animés.

Mais, après avoir admiré quelques instants ce grand travail du Soleil dans la nature, ne sommes-nous pas amenés rationnellement à examiner, si les habitants des contrées où le Soleil règne en matière dans un ciel pur, ne pourraient pas s'en faire un auxiliaire puissant, en utilisant ses forces généreuses ?

Nous le croyons, et ce sera l'objet de ce rapide exposé, car malgré tout l'intérêt que pourrait présenter l'étude historique des tentatives faites dans ce sens depuis des siècles, je vous en citerai seulement quelques-unes, afin de vous signaler les efforts tentés par des hommes illustres pour réaliser cette belle idée et pour appuyer aussi sur le mérite de celui qui vient de trouver la solution de *L'Utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire*.

Nous verrons en effet, par des données expérimentales, plus que par la théorie, la possibilité d'atteindre ce grand problème, au moyen de récepteurs qui emmagasinent la

chaleur atmosphérique, comme les barrages captent et retiennent les eaux des torrents et des rivières, et cela sans difficulté, sans dépense, au moyen de simples appareils qui peuvent faire partie désormais du bagage du voyageur, du mobilier de la ménagerie, et surtout de l'outillage du cultivateur et de l'industriel.

Ici, Messieurs, se présentait une difficulté : pour ne pas me priver de la présence du savant inventeur qui cache son savoir sous la modestie la plus désintéressée, j'avais promis de ne point le nommer. Je remercie M. le Président de m'avoir tiré d'embarras en vous disant tout de suite qu'il s'agissait de M. Mouchot.

Je ne lui expliquerai pas moins le mot que notre illustre et vénéré maître M. Dumas prononçait dernièrement dans une assemblée : *Il ne veut ni témoins, ni récompenses ; sa modestie s'offense de tout éclat.*

Aussi est-ce tout bas, Messieurs, que je vous confie l'hommage reconnaissant qu'il m'est doux de rendre à l'inventeur et ami pour les renseignements qu'il a bien voulu me communiquer et à l'intérêt desquels je rapporterai toute votre bienveillante attention. (*Applaudissements.*)

Le sujet, Messieurs, m'écraserait par sa grandeur si je ne me sentais soutenu par l'idée des précieux résultats qui peuvent naître pour mon pays, pour le monde entier, des applications pratiques dont j'ai à vous entretenir. Elles doivent, je l'espère, faire participer dans un avenir prochain des régions déshéritées aux bienfaits de la civilisation et de

la richesse par des moyens simples et naturels dont la science les met en possession dès aujourd'hui.

Les essais pour utiliser la chaleur solaire remontent à la plus haute Antiquité. L'initiative doit-elle être attribuée aux Chaldéens adoreurs du Soleil ou du feu, ou aux Égyptiens qui, connaissant la fabrication du verre, ont pu se rendre compte de sa propriété à concentrer la chaleur solaire ?... Dès l'époque de Moïse, ce dernier peuple était déjà fort habile dans l'art de construire les miroirs ; mais le célèbre mathématicien Euclide est le premier qui, dans un cours d'optique professé à Alexandrie trois cents ans avant notre ère, ait indiqué les procédés pour fabriquer des miroirs concentrant les rayons solaires ; et Archimède, qui fut vraisemblablement son élève, est le premier qui ait appliqué sa théorie d'une façon mémorable.

L'incendie des vaisseaux de Marcellus sous les murs de Syracuse est un fait qui a longtemps soulevé bien des doutes, mais dont l'existence peut s'affirmer aujourd'hui d'une façon absolue : on doit admettre avec Anthémius de Tralles, célèbre architecte qui écrivait vers 580, qu'un Archimède dirigea contre la flotte romaine l'étincelle incendiaire de plusieurs miroirs paraboliques ; pareille conclusion fut donnée aussi par Kircher après des expériences faites à Syracuse même, pour démontrer la possibilité du fait obtenu par Archimède.

Les travaux de Duffay, physicien français, qui lui aussi, vers 1736, prit parti pour Archimède contre les idées de

Descartes, les expériences de notre grand naturaliste Buffon qui enflamma des planches avec des miroirs ardents à une distance de 68 mètres, affirment absolument la vérité de l'important résultat attribué au plus grand géomètre de l'Antiquité.

Les Romains connaissaient aussi les miroirs ardents ; ceux qui servaient aux prêtres de Vesta pour rallumer le feu sacré présentaient même une particularité singulière : Plutarque nous apprend qu'ils avaient la forme d'une surface engendrée par un triangle rectangle isocèle, tournant autour de l'un des côtés de l'angle droit ; c'est-à-dire la forme précise que l'état actuel de la question admet comme la meilleure.

Autre particularité : ces miroirs étaient fabriqués en airain, alliage de cuivre et d'étain, le plus parfait qui se puisse employer encore aujourd'hui, après l'argent, pour réfléchir la chaleur.

Enfin Pline raconte l'histoire curieuse des médecins utilisant de petits ballons en verre blanc, de forme sphérique, remplis d'eau, pour concentrer les rayons solaires et cautériser certaines plaies ; il ne nous est pourtant pas prouvé que les Anciens connussent l'usage des lentilles.

Mentionnons encore la fontaine perpétuelle qu'imagina Héron d'Alexandrie, cent ans avant notre ère, et nous aurons indiqué sommairement, Messieurs, les essais divers de l'Antiquité, après lesquelles la question sommeilla dans un long oubli.

Le réveil eut lieu au Moyen Âge, époque à laquelle Hazen, savant arabe, publia un traité d'optique vers 1250. Dans cet ouvrage, il nous apprend que ses compatriotes, fidèles héritiers des civilisations d'Égypte et de Grèce, se préoccupaient de fabriquer des miroirs *caustiques*, ainsi qu'il les appelle.

On sait également que le Polonais Vitellio et le moine anglais Roger Bacon proposaient vers la même époque, chacun séparément, l'emploi de réflecteurs spéciaux ; ils furent imités dans cette voie par toute une série de médecins, d'auteurs et d'alchimistes. L'interprétation différente donnée à l'expérience d'Archimède eut l'avantage de provoquer de nombreuses recherches et de contribuer beaucoup aux progrès des sciences physiques ; mais toutes ces tentatives ne sortirent guère du domaine purement spéculatif, jusqu'au jour où, par une initiation hardie, Salomon de Caus, ingénieur français, s'empara de la question.

Ses travaux oubliés ont été remis en lumière, quand furent découvertes les merveilleuses propriétés de la vapeur : c'est bien à lui que revient l'honneur d'avoir tenté en France la première application mécanique de la chaleur solaire ; c'est lui qui eut l'idée de l'utiliser directement pour faire monter l'eau.

Par malheur, cet infatigable chercheur ne récolta point ce qu'il avait semé : le fruit de ses études lui échappa, et les perfectionnements qu'il voulait donner à son idée ne furent qu'entrevis. Son imagination l'emportait toujours au-delà du point acquis ! Ce fut lui, notons-le, qui tenta d'expliquer

la légende de la statue de Memnon, laquelle, dès l'aube, saluait l'astre du jour par des sons harmonieux.

La voie de Salomon de Caus fut naturellement suivie par des explorateurs dont il avait stimulé les recherches ; mais leurs efforts demeurèrent infructueux ; et, c'est ainsi que des inventions comme les orgues de Drebbel, le prétendu trouveur du mouvement perpétuel, et les horloges de Marsini et de Kircher, ne sortirent jamais du domaine de la théorie. Toutefois Milet de Châles et Bélidor, de 1621 à 1878, nous décrivent des appareils avec des détails qui témoignent de préoccupations sérieuses et voisines du progrès.

Il faut ensuite arriver à notre époque pour trouver de nouveaux essais importants ; cependant, soyons justes envers de Saussure, physicien genevois dont les belles expériences du commencement du siècle dernier tracèrent un sillon lumineux dans le champ des découvertes : de Saussure fut le précurseur de Ducarla, ingénieur français, mort en 1816, qui, après avoir étudié sous l'inspiration du maître, l'action de la chaleur solaire sur l'air confiné, réussit à faire cuire, sous des cloches de verre superposées, des légumes et de la viande, mais, ni l'un ni l'autre de ces expérimentateurs ne s'étaient rendu un compte exact des causes de ses succès partiels ; et tous deux laissèrent leurs appareils dans l'état primitif.

De Saussure ne s'expliquait pas la concentration de la chaleur sous les caisses vitrées qu'il employait et il raconte ingénument que, dans son voyage scientifique au sommet

des Alpes, il serait mort de soif si les guides ne lui avaient indiqué la possibilité de fondre la neige en l'appliquant contre des roches exposées au Soleil. C'est donc à tort que l'on a baptisé les caisses de de Saussure et celles de Ducarla du nom de marmites solaires ; car, cette dénomination implique au moins l'idée d'ébullition de l'eau, résultat immense qui n'a été obtenu que de nos jours, comme le prouvera, Messieurs, la fin de cet entretien.

Vers la fin de l'année 1800, William Herschel, en établissant sa doctrine de la transmission calorique des corps, fit avancer notablement la question : il prépara les voies du progrès qui devait jaillir, 30 ans plus tard, des belles expériences de Pouillet à Paris et de sir John Herschel au Cap de Bonne-Espérance : tous les deux, déterminaient en effet presque aux antipodes l'intensité de la radiation solaire, et arrivaient au même résultat.

Vers la même époque (1830 à 1840), MM. Melloni, Laprévostaye et Desains apportèrent aussi un point d'appui fort important : Melloni en déterminant les lois de la transmissibilité des corps, MM. Laprévostaye et Desains en mesurant avec exactitude le pouvoir réflecteur des métaux par rapport à la chaleur solaire.

Enfin, Messieurs, il y a une vingtaine d'années, le grand ingénieur, M. Franchot, inventeur d'une lampe qui porte son nom, eut l'idée de concentrer les rayons solaires, non plus sur un seul point à l'aide d'un miroir ardent ou d'une lentille, mais au moyen d'un réflecteur spécial en forme de demi-cylindre parabolique à foyer linéaire.

Malgré l'ingéniosité de l'idée, la chaudière allongée, dont se servait M. Franchot, n'étant chauffée que d'un seul côté et restant exposée à l'air libre, perdait la plus grande partie de la chaleur absorbée et ne pouvait donner un résultat pratique.

Que d'efforts jusqu'en 1860, époque à laquelle M. Mouchot commence ses travaux, et que nous sommes encore loin du but ! J'ai à dessein, Messieurs, passé beaucoup de noms illustres : La Cliche, Olivier, Evans et d'autres pour ne pas fatiguer votre attention ; mais je tenais à faire devant vous cet acte de justice envers les devanciers de M. Mouchot. D'un seul coup d'aile serait-il arrivé au but, s'il n'avait été entraîné par la persévérance de ceux qui, avant, soupçonnaient la vérité ?

C'était donc avec une passion insatiable qu'il poursuivait son problème, excité d'ailleurs par la critique de ceux qui l'appelaient un idéologue et un rêveur. M. Mouchot avait compris que la chaleur solaire pouvait être mise au service de l'homme ; les expériences de Herschel au cap de Bonne-Espérance confirmaient son hypothèse : le savant anglais n'avait-il pas constaté que les rayons verticaux à la surface de la mer faisaient fondre une épaisseur de glace de 0,75 m par minute ?

M. Mouchot s'appuyait aussi sur les expériences de MM. Pouillet et Gasparin qui étaient la preuve de la précédente.

La moyenne de ces résultats permettait de se rendre compte en effet, qu'à Paris chaque centimètre carré reçoit

régulièrement, lorsqu'il est exposé au Soleil, environ une unité de chaleur par minute, de 8 h. du matin à 5 ou 6 heures du soir, pendant tout le cours de l'année ; d'où il résulte que, dans les mêmes conditions, chaque mètre carré reçoit dix calories par minute, ce qui équivaut à un travail de 0,94 m de cheval vapeur.

Tout cela est purement théorique, j'en conviens, Messieurs : on ne peut recueillir les rayons du Soleil sans intermédiaires qui absorbent forcément une partie de la chaleur qu'ils reçoivent ; mais, il s'agit ici de calorique tombant normalement sur une surface plane, et il est facile de faire entrer en compte la puissance des réflexions comme compensation. L'usage prouve, en effet, qu'ils peuvent accumuler sur un espace aussi restreint que possible, la presque totalité de la chaleur recueillie sur leur grande surface.

Tel fut le point de départ de M. Mouchot ; mais, ses premières expériences ne lui donnèrent pas les résultats qu'il en espérait. Le premier réflecteur qu'il construisit était un miroir demi-cylindrique et à foyer rectiligne, bien qu'il ne connût pas les expériences de M. Franchot. Il plaça dans l'axe de ce foyer une petite chaudière qu'il recouvrit de noir de fumée, afin qu'elle absorbât mieux les rayons solaires. Malgré cette précaution, les premiers résultats furent incomplets. Il fallait empêcher la déperdition de la chaleur absorbée.

Mariotte avait établi déjà « qu'une feuille de verre incolore laisse passer la chaleur lumineuse du Soleil, mais de-

vient un écran parfait, pour toute chaleur obscure ou produite par un feu quelconque » ; M. Mouchot s'emparant de ce fait si aisé à vérifier, résolut le problème d'une façon aussi simple qu'ingénieuse : il entoura sa chaudière d'un manchon en verre.

Les rayons lumineux du Soleil, réfléchis par le réflecteur, traversent le manchon de verre sans difficulté, et, rencontrant les parois noircies de la chaudière, se transforment en rayons obscurs qui restent prisonniers dans l'enveloppe de verre désormais impénétrable pour eux.

L'expérience réussit au-delà de tout espoir : la concentration fut si rapide qu'un litre en étain, placé dans un bocal en verre au foyer d'un réflecteur avait à peine un mètre carré de surface, fondit en moins d'une minute ! La concentration pratique des rayons du Soleil était découverte.

La question poursuivie pendant des siècles, Messieurs, était résolue par un moyen si naturel que j'entends souvent au Champ-de-Mars les visiteurs des petits appareils de M. Mouchot s'écrier : quoi ! ce n'est que cela ?... Un entonnoir et un verre de lampe. Rien de plus simple, en effet, Messieurs, mais encore fallait-il le trouver. C'est l'histoire de l'œuf de Colomb.

