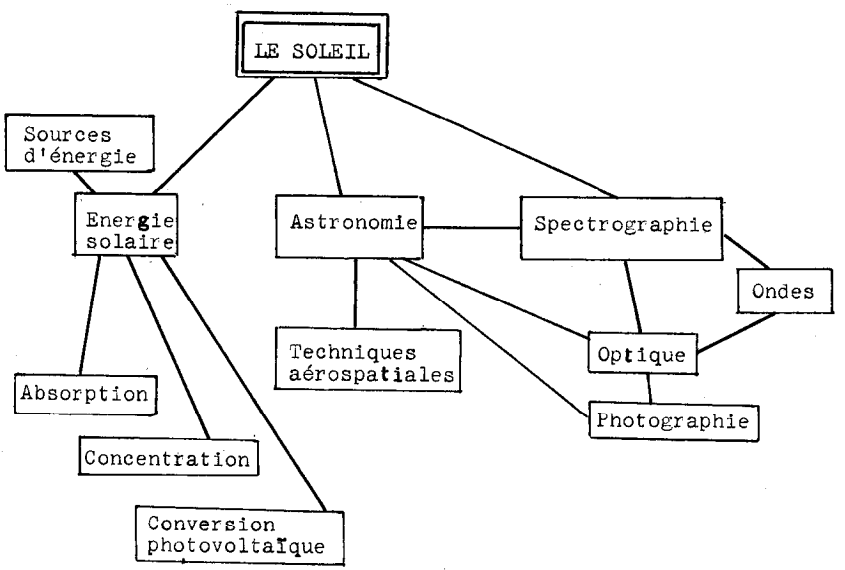
Cure de soleil (*)

par Anne-Marie Louis,
Lycée de la Plaine de Neauphle, Trappes.

Avis : *Si vous vous sentez une âme de plombier, vous n'êtes pas concerné par cet article. Il est destiné à tous ceux (toutes celles... ?) qui ont envie de faire manipuler leurs élèves sans passer leurs dimanches à faire des soudures !*

L'étude de l'Energie Solaire en Première littéraire permet d'aborder un certain nombre de domaines de la Physique figurant précisément dans les thèmes prévus au programme. L'objectif fixé ici n'est pas de traiter ces thèmes intégralement mais d'en faire une approche expérimentale aussi simple que possible.

Tableau :



(*) *N.D.L.R. :* Cet article décrit des séquences de travaux pratiques d'une durée de deux heures correspondant à des manipulations prévues pour des élèves des classes de première A et B. Mais le niveau en est tout à fait adapté à la classe de troisième et moyennant quelques modifications et aménagements d'horaires, il peut être très utile aux professeurs de sciences physiques enseignant dans cette classe.

On pourra, pour l'aspect théorique, se reporter avec grand profit, à l'article de Anne Joussen-Lenoir, paru dans le B.U.P. n° 660, de janvier 1984, intitulé : « Et les photopiles ? »

L'ordre choisi n'est déterminé que par un seul paramètre : le temps qu'il fait le jour de la séance. Au fil des semaines se succèderont donc des séquences « beau temps » et des séquences « mauvais temps », avec une articulation certes un peu aléatoire, mais bien préférable à la simulation, particulièrement antipédagogique. En effet, il est toujours possible de remplacer le rayonnement défaillant par quelques lampes électriques ; les élèves voient mal l'intérêt mais comprennent fort bien que les watts solaires ne peuvent pas prétendre remplacer un jour les watts nucléaires ou fossiles ! Le débat peut alors devenir délicat, surtout si tout le monde connaît vos prises de position sur le nucléaire...

Si ce thème débute l'année scolaire, je propose aux élèves un questionnaire en guise de prise de contact. Il me permet d'éveiller leur curiosité sans en dire trop.

Questionnaire.

Surtout pas de titre !

1) Quelle est l'étoile la plus proche de la Terre ?
Elle est située à :
   a) 380 000 km ?
   b) dix mille milliards de km ?
   c) 150 millions de km ?

2) L'énergie du Soleil et des étoiles provient :
   a) de l'agitation d'un métal en fusion ?
   b) de la fusion thermonucléaire des atomes d'hydrogène ?
   c) d'explosions volcaniques ?