Je n'ai nulle envie, Messieurs, de vous dissimuler la longueur des recherches qu'entraîna cette belle solution si merveilleuse par sa simplicité, et je ne sais ce que nous devons admirer le plus des essais persévérants de M. Mouchot pour perfectionner ses appareils, ou de l'idée généreuse qui

fut son principal soutien : rendre sa découverte utile à l'humanité.

Qui pourrait vous dire l'émotion de l'expérimentateur lorsqu'il vit la fusion instantanée du plomb et de l'étain au fond de son creuset solaire ? Mais en résultats obtenus, un autre problème plus difficile et plus important se posait devant lui, celui de la vaporisation de l'eau.

Un doute sur le succès de cette nouvelle tentative peut paraître étrange à ceux qui n'ont pas étudié la difficulté ; car, pour fondre le plomb, il faut une température de 335° ; comment n'atteindrait-il pas l'ébullition de l'eau, qui n'en demande que 100 ?

La capacité calorifique du plomb étant 0,039, c'est-à-dire, un gramme de plomb exigeait 39 millièmes d'unité de chaleur pour que sa température s'élève d'un degré, si l'on suppose ce gramme de plomb à 0° , il lui faudra, puisqu'il fond à 335° , $0,039 \times 335 = 13$ unités de chaleur pour atteindre son point de fusion. D'autre part, comme il absorbera 5 autres unités de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide, il lui faudra finalement pour se fondre 18 unités de chaleur. – Dans ces mêmes circonstances un centimètre cube de plomb pesant 11 gr. 4 absorbera pour se fondre, $18 \times 11,4 = 205$ unités de chaleur.

Or, Messieurs, il en faut 706 pour faire passer un centimètre cube de glace à l'état de vapeur !

M. Mouchot eut encore le bonheur de résoudre ce problème ; il constata même bien vite qu'il pouvait élever la vapeur à plusieurs atmosphères et soumit ses expériences à

l'admiration de MM. les Professeurs du lycée de Tours, ses collègues.

Eh bien ! Messieurs, vous qui applaudissez sans réserve aux découvertes qui vont élargir prochainement les horizons de l'industrie, n'êtes-vous pas surpris que les premiers heureux résultats, constatés en séance publique, n'aient eu qu'un faible retentissement ? Et, faut-il le dire avec un peu de confusion, ce sont les journaux américains qui éveillèrent l'attention sur les travaux de M. Mouchot ! Ils nous apprenaient en effet en 1868 que le grand ingénieur Ericsson venait de réaliser les moteurs solaires.

Un premier brevet pris en 1860 par notre inventeur, plusieurs communications faites par lui à l'Académie des Sciences et la publicité des succès qu'il avait obtenus à Tours, établissent facilement la priorité de son invention, très différente d'ailleurs, on l'a vu depuis, de celle de l'ingénieur américain : M. Ericsson, imitant sans le savoir M. Franchot, employait un réflecteur parabolique, et de plus n'avait pas songé à envelopper la chaudière du manchon de verre ; ce qui est le merveilleux de l'invention. Une grande épreuve restait à tenter pour apprécier le rendement d'un appareil de plus vaste dimension.

Ce fut le conseil général d'Indre-et-Loire qui facilita au professeur du lycée de Tours dont la fortune n'excédait guère celle de la plupart des grands inventeurs (*sourires*), le moyen de constater que le rendement des grands appareils était encore supérieur à celui des petits.

Il serait trop long, Messieurs, de vous décrire cette dernière grande machine dont M. Mouchot communiqua la description à l'Académie des Sciences en 1878¹.

Le principe est le même, bien que la disposition des organes soit déjà loin de celle qu'il avait adoptée pour les appareils de petit calibre. Il s'agissait alors d'orienter une chaudière contenant 20 litres d'eau et un grand réflecteur conique de 2,60 m de diamètre.

Messieurs, la science marche vite et vous pouvez voir tout près d'ici le plus grand réflecteur solaire qui ait été construit dans le monde.

L'inventeur en rapporte tout l'honneur à son pays ; car la France, Messieurs, bien qu'on en ait dit, sait encourager ses enfants, surtout ceux dont les idées peuvent être fécondes pour le bien général de l'humanité. (*Applaudissements.*)

Je suis donc heureux de me faire ici l'interprète des remerciements de M. Mouchot pour M. le ministre de l'Instruction publique, pour notre honorable Président qui le premier signala les travaux du professeur de l'Université à l'attention du Gouvernement, pour l'Académie des Sciences et surtout, Messieurs, pour l'initiative privée d'un homme dont j'offenserais la délicatesse en vous le nommant, mais que vous reconnaîtrez tous quand je vous aurai dit que sous le pseudonyme des sociétés savantes, il se retrouve partout où il y a une idée nouvelle à encourager, un progrès scienti-

1 *Id est* 1875. « Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences : nombreux commentaires ».

fique à réaliser, en un mot, Messieurs, je veux parler de celui que notre histoire appellera le Mécène français. (*Applaudissements.*)

Malgré les mauvaises conditions dans lesquelles l'appareil a été exécuté, il permet d'obtenir une force de 2 chevaux et demi vapeur. Avec son appareil du lycée de Tours et une chaudière de 20 litres de capacité, M. Mouchot obtenait par un beau temps un débit de 140 litres de vapeur par minute. Ce fut l'importance de ces résultats qui décida la mission scientifique de M. Mouchot en Algérie, il y a deux ans. C'est là qu'il a pu recueillir des nombres forts pour la détermination de la quantité de chaleur reçue par minute et par unité de surface, et faire à ce sujet les remarques les plus curieuses. C'est ainsi, par exemple, qu'au sommet du Chélia, à 6 heures du matin, le thermomètre marquant 0° , M. Mouchot faisait bouillir de l'eau et préparait le café de ses guides en moins de temps qu'il n'en mettait dans la plaine du Sahara à midi.

Ce fait singulier au premier abord n'a rien qui surprenne, si l'on réfléchit que l'air au sommet des montagnes est plus pur et plus léger que dans la plaine ; ce qui laisse aux rayons solaires une vive intensité ; d'autre part, la pression étant diminuée, la température d'ébullition devient moindre ; et les voyageurs n'ont-ils pas tous éprouvé que l'ardeur du Soleil est quelquefois insupportable dans les ascensions les plus élevées, lorsqu'ils sont enveloppés d'un froid intense ? « Jamais, dit Tyndall, célèbre physicien anglais, je n'ai tant souffert de la chaleur solaire, qu'en descendant du Mont-

Blanc, en 1857 : pendant que j'enfonçais dans la neige jusqu'aux reins, le Soleil dardait ses rayons sur moi d'une façon intolérable. »

Voici une observation non moins importante à signaler que l'influence négative du froid sur la quantité de chaleur qu'on peut recueillir : au Sahara, par un siroco accablant, soulevant des nuages de sable, l'appareil qu'utilisait M. Mouchot pendant la tourmente a donné les résultats égaux à ceux obtenus en temps ordinaire ; nous n'aurons pas plus de motifs de redouter l'influence des poussières dans les pays chauds que celle du froid dans les pays montagneux ou hyperboréens.

Du reste, on se fait difficilement l'idée, dans nos contrées souvent voilées de nuages, de l'immense quantité de chaleur que peuvent recueillir les

« Peuples dorés qu'a bénis le soleil. »

comme dit le poète.

L'atmosphère est embrasée chez eux pendant 11 ou 12 heures par jour, et c'est avec des moyens peu coûteux, que nous emprisonnerons désormais cette chaleur. On objectera que l'influence calorique sera interrompue pendant la nuit ; nous montrerons bientôt comment on peut obvier à cet inconvénient.

Messieurs, vous avez pu devenir vous-mêmes les témoins de l'utilisation de chaleur solaire, et, malgré une saison défavorable où le ciel a été constamment chargé de va-

peurs, vous avez sans doute assisté aux expériences devenues désormais célèbres que M. Mouchot a faites au Champ-de-Mars presque quotidiennement.

Ce n'est pourtant pas à la zone de Paris que sont destinées les applications industrielles de ses appareils ; ils auront surtout le grand honneur, Messieurs, d'aller suppléer dans les pays qui ne sont dotés que de Soleil, au défaut de tous les agents combustibles.

Le sol des contrées du Nord et du milieu du globe est paré de forêts qui ont allumé les premiers foyers industriels ; plus tard, la Terre a laissé pénétrer l'homme dans ses profondeurs pour en tirer la houille et la lancer dans les organes de ses puissants moteurs.

Le progrès s'est concentré dans les usines ; grâce à l'art mécanique, des outillages lents et incomplets ont été remplacés.

Les machines ont créé et multiplié des bras infatigables pour l'agriculture et elles ont entraîné rapidement les voyageurs et les produits de toute sorte d'un bout à l'autre des continents. Partout, Messieurs, l'homme s'est approprié des forces auxiliaires dont l'emploi a surexcité son intelligence, et, depuis le grand jour où il a su convertir la chaleur en travail, on peut dire, sans exagération, que le feu est devenu le Dieu du commerce et de l'industrie.

Jamais idée n'a été plus féconde que celle de remplacer le combustible par un foyer naturel, grandiose, inépuisable qui est le bien commun du riche et du pauvre. (*Applaudissements.*)

M. Mouchot a réalisé cette conquête pacifique ; il s'est emparé de la plus grande force de la nature, l'a captée pour ainsi dire, au profit des peuples d'Espagne, d'Italie, d'Orient, d'Amérique, d'Afrique...

Il nous reste à examiner rapidement les applications pratiques dont l'opportunité n'échappera pas à mon intelligent auditoire.

La chaleur solaire, Messieurs, semble nous faciliter toute chose : elle simplifie les opérations et les perfectionne.

Les appareils culinaires laissent aux viandes leur goût et leur jus, développent l'arôme du café, cuisent les légumes sans les dessécher, laissent au pain la saveur du froment.

Quant aux applications industrielles proprement dites, nous considérerons surtout celles qui sont relatives à la chimie, au chauffage et à la distillation des liquides, et spécialement à la production de la force motrice.

Un point très important aussi est la décomposition de l'eau, fait capital dans les pays chauds si riches en minerais métalliques : témoin notre Algérie, par exemple, dont l'exploitation minière est toute une révélation. Quelle prospérité, Messieurs, atteindra l'industrie métallurgique lorsqu'elle obtiendra à vil prix l'oxygène et l'hydrogène, ces deux éléments du plus puissant des chalumeaux !

Les piles thermo-électriques à adjoindre au récepteur de M. Mouchot ne manquent point pour atteindre ce résultat ; à celle de M. Jobert, qui servit aux premières expériences de l'inventeur, ajoutons celle de M. Clamond qui, depuis

des années, donne d'excellents résultats à la Sorbonne, enfin les procédés de M. Bouvet qui semblent mieux encore devoir s'adapter aux appareils solaires.

Du reste il est beaucoup de minéraux qui pourront être réduits directement au foyer du réflecteur.

Dans un ordre d'idées parallèles, je citerai la calcination des calcaires et des gypses qui sera si précieuse pour l'Égypte, où l'on ne peut obtenir sans dépenses énormes la chaux et le plâtre dont l'utilité est incontestée.

Au point de vue de la chimie expérimentale ou pharmaceutique, l'emploi des appareils Mouchot offre de non moins grands avantages : ils se prêtent à merveille, par exemple, au chauffage des liquides *par le haut* puisqu'il suffit de passer un peu de blanc d'Espagne sur la base du réflecteur, pour projeter les rayons caloriques uniquement sur la partie haute du vase à chauffer.

Quant à la distillation, Messieurs, les alambics s'y prêtent à merveille : ils suppriment les dangers d'explosion si nombreux dans les pays chauds ; aucune inflammation n'est à craindre, et la plupart du temps on peut se dispenser de rectifier ; car, l'accumulation de la chaleur à la partie supérieure de l'appareil est suffisamment grande pour y concentrer la vapeur à un très haut degré.

Par la distillation, le Soleil, qui dans la création a donné le parfum aux fleurs, le concentre et le renferme pour l'offrir à l'homme. Il procède de même en laissant à l'eau-de-vie la saveur du raisin et en donnant à la rectification de l'alcool toute son intensité.

Jugez, Messieurs, des avantages qui s'offrent ainsi aux contrées où s'élaborent les parfums et les essences, telles que la Provence, la Corse, l'Algérie... où l'on pourra obtenir ces produits presque sans frais !

Je ne veux point omettre une de nos applications hygiéniques et confortables, celle de fabriquer la glace sous toutes les altitudes ensoleillées, et de pouvoir, par ce moyen, y développer les industries relatives à la fabrication des boissons fermentées, telles que la bière, par exemple, si difficile à obtenir si l'on ne peut rafraîchir les brasseries où on la fabrique, les caves où on la conserve.

N'oublions pas non plus la distillation de l'eau de mer et les évaporations salines... que sais-je encore, Messieurs ?

En Cochinchine, en Bolivie, quels services ne rendront pas nos appareils en permettant de débarrasser les eaux, par l'ébullition, des matières calcaires et organismes qu'elles renferment et qui les rendent insalubres pour les étrangers.

Je n'aurai garde d'oublier une application des plus importantes en un temps où le phylloxera menace de diminuer notre production vinicole. L'Algérie produit d'excellents vins qui se troublent dans le transport ; grâce à une disposition élémentaire de l'appareil Mouchot, nous pouvons bénéficier sans frais du merveilleux procédé de M. Pasteur pour le chauffage des vins et réparer en partie la ruine de la France par la richesse de sa colonie.

L'Espagne n'est pas moins intéressée que l'Algérie à la clarification de ses vins ; car elle ne peut les conserver qu'au

prix de sacrifices considérables en ne les additionnant fortement d'alcool ; d'ailleurs, l'emploi du Soleil pour le procédé Pasteur produit un phénomène analogue à celui que nous avons marqué pour l'eau-de-vie : il augmente le bouquet du liquide chauffé. Enfin, j'arrive au générateur solaire qui permet d'obtenir de la vapeur à toute tension et par conséquent d'actionner un moteur quelconque.

À vrai dire, un seul appareil ne suffirait pas à faire marcher un très grand moteur ; mais rien n'empêche de conjuguer plusieurs générateurs alimentant une chaudière principale.

D'autre part, une grande quantité de chaleur étant accumulée ainsi dans un réservoir spécial pourra permettre de vaporiser certains liquides, tels que les éthers, par exemple, dont les vapeurs possèdent encore une grande tension à des températures relativement basses ; ce qui pourrait permettre de marcher avec la chaleur solaire même pendant la nuit !