3) Si le Soleil s'éteignait subitement, nous nous en apercevrions :
   a) après 3 minutes ?
   b) après 8 minutes ?
   c) 12 secondes auparavant, en vertu de la relativité ?

4) Une année de lumière (a. l.), c'est :
   a) une unité de temps ?
   b) une unité de distance ?
   c) une année durant laquelle les éruptions solaires sont particulièrement fréquentes.

5) Il y a éclipse :
   a) de Lune
   b) de Soleil

α) quand la Lune passe entre la Terre et le Soleil ?
β) quand le Soleil passe entre la Terre et la Lune ?
γ) quand la Terre passe entre le Soleil et la Lune ?

6) Actuellement, le diamètre du Soleil est :

7) Le Soleil deviendra :
a) une géante rouge ?
b) une naine blanche ?
c) un pulsar ?
d) un trou noir ?

8) Ses « réserves » d'hydrogène dureront environ :
a) 200 ans ?
b) 4 milliards d'années ?
c) toujours ?

9) Un fer à repasser rayonne :
a) dans le domaine visible ?
b) dans l'ultraviolet ?
c) dans l'infrarouge ?

10) Mêmes questions pour le Soleil.

11) Les radiations qui « bronzent » sont :
Les radiations qui « chauffent » sont :

12) La température de la surface du Soleil est :
a) 5 500 K ?
b) 600 000 K ?
c) 90 millions de degrés ?

13) Parmi ces sources d'énergie, quelles sont celles qui ne proviennent pas du Soleil ?

Energies
— Tourbe
— Charbon
— Pétrole
— Gaz naturel
— Uranium

Energies
— Hydraulique
— Eolienne
— Solaire
— Géothermique
— Marémotrice
— Biomasse

14) Citez des exemples où l'énergie solaire est :
a) captée ?
b) concentrée ?
c) convertie ?

15) En un jour, le territoire français reçoit, sous forme d'énergie rayonnée par le Soleil, l'équivalent des besoins de la France pour :

a) une heure ?

b) une journée ?

c) une année ?

16) Nom du premier four solaire français :

a) Montségur ?

b) Mont-Louis ?

c) Odeillo ?

17) Vrai ou faux : En 1792, LAVOISIER a atteint 2 000 °C avec son four solaire ?

18) Thémis est :

a) un organisme pour la promotion du chauffage solaire ?

b) une centrale solaire dans l'espace ?

c) une centrale solaire expérimentale non loin d'Odeillo ?

19) La biomasse, c'est :

a) la matière en fusion au centre de la Terre ?

b) une alimentation qui ne fait pas grossir ?

c) une masse de végétaux dans laquelle est stockée de l'énergie ?

20) Un cycliste peut fournir une puissance de :

a) 6 W ?

b) 400 W ?

c) 3 000 W ?

Les questions 1) *à* 8) *justifient une étude du Soleil en tant qu'étoile :*

— *Ses différentes zones : noyau convectif, photosphère, chromosphère, couronne ;*

— *Températures et dimensions ;*

— *Taches solaires et protubérances : l'activité du Soleil ;*

— *Evolution du Soleil.*

Remarque au sujet des questions 5) et 6) :

Même si les élèves ont évité le piège de la réponse β), ils n'ont pas forcément vu que cette proposition était impossible.

Le diamètre du Soleil est environ 1 400 000 km. Voici un « truc » pour s'en souvenir : tapez sur votre calculatrice 713 705. Retournez la calculatrice et vous lirez,... le nom de l'étoile qui a pour rayon 713 705 km, enfin à peu près ! Je n'ai rien inventé, et d'ailleurs beaucoup d'élèves connaissent. Profitons-en pour représenter sur un même dessin, à une échelle de 1 cm pour 100 000 km, la Terre et la Lune, en respectant diamètres et distance, puis le Soleil, englobant par exemple les deux corps précédents. (On peut se demander où on le mettrait si on devait le placer à la distance convenable.)

TRAVAUX PRATIQUES

1re SEQUENCE « BEAU TEMPS » (2 heures).