Admettez encore, Messieurs, que l'on tienne à n'employer que de la vapeur d'eau. Le problème serait encore possible à résoudre, il suffirait d'accumuler pendant le jour une température très élevée dans un liquide tel que l'huile, et de l'utiliser ensuite pour continuer la production de vapeur.

Mais j'y pense, Messieurs, puisque par la décomposition de l'eau on pourra se procurer à vil prix pendant le jour, des quantités considérables d'oxygène et d'hydrogène, il n'y aura point à se préoccuper du chauffage pendant la nuit.

Bien plus, la question de l'éclairage artificiel sera résolue du même coup !

Au reste les services que rendront des moteurs pouvant fonctionner sans frais pendant 10 ou 12 heures par jour, sont déjà assez nombreux pour nous dispenser d'insister davantage sur ce point particulier de la question.

J'arrive, Messieurs, à l'application la plus immédiate et la plus féconde peut-être, des moteurs solaires, celle de l'élévation des eaux.

« L'agriculture est le produit de deux facteurs, a dit M. de Gasparin, la chaleur et l'eau. »

Les pays auxquels nous avons fait allusion possèdent le premier de ces facteurs ; mais le deuxième leur fait défaut.

Il y a quelques jours à peine qu'un savant ingénieur, M. de Passy, disait ici même que l'emploi des eaux en agriculture était une question de vie ou de mort pour nos départements du midi : pour les pays chauds, à plus forte raison, la question est-elle capitale. Or, si le temps l'eût permis, Messieurs, M. Mouchot se serait fait une joie de vous offrir la primeur d'une de ses expériences au Trocadéro, de vous convier à voir un appareil solaire élevant 3.000 litres d'eau à l'heure !

En un mot, les applications des générateurs solaires dans les pays chauds seront aussi nombreuses dans l'avenir que le sont dans nos climats celles de nos chaudières ordinaires...

J'ai cité, à la hâte, nos plus importants résultats et je résiste à l'entraînement, Messieurs, de vous détailler nos plus légitimes espérances.

Le temps n'est-il pas venu, où l'Égypte remplacera l'antique noria par des pompes à vapeur, où le combustible solaire transportera l'activité industrielle sur les bords naguère silencieux du canal de Suez, où le désert verra monter à la surface calcinée les nappes paresseuses des eaux souterraines ; alors, Messieurs, vous saluerez avec les peuples qui vont bénir l'invention française, l'ère nouvelle du travail et du progrès dont ils goûteront enfin les bienfaits et la jouissance ! (*Vifs applaudissements.*)

Les récepteurs solaires.
Exposition des appareils de M. Mouchot

Visite des ingénieurs, anciens élèves de
L'École Centrale des Arts et Manufactures,
à l'Exposition universelle de 1878

Messieurs et chers camarades,

Un des bénéfices les plus encourageants pour moi, de l'Exposition universelle de 1878, est de vous avoir vus, maîtres et camarades, groupés avec intérêt autour du grand appareil Mouchot, prodiguant les témoignages de votre bienveillance à la jeune industrie solaire.

Vous aviez consenti déjà précédemment, à m'entendre au Trocadéro, devant un public auquel il fallait raconter l'histoire progressive de la découverte et faire comprendre la nouveauté du procédé. Pour vous, Messieurs, en vous guidant autour du générateur solaire, je m'étais borné à causer de l'application pratique qui parlait d'elle-même par des expériences que vous aviez sous les yeux.

Vos connaissances en physique me dispensaient de remonter à l'origine de l'effet produit ; nous étions là pour le constater ensemble, pour examiner comment il s'obtenait :

aussi, en venant résumer ici nos divers entretiens, ne m'étendrai-je point sur l'historique de la question, et m'appliquerai-je principalement, surtout pour ceux qui n'assistèrent pas à nos réunions, à faire ressortir la logique du problème poursuivi par M. Mouchot ainsi que l'importance des résultats acquis.

Les tentatives pour utiliser, au moyen d'appareils divers, la chaleur envoyée par les rayons du Soleil, remontent à une haute Antiquité et elles ont exercé la sagacité des savants illustres de tous les temps. On voit successivement attachés à cette question les noms d'Euclide, d'Archimède, de Héron d'Alexandrie, de Kircher, de Salomon de Caus ; et dans des temps plus rapprochés de nous, ceux de de Saussure, Buffon, Herschell ; enfin, à notre époque, MM. Franchot, Ericsson et Pouillet s'y sont appliqués particulièrement.

C'est surtout depuis les révélations merveilleuses de la science de la thermodynamique, née d'hier, que cette question a pris immédiatement une nouvelle importance en mettant en éveil les esprits chercheurs de notre époque.

La thermodynamique nous enseigne que c'est au Soleil que nous devons tout le travail mécanique qui se dépense sur la Terre, quelle que soit la forme sous laquelle il se présente. C'est le Soleil qui, en fécondant la Terre par ses rayons, fournit aux moteurs animés la nourriture, source de toute leur énergie. C'est lui qui, provoquant une évaporation à la surface des mers, remonte à leur source l'eau des rivières et alimente nos moteurs hydrauliques. Le vent n'est

aussi qu'une conséquence des troubles que la chaleur apporte dans l'atmosphère. Enfin, la houille, cet élément même de la machine à vapeur, est encore le produit d'une végétation luxuriante due à son action antérieure et emmagasinée dans le sol.

N'est-il pas naturel, puisque c'est aux rayons solaires que nous devons l'énergie répandue sur la Terre, qu'on ait pensé à puiser à la source même qui nous le fournit, le travail mécanique qui se dépense dans l'industrie moderne ?

L'idée est donc juste et logique en même temps que hardie.

Certains esprit inquiets ont voulu voir dans l'invention de M. Mouchot une réponse aux préoccupations de l'Angleterre appelée avant 200 ans, paraît-il, d'après les prédictions de sir W. Armstrong, à considérer la houille comme une curiosité. On a même voulu expliquer par cette raison l'accueil bienveillant fait à l'invention par les Anglais, peuple prévoyant par excellence ; mais je dois à la vérité de dire que leur préoccupation de voir un jour l'épuisement de leur combustible paralyser leur influence, n'est pour rien dans leur appréciation. En rapport constant avec leurs possessions d'outre-mer, très soucieux de la prospérité de leurs colonies, ils ont rapidement compris, en effet, que les climats chauds, presque toujours privés de combustible nécessaire au développement des industries locales, pourraient tirer un parti avantageux des générateurs solaires ; mais ils n'ont pas eu besoin pour cela de se transporter par

la pensée à plusieurs siècles en avant : il leur a suffi de suivre l'impulsion du génie pratique qui les caractérise. Au reste, M. Mouchot s'est toujours préoccupé de son pays et non de l'étranger ; et ce serait une injustice que de vouloir enlever à la France le mérite de ses encouragements désintéressés. Notre gouvernement a protégé et assisté l'inventeur dans ses débuts, sans aucun égoïsme, et sachant très bien que si la France profitait un jour pour ses colonies d'Algérie, de la Cochinchine et du Sénégal, des beaux résultats de l'invention, le bénéfice serait aussi partagé par l'Égypte, les Indes, l'Espagne, l'Italie, l'Amérique du Sud et les centres inconnus de l'Afrique que tentent d'ouvrir à l'activité humaine les hardis explorateurs de l'heure présente.

L'Exposition est venue justifier la confiance que le gouvernement avait mise en M. Mouchot, puisqu'en dehors des succès presque populaires de ses petits appareils domestiques, vous avez pu être témoins des résultats obtenus avec le grand générateur : cet appareil encore sans précédent, mal proportionné, construit sans soin et produisant cependant au milieu de Paris, pendant les mois nuageux de septembre et d'octobre, de la vapeur à 6 ou 7 atmosphères et alimentant diverses petites pompes ! Il est vrai de dire que le 2 et le 12 septembre cette pression baissa rapidement dès que fut ouvert le robinet de vapeur : mais quelques-uns d'entre vous, Messieurs, purent constater que le 22 septembre, sous un ciel moins voilé, une pompe de notre camarade M. Stapffer fonctionnait sous la pression constante

de 3 atmosphères ; ce qui fut une épreuve décisive, un indice certain de la continuité du fonctionnement de l'appareil sous les chaudes latitudes.

C'est en prenant pour base les expériences de Pouillet que M. Mouchot chercha à disposer un appareil permettant d'employer d'une manière utile la chaleur des rayons solaires. Pouillet avait trouvé que, par minute et par centimètre carré, aux limites de l'atmosphère, le Soleil nous envoie par ses rayons 1.7633 calories. Il avait déterminé aussi que l'absorption de l'atmosphère, quand le ciel est parfaitement pur, est de 0,21 lorsque les rayons sont verticaux, et peut aller jusqu'à 0,5, quelquefois jusqu'à 0,6 lorsque les rayons sont très obliques.

En prenant une moyenne d'absorption de 0,4, il reste comme chaleur arrivant à la surface de la Terre, 1.058 calories par centimètre carré. Ce que Pouillet entendait par *calorie*, il est bon de le noter, c'était la quantité de chaleur nécessaire pour élever de *un* degré, un grand d'eau : son unité donc 1.000 fois plus petite que celle à laquelle nous donnons aujourd'hui le même nom de *calorie*.

On peut, d'après ces résultats, estimer à 10 calories ordinaires la somme de chaleur que fournissent, à Paris, en une minute et sur un mètre carré de surface les rayons du Soleil, lorsque le ciel est sans nuages ; nous verrons tout à l'heure que ce chiffre augmente considérablement dans les climats chauds.

Comme une calorie correspond à un travail mécanique de 425 kilogrammètres, chaque mètre carré reçoit donc, par minute, l'équivalent d'une provision de travail de 4.250 kilogrammètres ou 70,8 k par seconde, c'est-à-dire, 0,94 de cheval-vapeur. De ce chiffre à celui que l'on utilise véritablement en pratique, il y a loin : les intermédiaires employés pour recueillir la chaleur du Soleil et la transformer en travail, en absorbent forcément une portion que nous allons évaluer, afin de montrer qu'elle est beaucoup moins considérable qu'on ne le pense généralement. Pour cela, examinons rapidement les appareils au moyen desquels s'opère cette transformation.

Grands ou petits, les appareils de M. Mouchot comprennent tous :

Un réflecteur qui reçoit les rayons solaires ;

Une chaudière qui les absorbe ;

Une enveloppe de verre qui préserve la chaudière du refroidissement ;

Un mécanisme qui permet l'orientation de l'appareil.

La figure ci-dessous représente le grand appareil, qui était exposé au Trocadéro, dans la section algérienne.

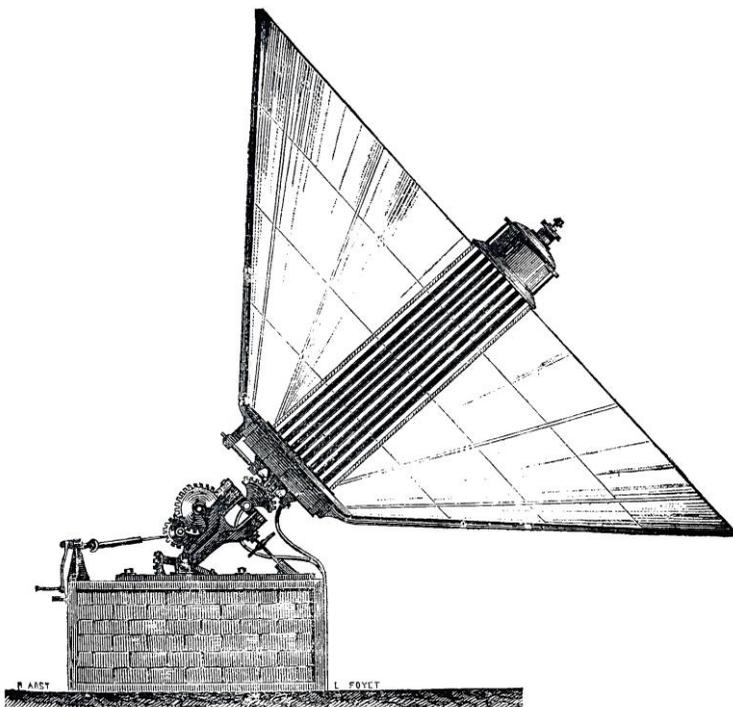
Il est orienté, et, dans cette position, les rayons solaires arrivant parallèlement à l'axe de la chaudière, sont réfléchis normalement sur le manchon de verre, le traversent, et viennent frapper la chaudière noircie qui les absorbe ; l'enveloppe de verre a aussi pour effet de s'opposer à la sortie des rayons que la chaudière n'a pas absorbés, mais qui se

sont transformés en chaleur obscure par suite de leur contact avec sa surface noire.

Le réflecteur est formé de plaques argentées ; car l'argent est de tous les métaux celui dont le pouvoir réfléchissant est le plus considérable.

À tort, la chaudière avait été faite tubulaire et était beaucoup trop lourde pour le mécanisme d'orientation dont je ne parlerai pas, si ce n'est pour dire qu'il n'en sera plus exécuté sur un pareil modèle.

Cependant, tout imparfait qu'il était et malgré les fuites de la chaudière, l'appareil, vous le savez, a donné des résultats satisfaisants et, mieux que personne, vous allez vous rendre compte de ceux que nous obtenons avec des appareils mieux proportionnés.



Notre surface argentée réfléchit 0,392 de la chaleur incidente.

Une lame de verre de 3,04 mm (c'est la moyenne des épaisseurs de nos enveloppes vitrées) laisse passer, d'après des expériences d'Herschell, 0,82 de cette même chaleur réfléchie.

Il arrive donc à la chaudière $0,92 \times 0,82 = 0,75$ de la chaleur incidente reçue par le réflecteur, soit une perte de seulement 0,25.

Il y a aussi d'autres causes de pertes : le rayonnement du dôme de vapeur, celui de l'enveloppe vitrée ; mais elles sont relativement faibles ; nous les estimons à 0,10, en sorte que nous pouvons admettre que l'eau de la chaudière n'absorbe que les 0,65 de la chaleur reçue par réflexion.