Idéal de pouvoir commencer par-là dès la première séance en groupes : élèves heureux de travailler dehors, professeur comblé, surtout si les thermomètres montent. En général, le mois de septembre est bien ensoleillé (du moins en 1982 et 1983 !) ; seul, le vent peut compromettre les expériences d'échauffement.

Expérience 1 : Observation du Soleil à l'aide d'une petite lunette astronomique.

ATTENTION : NE JAMAIS REGARDER LE SOLEIL A TRAVERS LA LUNETTE, MÊME AVEC UN FILTRE. PROJETER L'IMAGE DU SOLEIL SUR UN ÉCRAN BLANC (papier).

Les élèves « pointent » la lunette vers le Soleil et font la mise au point pour avoir une image nette, améliorée éventuellement en diaphragmant. Il est possible d'observer des *taches solaires* et de suivre leur évolution d'un jour à l'autre (travail avec deux classes et comparaison des relevés : c'est une suggestion).

Ils essaient ensuite d'obtenir la plus petite image possible du Soleil. Ils peuvent mettre en évidence la *concentration* de l'énergie en remplaçant l'écran par un thermomètre ou (plus convaincant)... leurs doigts, ou leurs stylos, qu'ils font fondre avec une joie sans mélange !

La possibilité d'un échauffement ayant ainsi été mise en évidence, nous envisageons alors une récupération moins ponctuelle de l'énergie. « Chauffer de l'eau » sera notre objectif. Deux méthodes dont l'une, non directive, est basée sur la redécouverte. Certains collègues font cela très bien, et leurs élèves ont des tas de bonnes idées. Bon. J'opte pour la deuxième méthode, directive, proposant des expériences à réaliser.

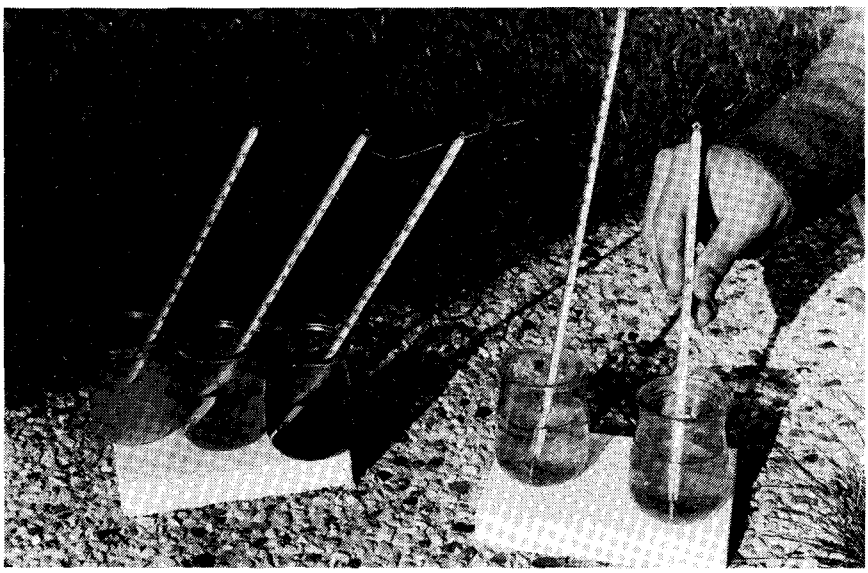
Pendant que les solutions chauffent, une élève teste sur sa main un cône réfléchissant en lumaline...

... tandis que les autres observent le Soleil en projection.

Expérience 2 : Echauffement de solutions colorées.

Nous exposons au soleil des pots en verre contenant des solutions aqueuses de couleurs plus ou moins foncées. Pas de vitrage si possible, mais une petite plaque de polystyrène pour éviter le contact direct avec le béton.

En un quart d'heure, les élèves constatent que la température s'est élevée d'une dizaine de degrés pour la solution noire, et presque autant pour les solutions brune et bleue. Vous me direz : cela doit dépendre du bleu ? Bien sûr, bleu ciel et bleu marine, ce ne sera pas pareil. On obtient en général une série de résultats présentant une continuité, sans clivage net entre les couleurs claires et foncées.