Si maintenant, au lieu de prendre pour base les résultats de Pouillet qui se rapportent au climat de Paris, nous nous transportons dans les pays chauds où devra fonctionner l'appareil, nous trouvons pour l'intensité de la chaleur solaire des chiffres plus considérables dus en grande partie à l'absence de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

En Algérie, par exemple, nous voyons d'après un mémoire présenté à l'Académie des sciences en avril 1878 par M. Violle, professeur à la faculté de Grenoble, qu'il a été recueilli à Khanga (localité située à 120 kilomètres est de Biskra), non plus 10, mais 17 calories en moyenne, par minute et par mètre carré, de sept heures du matin à midi.

Nous savons que l'on peut compter, avec les appareils Mouchot, sur une utilisation de 0,65. C'est donc $17 \times 0,65 =$

11 calories qui seront absorbées par l'eau de la chaudière en une minute et par mètre carré de surface d'incidence.

Or, on compte qu'une machine à vapeur à condensation, bien réglée, travaillant avec vapeur à 6 atmosphères, détente 1/3 ou 1/4, dépense 1,5 à 2 kilogr. de vapeur d'eau par cheval et par heure. Nous comptons donc sur une dépense de 20 kilogr. de vapeur et comme il faut 635 calories pour porter 1 kilogr. d'eau de 15° à la température correspondant à la transformation en vapeur, un cheval de machine à vapeur consommera donc par heure :

$$20 \text{ k} \times 635 = 12.700 \text{ calories}$$

et par minute,

$$(12.700) / 60 = 211,7 \text{ cal.}$$

Comme un mètre carré de surface d'incidence nous en fournit 11, c'est donc un travail de :

$$11 / 211,7 = 0,052 \text{ chev.}$$

qui correspond à cette surface.

Ainsi, après les pertes de chaleur provenant de l'emploi même de l'appareil, après la perte par transformation de la chaleur en travail et par le jeu même d'une machine à vapeur, c'est sur un travail de 0,05 que l'on peut compter par mètre carré de surface d'incidence des rayons solaires, c'est-à-dire qu'avec ce réflecteur de 20 mètres carrés d'ouverture, nous pouvons produire un travail utile de *un* cheval-vapeur.

Je ne puis pas vous dire qu'un semblable générateur fonctionne déjà ; mais d'après les expériences comparatives faites en Algérie avec des appareils dont le réflecteur n'a que

dix mètres carrés d'ouverture, et en France avec de petits générateurs combinés par notre camarade H. Salleron, que dix années passées en Égypte ont attaché avec moi à l'avenir de la question, je suis autorisé à considérer ces résultats comme absolument certains.

On m'a demandé si souvent pourquoi les lentilles n'avaient pas été employées de préférence aux réflecteurs pour concentrer la chaleur solaire, que je vous dois une explication :

Certes les lentilles bien fabriquées et d'une matière de bonne qualité sont aptes à concentrer les rayons du Soleil et peuvent produire de très hautes températures ; mais leurs dimensions sont toujours forcément restreintes ainsi que leurs foyers. Quant aux lentilles à échelons qui ne présenteraient pas le même inconvénient, leur fragilité et l'élévation de leur prix les rendent impraticables.

De plus, les lentilles ne transmettent qu'une partie relativement faible des rayons incidents ; les rayons réfractés subissent une absorption d'autant plus grande que le verre est plus épais. Je citerai, à ce sujet, l'expérience très curieuse que fit Rumfort au commencement de ce siècle : il remplit d'eau deux vases métalliques identiques noircis extérieurement, plaça le premier derrière une ouverture libre de même diamètre que la lentille et constata que le vase soumis à l'insolation directe s'échauffait *plus rapidement* que l'autre. Il alla plus loin et plaça devant l'ouverture libre une lentille égale à la première et reconnut encore :

« 1° Que les deux vases d'échauffaient de la même manière quand les cônes des rayons réfractés rencontraient indifféremment leur surface noircie en deçà ou en delà des foyers ;

« 2° Que l'échauffement se ralentissait pour le vase à la surface duquel se trouvait l'un de ces foyers. »

L'emploi des lentilles, à quelque point de vue que l'on se place, est donc désavantageux et il était logique de choisir, ainsi que l'a fait M. Mouchot, un moyen d'action plus facile à réaliser. Avec le réflecteur en plaqué d'argent, la transmission s'élève à 0,92 de la chaleur incidente ; de plus, il est facile à construire et possède l'avantage de laisser directement exposé à la radiation solaire l'objet à chauffer ; ce qui ne peut avoir lieu avec les lentilles, ces dernières devant forcément être placées entre l'objet à chauffer et le Soleil lui-même.

Quant à la forme de cône tronqué donnée au réflecteur, elle présente de grands avantages pour la construction, surtout quand il s'agit des appareils de grandes dimensions. Le foyer en est rectiligne, ce qui permet de chauffer une chaudière présentant une surface allongée ; enfin la section circulaire assure le chauffage de tout le pourtour de la chaudière.

Il me reste à vous donner un aperçu des applications les plus immédiates des récepteurs solaires.

Je passerai sous silence les petits appareils domestiques ; car vous en avez vu à différentes reprises distillant

le vin et l'eau, cuisant des légumes, rôtissant un demi-kilogr. de bœuf en vingt-cinq minutes, préparant dix tasses de café en une demi-heure ; et cela suffit pour que vous mesuriez l'importance des services qu'ils rendront en des pays comme l'Égypte, par exemple, où les indigènes n'ont d'autre combustible pour préparer leurs aliments que la fiente des chameaux. J'examinerai seulement avec vous, et très brièvement, les applications vraiment pratiques de la chaleur solaire.

Distillation. – Cette opération est toujours délicate dans les pays chauds à cause des dangers d'incendie : nous n'aurons rien de semblable à redouter avec les récepteurs solaires puisque les alcools ne s'enflamment pas directement au Soleil. La température nécessaire est facile à obtenir et la régularité du chauffage dispense de toute surveillance, tout en donnant, ainsi que je l'ai fait constater à quelques-uns d'entre vous, un arôme spécial à l'eau-de-vie ; ce qui tient sans doute à la disposition du réflecteur qui chauffe principalement la partie supérieure de l'alambic.

La fabrication des parfums et des essences se fait également d'une façon simple avec les appareils solaires ; et quant à l'eau distillée, qu'elle provienne de l'eau ordinaire ou de l'eau de mer, l'économie de sa production sera telle, que ces appareils s'imposeront d'eux-mêmes dans nos colonies : du moins, c'est l'avis de MM. les Ingénieurs chargés par M. le Ministre de la marine d'étudier cette question qui

intéresse à un si haut degré l'hygiène du Sénégal et de la Cochinchine.

Force motrice. – Il est impossible de fixer des bornes aux services économiques rendus par les appareils solaires, à ce point de vue particulier, dans les pays privés de combustibles et où les communications sont lentes et difficiles. Ce sera le cas de laisser reposer les hommes et les animaux pendant l'ardeur du jour et de faire fonctionner le Soleil pour élever les eaux au profit des irrigations.

On a souvent fait remarquer que l'action des générateurs solaires est limitée. Qui empêcherait pourtant d'en conjurer plusieurs ? Et en des pays comme l'Égypte, où la propriété est très morcelée, où l'agriculteur en est encore réduit à l'antique noria, un appareil pouvant élever une centaine de mètres cubes d'eau par jour ne serait-t-il pas un véritable succès ?

Mais, on objectera le prix élevé des appareils : c'est une erreur que je vous demande la permission de réfuter. Certes, le réflecteur en plaqué d'argent sera coûteux, mais dans les pays qui adopteront ces appareils, où l'on se sera habitué à leur usage si simple, il sera facile d'avoir des réflecteurs en fer-blanc d'un prix minime. Et d'ailleurs, un appareil pouvant fonctionner pendant sept ou huit ans (sans autre entretien qu'un nettoyage facile des plaques argentées), rachètera largement son prix d'achat par l'économie de tout combustible.

Voulez-vous un exemple des résultats industriels que l'on peut attendre de l'utilisation directe du Soleil ?

Consultez, par exemple, les statistiques de nos importations de lins ; vous verrez que nous achetons en Russie, en Hollande, en Belgique, pour plus de 120 millions de filasse de lin et que cette plante est cultivée sur plus de 5.760 hectares en Algérie. Nous aurions évidemment avantage à employer les lins de nos colons ; cependant, nous n'utilisons jusqu'ici que la *graine* des lins algériens faute de pouvoir nous procurer économiquement l'outil nécessaire au rouissage des tiges. Lorsque nos appareils permettront d'élever sans frais l'eau qui, dans toute l'immense plaine du Tell, se trouve à 8 ou 9 mètres de profondeur, d'après les sondages exécutés par M. Jus dans toute cette région, il sera facile d'établir des bassins de rouissage et l'usage de l'eau chaude diminuant la durée de l'immersion, l'Algérie sera dotée d'une nouvelle industrie. On utilisera les tiges fibreuses détruites aujourd'hui, et les usines du nord de la France viendront s'approvisionner dans notre colonie.

Le même sort est réservé à l'alfa, cette plante dont les Anglais, à notre détriment, semblent avoir monopolisé l'emploi pour leurs pâtes de papier.

Avant de clore la série des diverses applications qui se sont présentées tout d'abord à mon esprit, je veux appeler l'attention sur les mauvaises conditions de température et d'installation qui nous ont empêchés, l'année dernière,

d'expérimenter avant la fin de septembre, et vous faire remarquer que nous avons pu néanmoins fabriquer de la glace, grande ressource inestimable et hygiénique pour les pays chauds. Au moyen de générateurs fournissant 20 kilogr. de vapeur à l'heure, on peut, avec les appareils moyens de M. Carré, produire de 15 à 20 kilogrammes de glace par heure, soit 120 à 160 kilogr. par jour et par générateur solaire, sans dépense de combustible.

Nous n'avons pas remédié à l'inconvénient qu'on s'est plu à nous signaler : l'arrêt de nos appareils pendant la nuit. Ce serait un défaut capital pour de grandes industries ; mais, dans les pays chauds, les grandes usines sont presque inconnues. Du reste, rien ne s'oppose à ce que l'on emmagasine de la force vive pendant le jour en élevant de l'eau dans des réservoirs, ou en recueillant les gaz provenant de la décomposition de l'eau, ainsi que des essais nous en donnent l'espoir.

Applications chimiques. – J'ajouterai quelques mots au sujet de la décomposition de l'eau par la pile thermo-électrique, question fort importante à laquelle vient donner un nouvel intérêt la récente découverte de M. Clamond avec laquelle nous espérons obtenir de grandes quantités d'oxygène et d'hydrogène. Outre l'influence de cette production de gaz sur l'industrie métallurgique des pays chauds, elle nous procurera les moyens d'éclairage et de chauffage pendant la nuit.

Il me resterait à parler de l'extraction des huiles fixes en utilisant comme intermédiaire un liquide volatil capable de dissoudre les matières grasses, et de la fabrication des vernis, etc. ; mais ce serait dépasser les limites qui me sont assignées et que j'ai déjà franchies, car ce sujet entraîne facilement.

Si vous voulez bien y réfléchir aussi, après cette visite rétrospective aux appareils Mouchot, vous verrez avec moi, Messieurs, que cette question si nouvelle attire avec l'attrait des pays inconnus. Les horizons se développent et s'étendent à mesure qu'on avance ; car nous avons le monde devant nous : les pays chauds possèdent plus de 755.000.000 d'habitants ! – La Sibérie elle-même, éveillée par la perspective de faire travailler son rare, mais généreux Soleil, réclame des renseignements que nous nous empressons de lui fournir ; car il en résulte pour nous la confirmation des remarques curieuses de Tyndall sur la grande intensité de la radiation solaire dans les climats froids, mais à ciel clair. Chaque jour, de tous les points géographiques, on me demande des applications particulières qui prouvent que l'invention répond à des besoins presque illimités ; et ce qui frappe surtout, c'est la rapidité avec laquelle son utilité pratique a été saisie : elle peut, en effet, être comprise également et par l'individu isolé qui sans dépense et sans embarras trouvera dans les appareils domestiques les avantages d'un foyer toujours allumé, et par l'industriel qu'elle aidera

dans les difficultés et les dépenses de l'approvisionnement du combustible.

Mais si le temps, Messieurs, a bien voulu négliger ses droits en permettant à l'invention solaire d'entrer dès sa naissance dans la pratique, à son tour elle demandera au temps tous les perfectionnements de l'expérience, l'ampleur des applications, et les leçons que nos maîtres eux-mêmes pourraient nous fournir en contribuant aussi pour leur part à développer cette source de richesse, la plus neuve et la plus incontestable de notre temps.

Utilisation industrielle de la chaleur solaire¹

Communication de M. Mouchot à
l'Académie des sciences

D'après des essais faits par M. Mouchot, il est facile de récolter plus des $\frac{3}{5}$ de la chaleur solaire arrivant à la surface du globe.

Quant à l'intensité d'une source calorifique aussi faible en apparence, M. Pouillet l'a révélée depuis trente ans. À Paris, une surface de 1 mètre carré normalement exposée aux rayons du Soleil, reçoit en moyenne, quelle que soit la saison, pendant presque toute la durée d'un beau jour, 10 calories par minute.

Pour apprécier convenablement une pareille somme de chaleur, il suffit d'observer qu'elle ferait bouillir, en dix minutes, 1 litre d'eau pris à la température de la glace fondante, et qu'elle équivaut presque à un travail théorique d'un cheval-vapeur. Dans les mêmes conditions, une superficie de 1 are recueillerait, pendant dix heures d'insolation, la chaleur résultant de la combustion de 120 kilogrammes de houille ordinaire.

¹ *Le Génie industriel*, 1^{er} semestre 1869, p. 217-218.

Ces nombres ont leur éloquence : ils doivent, sinon dissiper, du moins affaiblir les craintes sérieuses qu'inspire déjà l'épuisement rapide des mines de houille et la nécessité d'aller à des profondeurs toujours croissantes disputer aux eaux souterraines ce précieux combustible. D'ailleurs, l'intensité de la radiation calorifique du Soleil est beaucoup moindre à Paris que dans les régions intertropicales ou sur les plateaux élevés ; il est donc probable que l'invention des récepteurs solaires fournira quelque jour à l'industrie l'occasion d'installer ses chantiers dans les déserts où le ciel reste longtemps pur, de même que celle des récepteurs hydrauliques lui a permis de semer les usines sur les bords des cours d'eau.

Bien qu'il n'ait pas encore été donné à M. Mouchot d'opérer dans des circonstances très favorables, puisque ses essais n'ont eu lieu qu'au soleil d'Alençon, de Rennes, de Tours et de Paris, il a prouvé dès l'année 1861, la possibilité d'entretenir à l'aide des rayons solaires le mouvement des machines à air chaud. Plus tard, il a réussi de même à faire bouillir assez rapidement quelques litres d'eau soumis à l'insolation. Enfin, après s'être assuré qu'il suffisait d'un réflecteur en plaqué d'argent de 1 mètre carré d'ouverture pour vaporiser en cent minutes 1 litre d'eau pris à la température ordinaire, ou, en d'autres termes, pour produire 17 litres de vapeur à la minute, il a tenté de faire marcher au Soleil une petite machine à vapeur, et le succès a couronné ses efforts en juin 1866.

En même temps, M. Mouchot a pu, grâce à l'emploi d'appareils très simples, obtenir d'autres effets remarquables de l'insolation, tels que la distillation de l'alcool, la fusion du soufre, la cuisson parfaite des viandes et du pain, etc.

Toutefois, ces essais, et particulièrement les applications mécaniques de la chaleur solaire, n'ont pas reçu la sanction de l'expérience sur une assez grande échelle. Il serait donc utile de les répéter dans les contrées méridionales avec des récepteurs solaires de dimensions convenables. On pourrait ainsi mesurer le volume et la tension de la vapeur d'eau produite en une heure par une surface d'insolation donnée, les pressions développées par le Soleil dans une masse considérable d'air confiné, les températures auxquelles permettraient d'atteindre de vastes réflecteurs formés d'un châssis de bois recouvert de lames de plaqué d'argent, etc.

La Machine solaire de M. Mouchot

Il ne suffit plus à l'activité de notre époque de répandre la pensée par le télégraphe et par la presse, d'unir les hommes par les voyages : un nouveau problème s'impose, pour lequel les solutions abondent ; nous voulons parler de la diffusion de la force.

La force, ce mystère que la philosophie n'a pas éclairci et que la physique étudie, se révèle à nous sous une forme tangible : le travail. Il y a de ce terme une définition mathématique qui n'est pas aussi éloignée qu'on le pense généralement de répondre à la définition usuelle. Une force ne vaut que lorsqu'elle exécute un travail ; celui-ci se mesure par le produit de l'intensité de la force par le chemin qu'elle fait parcourir à l'obstacle. Une force, quelque grande qu'elle soit, si elle ne déplace pas la résistance, est une force vaine. On s'explique comment tant d'investigateurs cherchent à utiliser toutes les forces perdues, à les assouplir à nos besoins, en leur faisant produire un travail utile.

Pour envisager le problème dans toute sa généralité, nous aurions à suivre les tentatives faites pour utiliser la chaleur solaire, pour mettre à profit les vents et les marées. Dans ce domaine, il est vrai, la nature jusqu'ici ne s'est guère laissé surprendre, elle nous étonne par son opulence

et garde ses trésors peut-être destinés à nos successeurs. Nous nous bornerons, aujourd'hui, à envisager les faits relatifs à l'utilisation de la chaleur solaire.

M. Mouchot, dans une communication faite à l'Académie des sciences, le 4 octobre 1875, a appelé l'attention sur les machines solaires, dans lesquelles sont appliquées les propriétés des miroirs. Nous allons reprendre avec lui l'étude de cette question, qui a préoccupé les savants dès l'Antiquité.

L'usage des miroirs ardents semble avoir été connu des prêtres d'Héliopolis et de Thèbes. Plutarque nous apprend aussi qu'à Rome on se servait de miroirs ardents pour rallumer le feu sacré, lorsqu'il venait à s'éteindre. La forme de ces miroirs était celle d'un cône droit à base circulaire, engendré par la révolution d'un triangle rectangle isocèle autour d'un des côtés de l'angle droit. C'est là, on le démontre en optique, la meilleure disposition qu'on puisse adopter pour les réflecteurs coniques. Le premier ouvrage qui traite des miroirs ardents est « l'Optique » d'Euclide, qui vivait à Alexandrie 300 ans avant l'ère chrétienne. On suppose qu'Archimède suivit les leçons d'Euclide, et apprit de ce maître le secret de la fabrication des merveilleux engins avec lesquels à incendia, dit-on, la flotte romaine assiégeant Syracuse. Cet événement a donné lieu à de nombreux commentaires de la part des auteurs. Anthémios de Tralles, l'architecte de la basilique de Sainte-Sophie à Constantinople, indique la combinaison de miroirs plans à laquelle dut recourir Archimède pour réaliser l'effet produit.

Au Moyen Âge, les Arabes, pour opérer certaines distillations au Soleil, se servirent de miroirs concaves d'acier poli fabriqués à Damas. C'est peut-être, dit M. Mouchot, d'un pareil miroir qu'il s'agit dans le passage suivant de *l'Histoire naturelle* publiée en 1551, par Adam Lonicer : « Moyen par lequel on peut faire infuser dans l'eau diverses fleurs, de façon qu'elle en retienne l'odeur et les vertus. » « Présente un miroir concave à un Soleil ardent, puis place entre l'astre et le miroir le vase de verre où est renfermée la substance, de telle sorte que les rayons solaires se réfléchissent du miroir en verre, comme le montre la figure 1. »

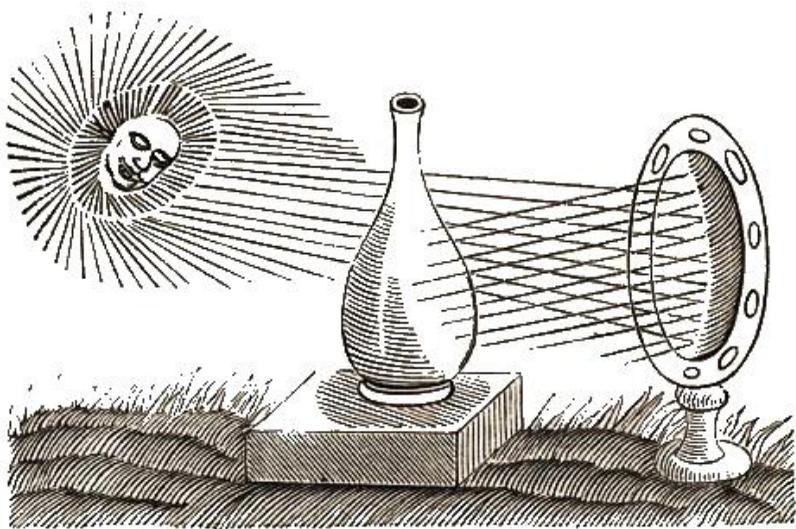


Fig. 1. — Miroir solaire représenté dans *l'Histoire naturelle* d'Adam Lonicer, en 1551.

Plusieurs savants construisirent ensuite de grands miroirs, avec lesquels on put fondre à distance des fragments des divers métaux.

Le débat engagé sur l'expérience d'Archimède, contestée par les uns acceptée par les autres, se trouva définitivement vidé par l'intervention de Buffon. Le miroir construit par le grand naturaliste était formé de 360 glaces portées par un châssis rectangulaire de 2,27 m de largeur sur 2,60 m de hauteur. Les glaces étaient séparées les unes des autres et mobiles en tous sens. Il fallait une demi-heure pour les disposer de manière à faire coïncider les diverses images qu'elles donnaient du Soleil. À 16 mètres, le foyer avait 0,16 de diamètre ; à 42 mètres, il avait 0,43.

Voici quelques-uns des résultats constatés par Buffon : « À 49 mètres, le 10 avril 1747, 128 glaces mirent le feu à une planche de sapin goudronnée. À 6,50 m, le 11 avril, 12 glaces enflammèrent des matières combustibles. Ces expériences démontraient la possibilité du fait attribué par les anciens à Archimède. Buffon serait arrivé encore à des résultats plus remarquables s'il se fut servi de miroirs de métal au lieu de miroirs étamés. »

Avant d'aborder les applications industrielles plus récentes, nous rappellerons d'abord quelques principes physiques relatifs aux propriétés des vitres, qui se laissent traverser par les rayons émanant du Soleil, mais qui retiennent et emprisonnent la chaleur obscure. Les serres en offrent un frappant exemple.

La Terre peut être considérée comme une serre chaude relativement aux espaces célestes, et c'est l'eau qui lui assure ce rôle. La vapeur dans l'atmosphère constitue l'écran remplaçant la vitre. La chaleur dans les organismes animaux et dans les machines sert à la diffusion de la force. La production du combustible à la surface du globe est encore l'œuvre du Soleil.

Les conditions propres à obtenir un récepteur de la radiation solaire seront donc les suivantes : 1° choisir un bon conducteur et le recouvrir de noir de fumée, pour obtenir l'absorption ; 2° le poser sur un corps isolant ; l'enfermer sous une ou plusieurs vitres, avec interposition d'une ou plusieurs couches d'air ; 3° concentrer les rayons solaires réfléchis par un miroir.

De Saussure, en 1767, avait construit l'héliothermomètre (thermomètre solaire) ; cet appareil comprenait une série de compartiments formés de couches d'air séparées par des lames de verre parallèles, étagées en cloisons à l'intérieur d'une caisse de bois. En exposant au Soleil la face de verre formant couvercle, on obtenait des températures croissantes à l'intérieur de chaque compartiment ; ces températures atteignaient quelquefois le point d'ébullition de l'eau. Ducarla perfectionna l'héliomètre de Saussure en le constituant de cloches de verre concentriques, en plaçant sous la dernière cloche un réservoir noirci, et enfin, en l'isolant à l'aide de mauvais conducteurs.

Il restait à étudier la radiation solaire. J. Herschell reconnut en 1834, au Cap de Bonne-Espérance, que l'effet calorifique d'un Soleil vertical au niveau de la mer suffisait à fondre une épaisseur de 0,1915 de glace par minute. Vers la même époque, Pouillet, par une autre méthode, trouvait qu'à Paris, le Soleil par un beau jour pourrait y fondre en une minute, une épaisseur de glace de 0,1786.

La radiation solaire est plus forte sur les montagnes que dans les plaines. L'atmosphère absorbe en partie l'effet de la radiation solaire ; suivant Forbes, dans nos climats, il ne nous arrive que les 0,53 du nombre des rayons émanant de l'astre. Plus on s'élève dans l'atmosphère, plus on est frappé du contraste entre l'ardeur du Soleil et le froid glacial de l'air à l'ombre. La même cause qui favorise l'intensité de la radiation (le défaut d'absorption) empêche aussi l'air de s'échauffer. Ce fait est bien connu des excursionnistes et des aéronautes. L'air humide est beaucoup moins perméable que l'air sec aux rayons du Soleil.

L'intensité de la chaleur solaire, d'après le P. Secchi, dans une même hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon, est deux fois plus grande au solstice d'hiver qu'au solstice d'été.

Les expériences de Pouillet indiquent que chaque mètre carré normalement exposé aux rayons du Soleil reçoit à Paris environ 10 calories par minute, ce qui correspond approximativement au travail d'un cheval-vapeur. Ce travail n'est pas utilisable actuellement sans une grande perte ;

néanmoins il faut reconnaître avec M. Mouchot qu'il y a là une source de force qui n'est pas à dédaigner.

Nous arrivons à présent aux recherches personnelles de M. Mouchot. Profitant de l'expérience de ses devanciers, il combine un réflecteur solaire composé : 1° D'un miroir ou réflecteur cylindrique en plaqué d'argent¹ ; 2° d'une chaudière en cuivre noirci installée au foyer du miroir, sur un corps mauvais conducteur ; 3° d'une seule cloche de verre ou d'un châssis vitré recouvrant la chaudière, afin d'y retenir comme dans un piège, les rayons du Soleil et ceux que rassemble le réflecteur.

Après avoir construit des appareils pour utiliser l'action des rayons solaires sur l'air confiné en vue de construire des machines industrielles, l'auteur aborda les applications culinaires. Dans ce domaine il a produit un dispositif remarquable dont nous lui empruntons la description.

« J'ai pris, dit-il, un bocal en verre dont la paroi latérale n'était guère plus épaisse qu'une vitre et dans lequel je pouvais facilement introduire un vase cylindrique en cuivre ou en fer battu, dont les bords s'appuyaient sur ceux du bocal, puis, j'ai mis sur le tout un couvercle en verre ; au foyer du réflecteur en plaqué d'argent, elle faisait bouillir en une

1 Les miroirs affectant la forme parabolique qui concentrent sur une ligne les rayons parallèles tombant sur la surface entière sont très parfaits et fort simples de construction. Les miroirs d'argent sont les plus propres à réfléchir la lumière, lorsqu'on les construit en plaqué d'argent ; leur prix reste très modéré. M. Mouchot préfère les miroirs aux lentilles ; celles-ci ayant l'inconvénient d'absorber une grande partie de la chaleur incidente.

heure et demie trois litres d'eau à la température initiale de 15° . Comme cette nouvelle chaudière était d'une forme assez commode, je m'en suis servi pour différents essais. Elle m'a permis, par exemple, de confectionner au Soleil un excellent pot-au-feu, formé d'un kilogramme de bœuf et d'un assortiment de légumes. Au bout de quatre heures d'insolation, le tout s'est trouvé parfaitement cuit, malgré le passage de quelques nuages sur le Soleil ; et le consommé a été d'autant meilleur que l'échauffement de la marmite s'était produit avec une grande régularité. Voici pour plus de clarté, fig. 2, le dessin de l'appareil mis en expérience :

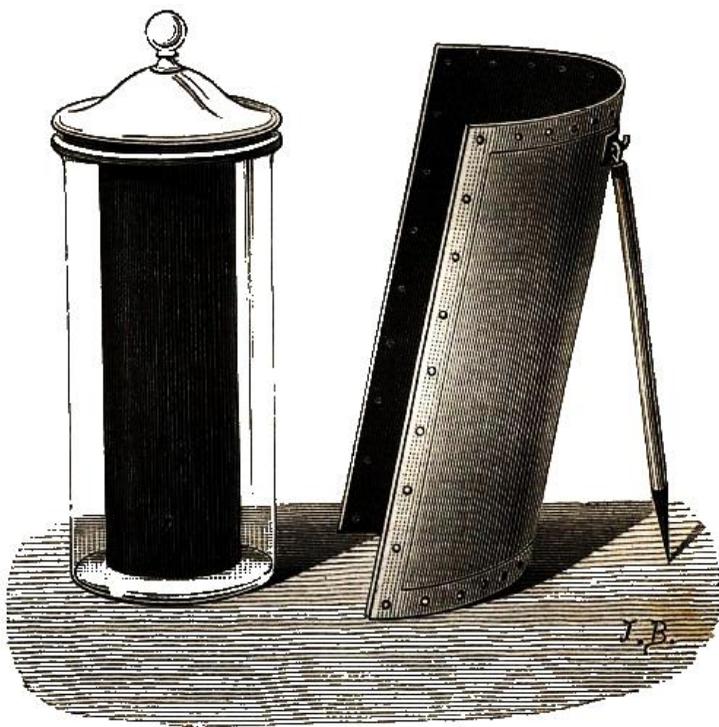


Fig. 2. — Marmite solaire de M. Mouchot, chauffée par un réflecteur en plaqué d'argent.