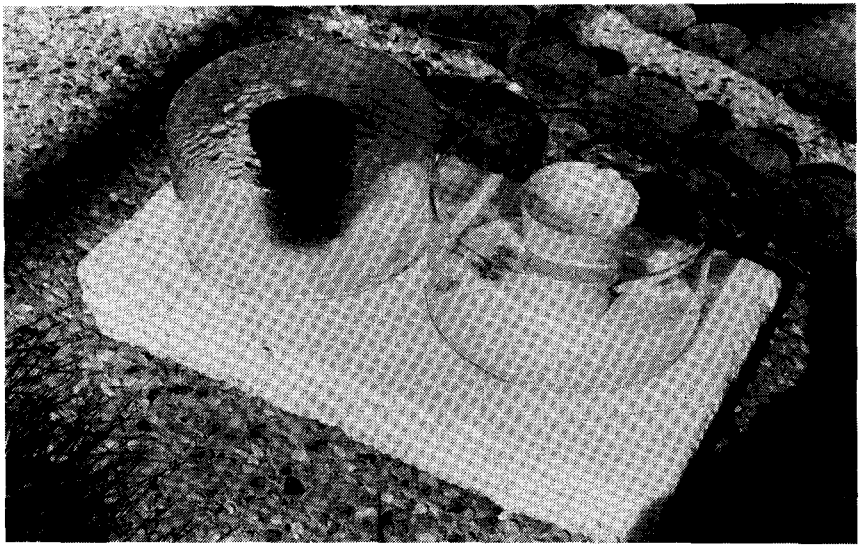
Echauffement des solutions colorées.

Expérience 3 : Limitons l'étude au blanc et au noir. Cette fois-ci, ce sont les récipients qui ont des couleurs différentes. Ils contiennent la même quantité d'eau, sont placés sur une plaque de polystyrène, couverts avec un cristallisoir, et exposés au soleil.

Les élèves mesurent au bout d'un quart d'heure une élévation de température d'une dizaine de degrés pour le récipient blanc, et le double pour le récipient noir. En laissant au soleil un peu plus longtemps, ils voient apparaître de la buée, beaucoup plus abondante sur le cristallisoir au-dessus du récipient noir : cette seule observation suffit à expliquer le rôle privilégié du noir

utilisé pour les absorbeurs. La recherche d'exemples pris dans la vie courante confirme le fait.

Il est possible d'exposer pendant le même temps deux récipients identiques, mais sans cristallisoir : l'élévation de température est moins importante, ce qui permet de conclure que le verre évite les pertes de chaleur par circulation d'air (courant d'air, convection) et éventuellement de dire deux mots sur l'effet serre. Mais, *en cas de vent*, ni le récipient noir ni le récipient blanc ne chaufferont quoi que ce soit ; dans cette éventualité, il vaut mieux ne rien tenter sans vitrage (ceci est valable pour l'expérience 2 !)



Echauffement de l'eau dans deux récipients. Mieux vaut faire la mesure avant que la buée soit trop abondante car elle fait écran au rayonnement.

Expérience 4 : La bouillotte solaire.

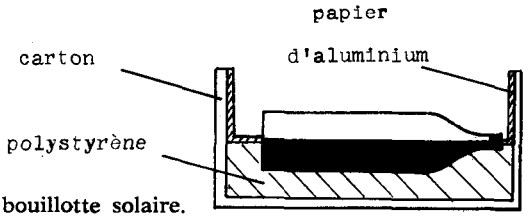
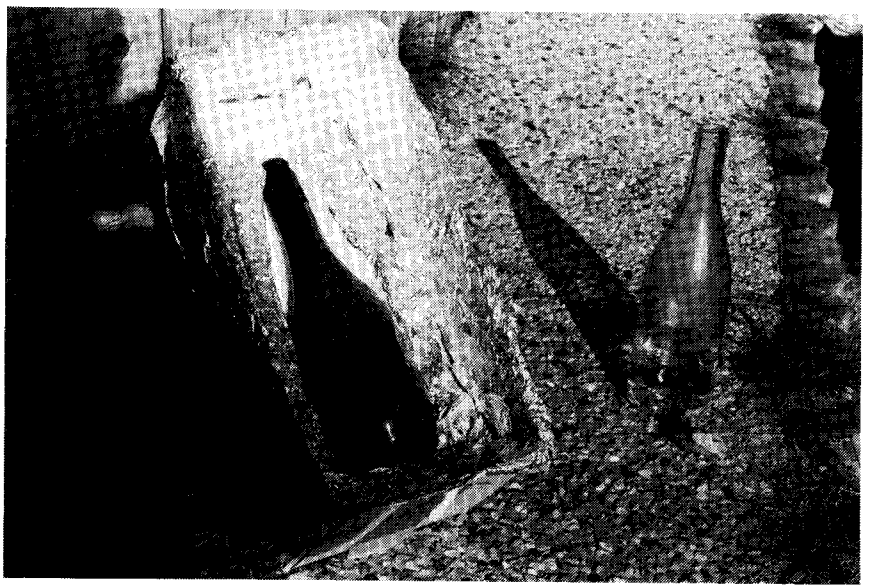