« Le cylindre extérieur est le bocal en verre ; le cylindre noir intérieur est le vase métallique noirci, dont les bords reposent sur les siens ; le tout est surmonté d'un couvercle en verre ; enfin, à la droite de la figure, on voit le réflecteur en plaqué d'argent. Comme je l'ai déjà dit, ce réflecteur est cylindrique : sa hauteur est de cinquante centimètres, sa base est un arc de cercle dont la corde a un mètre. Il est incliné de manière à concentrer les rayons du Soleil sur la marmite, et l'on juge, sans difficulté, que celle-ci est bien au foyer par la lueur qui se forme sur la paroi noircie.

Pour transformer cette même marmite en un four, il m'a suffi de couvrir la chaudière d'un disque de fer battu placé sous le couvercle en verre. J'ai pu de cette façon faire cuire en moins de trois heures un kilogramme de pain. Ce pain ne présentait aucune différence avec celui que donnent les fours de boulanger. Enfin, en remplaçant les deux couvercles par un chapiteau d'alambic à tête de Maure s'adaptant exactement à la chaudière, je me suis procuré, sans plus de frais, un appareil très propre à la distillation de l'alcool au Soleil. Le chapiteau ayant été mis en communication avec un serpentin plongé dans un courant d'eau froide, tandis que le vase métallique, contenant deux litres de vin, était placé dans le bocal, au foyer du réflecteur, j'ai recueilli l'alcool au bout de quarante minutes d'insolation. Comme l'appareil s'échauffait lentement et d'une manière continue, cet alcool était très concentré et possédait un arôme des plus agréables. En installant devant ce réflecteur une

broche garnie d'une pièce de bœuf, de veau ou de mouton, j'obtenais en moins de trois heures un rôti de très bonne apparence, et dont la cuisson ne laissait rien à désirer. Malheureusement il n'en était pas de même du goût que ces viandes avaient contracté, malgré leur fraîcheur ; les rayons chimiques de la lumière semblaient y avoir déterminé comme un commencement de fermentation putride ; les rôtis dans la préparation desquels entraient le beurre contractaient, dans les mêmes circonstances, un goût insupportable. Il est donc nécessaire d'éliminer en pareil cas les rayons chimiques, et l'on y parvient en plaçant devant la rôtissoire une vitre jaune ou rouge. »

Citons une autre forme de la marmite solaire, représentée fig. 3.

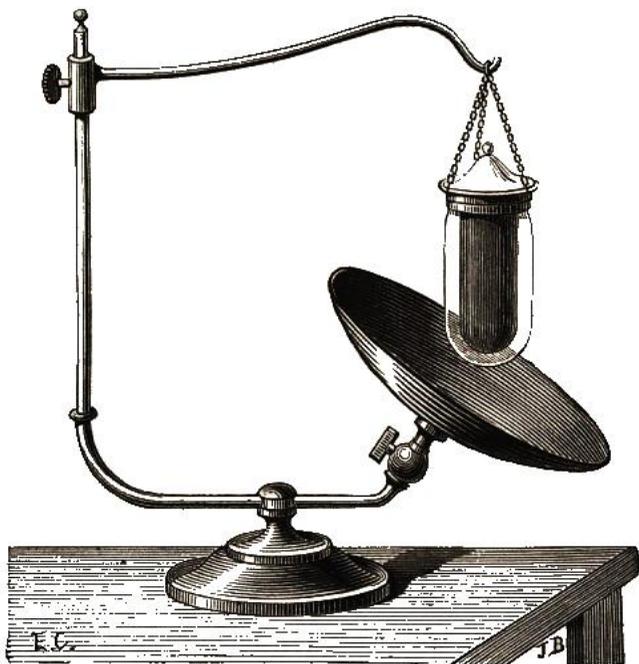


Fig. 3. — Autre disposition de marmite solaire.

« Un miroir sphérique de médiocre étendue est fixé par un genou à coquilles à l'une des branches du support qui doit soutenir la chaudière. Ce miroir peut donc être facilement dirigé vers le Soleil et maintenu dans une position qui lui permette de recevoir d'aplomb la chaleur incidente. À l'autre branche du support est fixée par une vis une tige mobile qui supporte la chaudière et permet de l'installer au foyer même du miroir. Quant à la chaudière elle-même, elle est formée d'un vase de verre ou de cristal surmonté de son couvercle et d'un autre vase noirci à l'extérieur et dont les bords reposent sur ceux du premier. »

Après avoir décrit ces premières expériences de M. Mouchot, nous ne croyons pas devoir aller plus loin sans passer en revue quelques antériorités, pour montrer l'importance qu'attribuaient à la solution du problème de l'utilisation de la chaleur solaire les plus remarquables chercheurs des temps anciens.

Héron d'Alexandrie (100 av. J.-C.) avait indiqué déjà une pompe solaire. Notons aussi qu'Héron, pour dévoiler une supercherie des prêtres de l'Égypte, décrit deux machines au moyen desquelles les portes d'un temple semblent s'ouvrir spontanément dès que le feu s'allume ou s'éteint sur l'autel. Ces appareils sont des applications simples des propriétés des gaz et des liquides. Porta, le savant napolitain (1550-1615), reprend l'application d'Héron, mais Torricelli n'est pas encore venu détruire la croyance dans l'horreur du vide, aussi les conceptions des physiciens se ressentent-

elles singulièrement du vague des notions scientifiques. Salomon de Caux (1576-1626), l'ingénieur français dont Arago a remis les travaux en lumière à propos des origines de la machine à vapeur, donne dans ses *Raisons des forces mouvantes*, publiées la première fois en 1615, la description de la première machine élévatoire fonctionnant à l'aide du Soleil. Ajoutons avec M. Mouchot, que Salomon de Caus, en désignant sa découverte sous le nom de fontaine continue, comprend fort bien que l'appellation de fontaine perpétuelle serait impropre, la machine n'étant pas la réalisation du mouvement perpétuel, puisqu'elle est mue par l'action des rayons solaires. Parmi les savants mêmes que nous aurons encore à citer, il en est qui ne se sont pas toujours élevés à des considérations aussi saines, et qui auraient pu faire leur profit des réflexions suivantes de notre auteur :

« Il y a plusieurs hommes lesquels se sont travaillés à la recherche d'un mouvement qu'ils ont appelé (sans le connaître) perpétuel ou sans fin, chose assez mal considérée et mal entendue, d'autant que tout ce qui a commencement est sujet à avoir une fin, et il faut appliquer ce mot perpétuel et sans fin à Dieu seul, lequel comme il n'a eu commencement, ne pourra aussi avoir fin ; tellement que c'est folie et orgueil aux hommes de se vouloir faire accroire de faire des œuvres perpétuelles, vu que eux-mêmes sont mortels et sujets à une fin, ainsi seront toutes leurs œuvres. »

Nous devons dire encore que Salomon de Caus indique à la fin de son ouvrage la construction d'un orgue solaire, et

qu'il essaie par là d'expliquer la tradition relative à l'antique statue de Memnon, dont les sons harmonieux saluaient chaque matin le retour du Soleil.

Martini, vers 1640, indique une application de la chaleur solaire pour faire marcher une horloge ; mais il reste dans le domaine de ses prédécesseurs, et la solution qu'il propose est incomplète. Il eut pour continuateur dans ce genre le jésuite allemand Kircher (1602-1680) ; les appareils que ce dernier construisit existent encore dans un musée de Rome.

Bélibidor (1697-1761), qui s'est illustré par « l'Architecture hydraulique », s'occupa aussi de perfectionner la fontaine continue de Salomon de Caus ; il la construisit et en donna une théorie conforme aux principes de la physique moderne.

Après avoir sommairement indiqué les essais infructueux que les anciens ont entrepris pour utiliser la chaleur du Soleil, nous pouvons aborder la description du moteur solaire récemment présenté à l'Académie par M. Mouchot. Rappelons-nous qu'une surface d'un mètre carré exposée normalement aux rayons du Soleil reçoit par minute environ 15 calories, soit par heure, 900 calories. La quantité de chaleur employée à faire marcher pendant une heure une bonne machine à vapeur de la force d'un cheval est d'environ 2 kilogrammes, dont la combustion représente 15.000 calories ; la moitié seulement, soit 7.500 calories, est effectivement employée à la vaporisation de l'eau. Puisqu'avec un mètre carré de surface on obtient 900 calo-

ries, un calcul facile montre qu'avec huit mètres carrés environ, on obtiendra les 7.500 calories requises pour développer le travail correspondant à un cheval-vapeur pendant une heure.

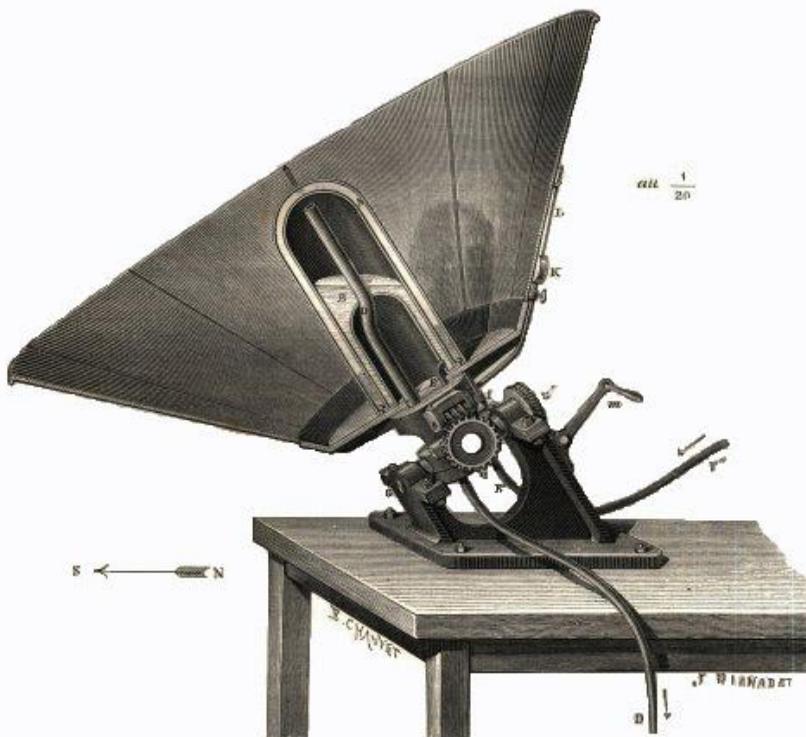


Fig. 4. – Générateur solaire de M. Mouchot.

A. Cloche en verre. – B. Chaudière annulaire. – D. Tube abducteur. – E. Tuyau d'alimentation. – F. Miroir conique en plaqué d'argent. – G. G' Arbre autour duquel s'effectue le mouvement d'Orient en Occident. – Engrenage réglant l'inclinaison de l'angle G. G' d'après le cours des saisons. – I. Soupape de sûreté. – K. Manomètre. – L. Niveau d'eau.

Le générateur solaire est représenté fig. 4 : le miroir a la forme d'un tronc de cône à bases parallèles, ou, si l'on veut, d'un abat-jour, tournant son ouverture vers le Soleil. La génératrice de ce tronc de cône fait avec l'axe un angle de 45 degrés ; c'est, comme l'a prouvé Dupuis au siècle dernier, la meilleure forme qu'on puisse donner à ces sortes de miroirs, parce que les rayons incidents parallèles à l'axe se réfléchissent alors normalement à cet axe, et donnent un foyer d'intensité maximum pour une même ouverture du miroir, la paroi réfléchissante se compose de douze secteurs, en plaqué d'argent, supportés par un châssis de fer dans lequel ils glissent à coulisse. Cette disposition permet d'enlever chaque secteur pour le nettoyer et, par suite, de substituer au plaqué d'argent le laiton poli qui produit le même effet. Le diamètre d'ouverture du miroir est de 2,60 m ; celui du fond est de 1 m, d'où il suit que la surface d'insolation normale de l'appareil est de 4 mètres carrés.

Le fond du miroir est un disque en fonte ajusté pour diminuer l'effet du vent. Au centre de ce disque s'élève la chaudière, dont la hauteur est celle du miroir. Elle est en cuivre, noircie extérieurement, et se compose de deux enveloppes concentriques, en forme de clocher, reliées à leur base par une bride de fer. La plus grande enveloppe a 80 centimètres de haut, la plus petite, 50 centimètres ; leurs diamètres respectifs sont de 28 et 22 centimètres. L'eau d'alimentation se loge entre ces deux enveloppes, de manière à former un cylindre annulaire de 5 centimètres d'épaisseur. Le volume du liquide ne doit guère excéder

20 litres, afin de laisser 10 litres environ pour la chambre de vapeur.

L'enveloppe interne reste vide ; elle est terminée par un tube de cuivre, qui s'ouvre d'un côté dans la chambre de vapeur, et communique, de l'autre, par un tuyau flexible, soit avec le moteur, soit avec le fourneau d'un alambic. Un second tuyau flexible, partant du pied de la chaudière, sert à l'alimentation. Enfin, sur la conduite de vapeur sont fixés les appareils de sûreté.

Quant à l'enveloppe de verre, c'est une cloche de 85 centimètres de haut sur 40 centimètres de diamètre et 5 millimètres d'épaisseur. Elle laisse donc un intervalle constant de 5 centimètres entre ses parois et celles de la chaudière, et n'est adhérente que par son pied au fond du miroir.

« Ainsi disposé, le générateur doit tourner de 15 degrés par heure, autour d'un arbre parallèle à l'axe du monde, et s'incliner graduellement sur cet arbre, eu égard à la déclinaison du Soleil.

« Pour atteindre ce double but, l'appareil s'appuie par des tourillons sur un arbre perpendiculaire à leur axe, et cet arbre forme, du nord au sud, avec l'horizon, un angle égal à la latitude du lieu. De là résultent deux mouvements, qui permettent au générateur de suivre le cours du Soleil, quelle que soit la position apparente de ce dernier. Ces deux mouvements s'effectuent chacun au moyen d'un engrenage à vis sans fin et n'exigent qu'un coup de manivelle, le premier de demi-heure en demi-heure, le second tous les huit jours. Le

mouvement d'orient en occident peut même, sans trop de dépense, devenir automatique. »

L'appareil que nous venons de décrire n'a jusqu'ici fonctionné qu'au soleil de Tours. Voici quelques-uns des résultats précis qu'il a fournis à diverses époques :

Le 8 mai, par un beau temps ordinaire, 20 litres d'eau à 20 degrés, introduits dans la chaudière à 8 h 50 du matin, ont mis, après purge d'air, quarante minutes pour produire de la vapeur à deux atmosphères, c'est-à-dire à 121 degrés. Cette vapeur s'est ensuite élevée rapidement à la pression de 5 atmosphères, limite qu'il eût été dangereux de franchir, malgré la régularité de chauffe, les parois de la chaudière n'ayant que 5 millimètres d'épaisseur et l'effort total supporté par ces parois étant alors de 40.000 kilogrammes. Vers le milieu du jour, avec 15 litres d'eau dans la chaudière, la vapeur à 100 degrés s'élevait en moins de quinze minutes à la pression de 5 atmosphères, ou, en d'autres termes, à la température de 155 degrés.

Le 22 juillet, vers une heure de l'après-midi, par une chaleur exceptionnelle, l'appareil a vaporisé 5 litres par heure, ce qui répond à un débit de vapeur de 140 litres par minute.

Faute d'un moteur approprié à l'appareil, M. Mouchot s'est d'abord servi d'une grande machine de démonstration, sans détente ni condenseur, dont le corps de pompe était d'un tiers de litre. Cette machine battait, par un beau temps, 80 coups à la minute, sous pression constante d'une atmosphère effective : elle marchait encore par un Soleil légèrement voilé. Tout récemment, il la remplaça par une petite

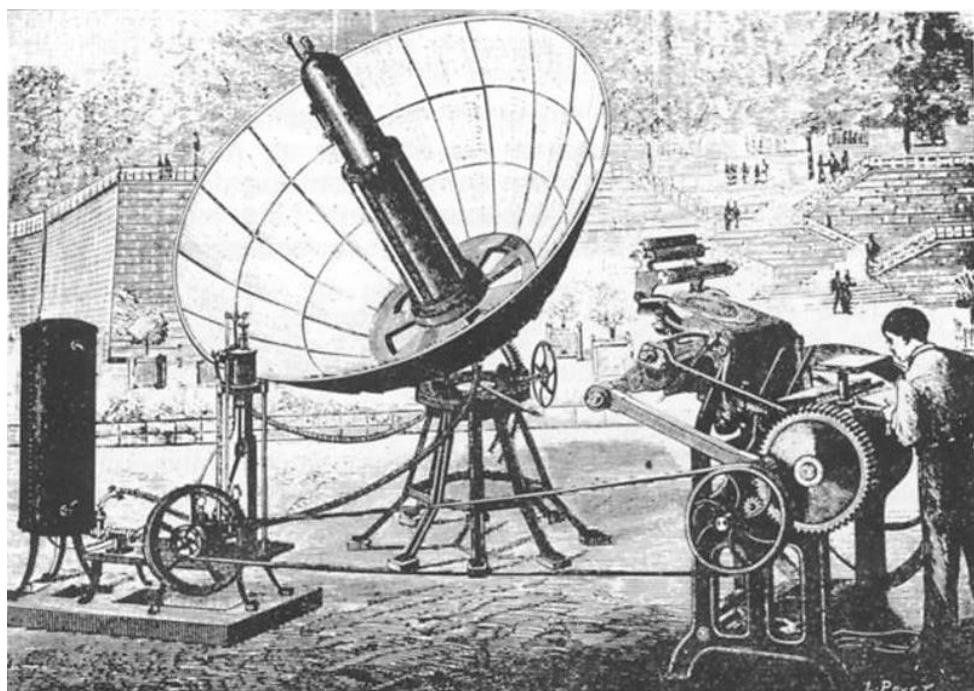
machine rotative Behrens ; celle-ci fonctionnait à merveille et faisait marcher à grande vitesse une pompe élévatoire, qui s'est trouvée trop faible pour le générateur et s'est disloquée.

Enfin, il a suffi de faire arriver la vapeur de l'appareil dans un fourneau surmonté d'un alambic pour distiller 5 litres de vin dans un quart d'heure. Cette même vapeur cuisait rapidement, et en abondance, les légumes, la nourriture du bétail, etc.

Des résultats qui précèdent, on peut conclure que l'appareil utilise, en moyenne, dans nos régions, de de 8 à 10 calories par minute et par mètre carré. Ce n'est là, toutefois qu'une approximation, parce que l'intensité de la chaleur réfléchie allant constamment en croissant de la base au sommet de la chaudière, la température de celle-ci n'est pas uniforme. Encore est-il bon d'ajouter que les lames de plaqué, n'ayant qu'un quart de millimètre d'épaisseur, n'envoient à la chaudière, à cause de leurs boursoufflures, qu'une trop faible partie de la chaleur incidente.

Nous terminerons en concluant, avec M. Mouchot, que cette application de la chaleur solaire, intéresse au plus haut point l'avenir des contrées où le ciel reste longtemps pur, et dont le Soleil est la plus précieuse ressource.

Charles Bontemps



Utilisation de la chaleur du Soleil. Imprimerie solaire¹

Nos lecteurs connaissent déjà les curieux générateurs solaires de M. Mouchot et les remarquables expériences qui ont été exécutées par cet ingénieux physicien dans le but de mettre à profit cet immense réservoir de chaleur et de force motrice : le Soleil. M. Abel Pifre, ingénieur, a récemment repris les travaux de M. Mouchot², et il a construit sur les mêmes principes que ceux dont son prédécesseur avait fait la base de ses appareils, un *insolateur* qui recueillant la chaleur des rayons solaires au foyer d'un miroir, la transforme en mouvement mécanique.

Lors de la fête de l'*Union française de la jeunesse*, organisée le dimanche 6 août dans le Jardin des Tuileries, à Paris, on a pu voir les derniers perfectionnements des générateurs solaires de M. Pifre consacrés par une remarquable expérience.

Un insolateur mesurant 3,50 m de diamètre à l'ouverture du réflecteur, avait été dressé dans le jardin, près du grand

¹ *La Nature*, n° 482, 26 août 1882, p. 193.

² Voir l'article de Charles Bontemps issu de *La Nature*.

bassin, au bas de la rampe du Jeu de Paume. La vapeur obtenue dans la chaudière que porte le réflecteur en son foyer, était utilisée par un petit moteur vertical d'une force de 30 kilogrammes, lequel actionnait une presse Marinoni.

Quoique le Soleil ne fût pas très ardent et que la radiation fût gênée par des nuages fréquents, la presse a pu fonctionner avec régularité entre une heure de l'après-midi et cinq heures trente minutes, en donnant un tirage moyen de cinq cents exemplaires à l'heure, d'un journal spécialement composé pour la circonstance : *Soleil-Journal*.

Ce n'est pas une révolution dans l'art de l'imprimerie ; mais le résultat est suffisant pour qu'on puisse juger des services que pourront rendre les *insolateurs* sous des latitudes soumises à une radiation à la fois plus vive et plus constante.

Nous n'avons pas voulu laisser passer cette belle expérience sans en conserver le souvenir. Notre gravure en représente fidèlement les dispositions : l'insolateur de M. Abel Pifre est représenté au milieu du dessin, avec son grand miroir parabolique ; la machine que ce générateur actionne est figurée à côté, tandis que sur le premier plan, à droite, on voit la presse Marinoni opérer le tirage du journal. Il nous paraît évident que dans les pays chauds, l'*héliodynamique* doit trouver parfois un utile et économique emploi.

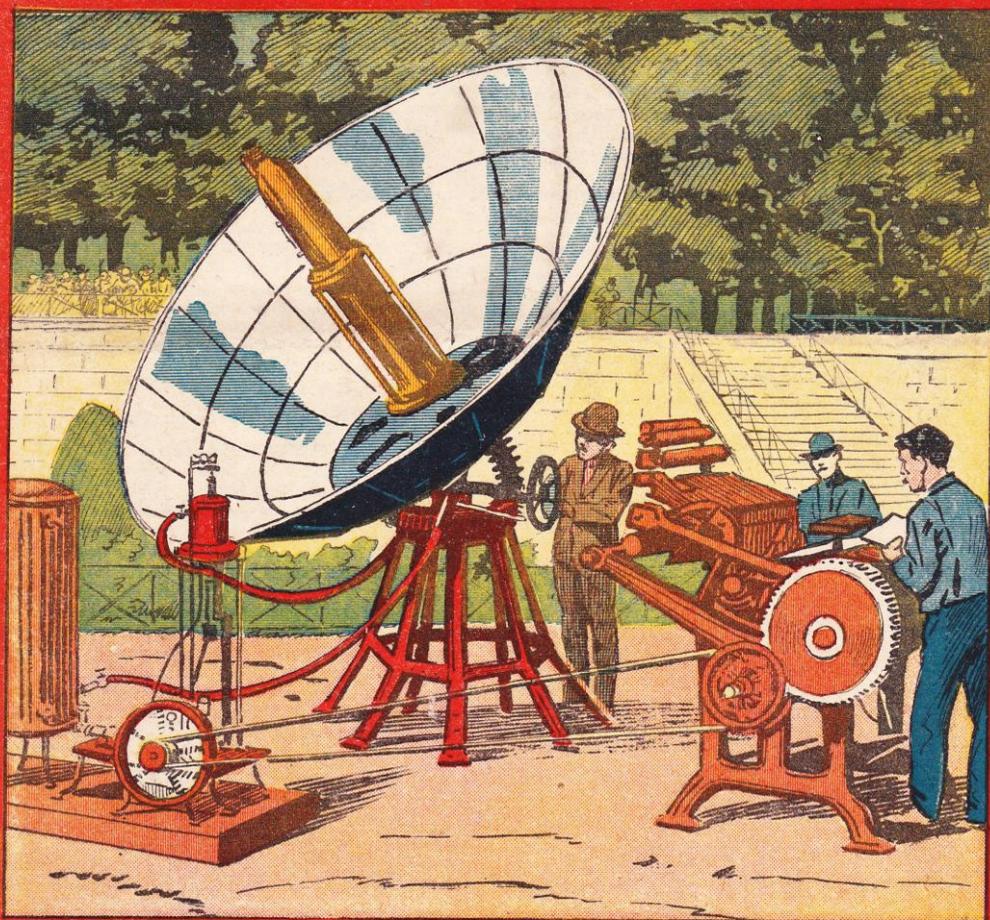
Gaston Tissandier

Albin MICHEL
ÉDITEUR
22, rue Huyghens, 22
PARIS (14^e)

ABONNEMENTS :
FRANCE 12 francs
ÉTRANGER.. 18 francs

LE PETIT INVENTEUR

L'UTILISATION DE LA CHALEUR SOLAIRE



L'appareil de Mouchot, permettant de récupérer directement la chaleur du soleil.

L'utilisation de la chaleur du Soleil

Le Soleil réchauffe la Terre en lui envoyant ses rayons et la chaleur qui se trouve ainsi, chaque année, envoyée à notre globe, correspond à la combustion d'une couche de charbon d'une épaisseur de 25 centimètres qui recouvrirait la Terre complètement.

Récupération directe

On a songé, depuis longtemps, à récupérer cette chaleur du Soleil pour la transformer en force motrice. Les premières expériences sont déjà anciennes et ce fut Mouchot qui, le premier, imagina de constituer un miroir creux qui concentrerait les rayons provenant du Soleil, sur une chaudière de petit volume contenant de l'eau. Celle-ci ne tardait pas à bouillir et à produire de la vapeur qu'il était possible d'utiliser pour actionner une machine.

Quelque temps après Pifre étudia un appareil ; d'autres inventeurs réalisèrent également des dispositifs analogues et en Égypte, on utilisa même une série de longs miroirs parallèles, qui réchauffaient l'eau contenue dans des tubes. Plus récemment, le physicien Abbott, aux États-Unis, a

construit une marmite solaire qui fonctionne par une circulation d'huile réchauffée et qui donne d'excellents résultats.

On conçoit que ces moyens de capter la chaleur solaire n'ont qu'une puissance limitée. Il est impossible de couvrir toute une contrée avec une série de miroirs, la dépense serait hors de proportions avec les résultats obtenus ; de plus ces installations ne peuvent se faire que dans des régions constamment ensoleillées et elles ne sauraient fonctionner les jours où le Soleil est obscurci pour une raison quelconque.

L'ingénieur Claude cherche depuis plusieurs années à utiliser la chaleur du Soleil et à la capter dans des appareils susceptibles d'avoir un rendement intéressant. Il eut l'occasion d'être en rapport avec M. Paul Boucherot qui est l'un de nos plus éminents électriciens. Leurs études et leurs essais les ont amenés à penser qu'il ne faut pas compter utiliser directement les rayons du Soleil mais récupérer la chaleur qu'ils fournissent dans les effets qu'ils déterminent sur les éléments terrestres.

En considérant la température relativement élevée des mers tropicales qui atteint 28° , il est possible, si l'on se trouve dans un milieu à température plus basse, de récupérer les calories que représente la différence des températures d'eau, à l'entrée et à la sortie d'un appareil alimenté par l'eau à 28° des mers tropicales.

On pourrait évidemment récupérer ces calories en réchauffant des liquides, mais cela ne présente qu'un médiocre intérêt au point de vue de la production de la force motrice. Le seul moyen pratique est d'utiliser la vapeur qu'il est naturellement très difficile d'obtenir avec de l'eau, dont la température est seulement de 28° , très éloignée de la température normale d'ébullition 100° .

Les deux savants ont tourné la difficulté de la façon suivante en comptant utiliser également l'eau profonde des mers tropicales.

L'ébullition par le vide

Lorsque le Soleil maintient la surface à 28° , le fond de la mer reste à une température voisine de 4° , qui correspond au maximum de densité de l'eau. Les courants profonds emportent jusque sous l'Équateur l'eau glacée qui provient des banquises des pôles et les couches d'eau s'étagent suivant leur densité. L'eau la plus lourde, à 4° , reste au fond à une profondeur d'un millier de mètres. On dispose donc d'eau à une température de 4° que l'on emploiera dans l'appareil alimenté, d'autre part, par de l'eau à 28° .