Fig. 1. — La bouillotte solaire.

Les élèves exposent au soleil pendant le même temps deux bouteilles contenant la même quantité d'eau : l'une est peinte en noir sur une moitié, et disposée sur du polystyrène recouvert de papier d'aluminium, l'autre est laissée telle quelle.

Comme il faut quand même un peu de suspense pour ceux qui essaieront les expériences, on ne vous dit pas les résutats !



La bouillotte solaire.

Expérience 5 : (6, 7...). Il s'agit d'utiliser et de tester le matériel (sophistiqué) déjà existant, réalisé par les classes des années précédentes : un petit cuiseur à œufs avec vitrage, un four cylindro-parabolique (modèle proposé par Jeunes Années), un mini-capteur utilisant un tuyau d'arrosage...

Bien sûr la première année, cela ne va pas bien loin. La deuxième non plus d'ailleurs. Et si on se fixait comme objectif... simplement « aller un peu plus loin chaque année ? »

Fin de séance : Lavage des mains avec l'eau des expériences 3, 4, 5 : le meilleur moment, l'heure où la sensibilité épidermique l'emporte sur celle du thermomètre, où les élèves livrent leurs impressions dans ce langage inimitable qui est le leur : « Ouais, c'est vachement chaud ! » Je ne vous raconte pas...

2e SEQUENCE « BEAU TEMPS » (2 heures).

L'importance des matériaux est apparue au cours des premières expériences. Une étude approfondie serait trop ardue pour les élèves, et puis, nous n'avons pas toujours le matériel nécessaire.

1. **Les absorbeurs.** Difficile si l'on ne dispose pas d'un thermomètre muni d'une sonde pour les mesures de températures superficielles. Là encore, nous avons pratiqué l'estimation manuelle ! Des carrés de carton, polystyrène, cuivre, aluminium, zinc et fer ont été exposés au soleil ; pour chaque matériau, deux échantillons, l'un brut, l'autre peint en noir. Malgré le manque de précision de la méthode, les élèves ont très nettement senti que les métaux peints en noir étaient plus chauds que le reste, sans pouvoir faire de différence entre les 4 métaux.

2. **Les vitres.** Un peu long mais pas difficile.