Malgré cette température très éloignée du point d'ébullition, il est possible de faire bouillir l'eau et d'obtenir un dégagement de vapeur ; car, si l'on fait le vide dans la chaudière, la température d'ébullition de l'eau s'abaisse d'autant plus que le vide est plus parfait.

À 100° , l'eau bout sous la pression atmosphérique, c'est-à-dire à l'air libre. Si la chaudière est fermée par des soupapes chargées de poids, comme sur les chaudières à vapeur ordinaire, les locomotives, la température d'ébullition s'élève et, à 180° par exemple, la vapeur se dégage sous une pression égale à 10 fois la pression atmosphérique.

Si l'on fait le vide, au contraire, dans la chaudière au moyen d'une pompe à air, on baisse la température d'ébullition de l'eau, mais, par contre, l'on obtient de la vapeur dont la pression est excessivement faible. Si la température d'ébullition n'est que de 28° , cette pression tombe jusqu'à $3/100$ d'atmosphère, c'est-à-dire $3/100$ de la pression atmosphérique.

Il est difficile alors d'utiliser cette vapeur dans une machine, mais dans leurs expériences, MM. Boucherot et Claude constatèrent qu'un disque de turbine à vapeur interposé sur le trajet de la vapeur qui s'échappait de la chaudière tournait à une vitesse de 5.000 tours par minute.

Un résultat inattendu

Ils avaient fait cette expérience par curiosité et n'avaient que peu d'espoir de produire, avec une tension de vapeur aussi faible, une force motrice aussi importante. Chaque kilo de cette vapeur à tension infime, 700 fois plus petite que celle de la vapeur des chaudières usuelles à 20 atmosphères, produit pourtant un travail seulement quatre fois moindre.

Dès lors, on pouvait envisager l'utilisation industrielle des eaux chaudes des mers tropicales et penser à aménager des usines susceptibles de produire à bon compte la force motrice.

Les deux chercheurs renouvelèrent l'expérience devant l'Académie des Sciences, en utilisant une petite turbine entre deux vases dont l'un était garni d'eau à 28° et l'autre de glace, le vide étant fait dans l'appareil au moyen d'une machine pneumatique. Le courant de vapeur passait du premier vase au second et la turbine se mettait à tourner, actionnant une petite dynamo qui allumait trois petites lampes électriques.

Il est assez curieux de constater qu'après une communication de cette importance, plusieurs chercheurs signalèrent qu'ils avaient en leur temps étudié cette question. Tout d'abord des ingénieurs italiens avaient eu une idée analogue en 1922, mais ils pensaient utiliser la chaleur de l'eau pour chauffer des récipients contenant un liquide dont la température d'ébullition est très faible, par exemple l'ammoniaque.

D'autre part, des essais d'installation ont été réalisés, il y a quelques années, pour chercher à récupérer la température des eaux de condensation des chaudières ordinaires. D'autres ont pensé mettre à profit la température des sources thermales chaudes, mais il faut convenir que MM. Boucherot et Claude ont seuls eu l'idée d'utiliser le

vide pour obtenir de la vapeur d'eau à 28° et s'en servir pour actionner une turbine sans passer par l'intermédiaire de liquides très volatils.

Verrons-nous bientôt la réalisation pratique d'une installation de ce genre ?

Il est évident qu'elle présente un certain nombre de difficultés. L'usine peut être installée sur la côte, à condition qu'un tube communique avec les eaux profondes, à une température de 4°, pour alimenter le récipient, où la vapeur doit se condenser. L'eau à 28° de la surface est amenée par un autre tube aux générateurs de vapeur ; des pompes y font le vide.

Si le principe est simple, il faut convenir que les installations pour le mettre en œuvre sont relativement complexes.

On envisage aussi l'installation d'une usine sur une sorte d'île flottante portant le tube de 1.000 mètres devant plonger au fond de la mer. Cette usine comporterait les turbines et les machines génératrices du courant électrique, qui serait ensuite transmis au continent au moyen de câbles sous-marins.

Il est évident que des installations de ce genre exigent des capitaux importants, mais on trouve que le prix d'installation est tel que l'énergie électrique produite reviendrait seulement à 10 centimes le kilowatt-heure, ce qui est très

inférieur au prix de l'énergie produite actuellement dans les diverses usines.

MM. Boucherot et Claude ont même songé à installer une usine submersible, fonctionnant alors avec un liquide volatil intermédiaire, de sorte que l'installation ne serait pas à la merci des tempêtes et des fortes vagues. Enfin, on pourrait utiliser l'eau froide sortant des appareils de condensation pour rafraîchir les contrées tropicales avec des radiateurs frigorifiques.

Il est probable, en tout cas, qu'une installation d'essai à allure industrielle sera faite en utilisant l'eau sortant des condenseurs des grandes usines, par exemple celle de la station centrale de Gennevilliers.

Les condenseurs sont, en effet, traversés par 9 mètres cubes d'eau à la seconde et l'eau sort à une température de 28°. En hiver, la Seine voisine fournirait l'eau à 4° nécessaire.

D'après les résultats obtenus, on pourrait alors envisager la création d'usines côtières dans des régions tropicales, peut-être même en France dans les Landes, près de la fosse marine du Cap Breton, à condition de forer des puits profonds à 2.000 mètres, où l'on ferait circuler de l'eau qui remonterait à la surface à une température d'au moins 40°.

Ainsi une expérience de physique relativement élémentaire, faite par d'illustres savants, servira peut-être quelque

jour à la solution du problème de la force motrice, en dehors de l'utilisation des combustibles solides ou liquides.

Certains craignent et prédisent l'épuisement de ces derniers, sans penser que la science toujours en marche amène fatalement des remplaçants nouveaux, pratiques et souvent imprévus.

E.-H. Weiss

Bibliographie et sources

Augustin Mouchot (1825-1911), *La Chaleur solaire et son application industrielle*, Paris, Gauthier-Villars, 1869.

Le Génie industriel, 1^{er} semestre 1869, pp. 217-218.

Charles Bontemps, « La machine solaire de M. Mouchot », *La Nature*, n° 482, 15 janvier 1876, p. 102.

Édouard Fournier, *Le Vieux-Neuf, Histoire ancienne des inventions et découvertes modernes* (Paris, E. Dentu, 2^e éd. 1877, 3 vol.).

Gaston Tissandier, « Utilisation de la chaleur du Soleil. Imprimerie solaire », *La Nature*, n° 482, 26 août 1882, p. 193.

E.-H. Weiss, *Le Petit Inventeur*, n° 2, Albin Michel, 1927, pp. 24-25.

François Jarrige, « Mettre le Soleil en bouteille : les appareils de Mouchot et l'imaginaire solaire sous la Troisième République », *Romantisme*, n° 150, avril 2010, pp. 85-96.

*

Les illustrations de la carte de visite et de la couverture du *Petit Inventeur* ont été aimablement fournies par Paléo-Énergétique.

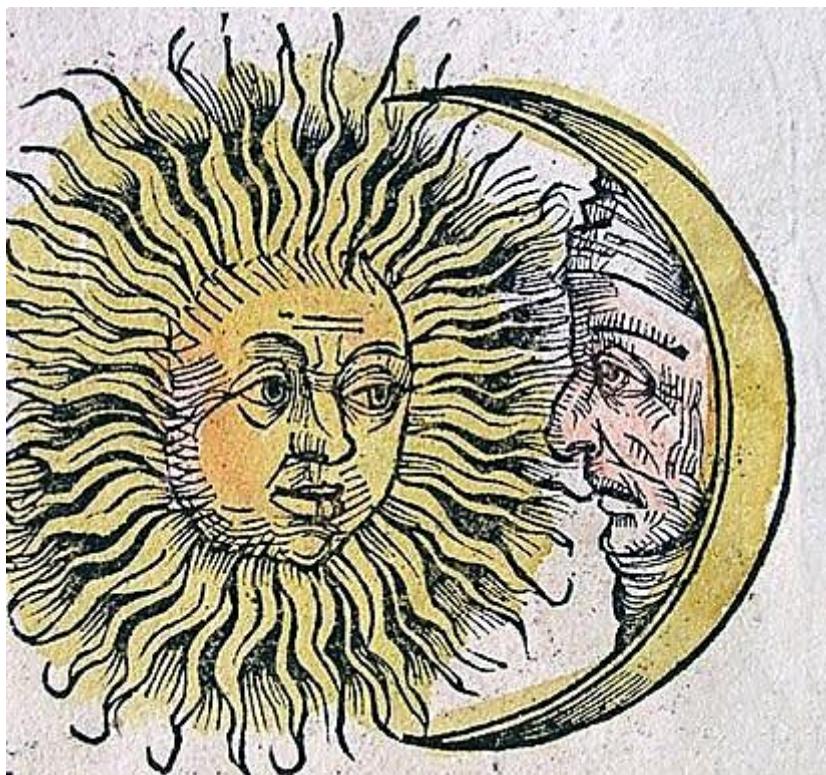
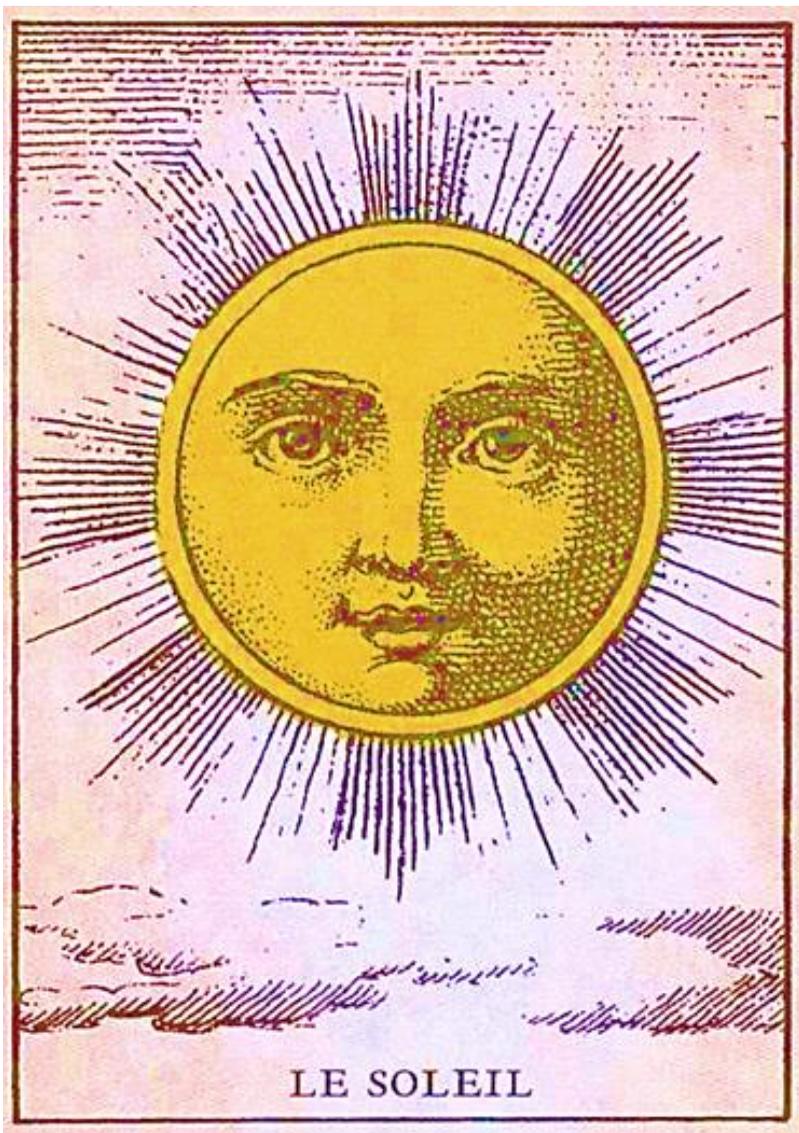


Table des matières

Promouvoir le Soleil, préface d'Éric Dussert	6
Utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire (28 août 1878)	13
Les récepteurs solaires (1878)	38
Compte rendu de la communication d'Augustin Mouchot à l'Académie des Sciences (1869)	55
Charles Bontemps, La machine solaire de M. Mouchot (1876)	58
Gaston Tissandier, Utilisation de la chaleur du Soleil. Imprimerie solaire (1882)	77
E.-H. Weiss, L'utilisation de la chaleur du Soleil (1927)	80
Bibliographie et sources	88

Ce livre est une production Livroscope.
Il vous est offert par ses éditeurs,
Éric Dussert et Fabrice Lefaix, en collaboration avec
Paléo-Énergétique et les Éditions l'Œil d'Or.

– MMXV –



LIVROSCOPE

À paraître en 2016 :

Maurice BEAUBOURG

- *Les Joueurs de boules de Saint-Mandé*
- *La Saison au Bois de Boulogne*

Robert CAZE

La Semaine d'Ursule

P. DATZ

Histoire de la publicité, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours

DELPHI-FABRICE

- *Outre-Fortifs, impressions de banlieue*
- *L'Opium à Paris*

Claude Marie GIRAUD

Épître du diable, à Monsieur de Voltaire, avec des notes historiques

Émile GOUDEAU

Paris qui consomme

Marie de LA HIRE

Modèle nu, suivi de Francis Picabia

Gabriel de LAUTREC

Souvenirs des jours sans souci

Jean-François Louis MERLET

– *Pourriture dorée*

– *De minuit au petit jour*

Francisque MONNET

Une Histoire au-dessus du crocodile

Julien ONFRAY DE LA METTRIE

Vénus Métaphysique, ou essai sur l'origine de l'âme humaine

Clément PANSAERS

Résurrection

Choix de textes, inédits en volume

Gaston de PAWLOWSKI

– *Voyage au pays de la quatrième dimension*

– *Inventions nouvelles et dernières nouveautés*

Jacques RIGAUT

Écrits

Édition présentée par Jean-Luc Bitton

Friedrich von SCHILLER

Lettres sur l'éducation esthétique de l'homme

Édition présentée par Christophe David

Charles VIRMAÎTRE et Henri BUGUET

Paris croque-mort

H. G. WELLS

Le Nouvel Accélérateur

Traduction inédite de Pascal Neveu