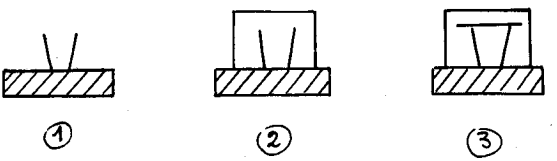
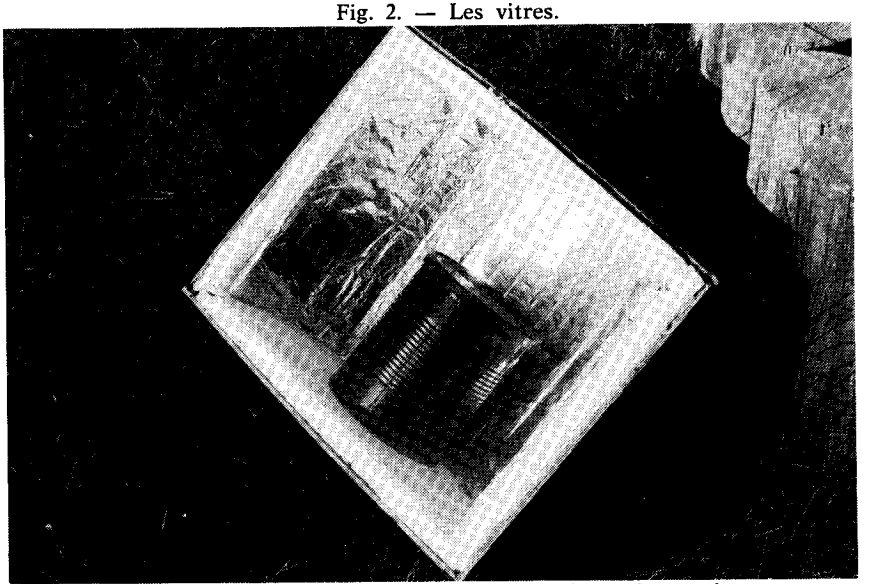
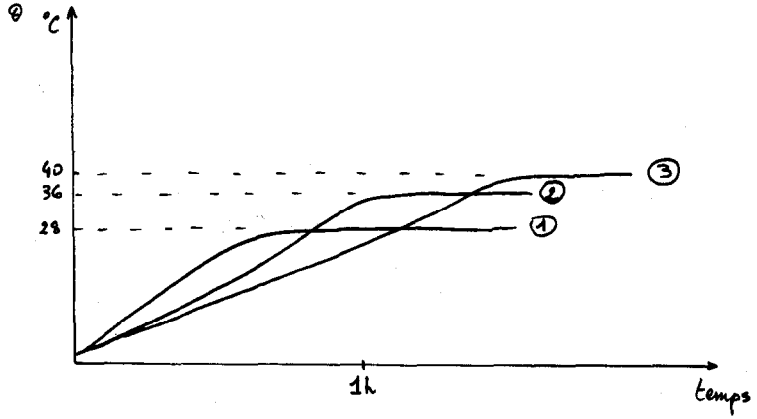


Fig. 2. — Les vitres.



43° fin septembre dans ce modeste cuiseur à un vitrage.

La température est relevée toutes les 5 minutes dans chacun des récipients.



— Plus il y a de vitres, plus la température d'équilibre de l'eau est élevée.

— Plus il y a de vitres, plus l'échauffement est lent.

Sans vitre, l'eau reçoit l'ensemble du rayonnement et s'échauffe rapidement, mais les pertes thermiques sont importantes.

Avec vitre, l'eau ne reçoit qu'une partie du rayonnement et s'échauffe donc plus lentement ; l'isolation thermique ainsi réalisée permet d'obtenir une température d'équilibre plus élevée.

3. **Les isolants.** Vraiment long. Si vous tenez à vous lancer dans les mesures, voici une méthode qui a donné des résultats (au cours d'un stage mais non testée en classe).

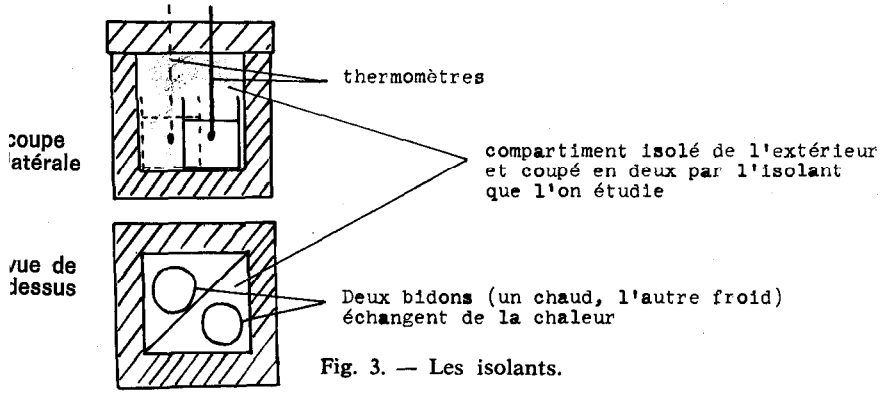


Fig. 3. — Les isolants.

Il s'agit d'étudier simultanément l'échauffement du milieu froid et le refroidissement du milieu chaud en fonction du temps, les deux bidons étant séparés par différents isolants :

— air seul,

— air + papier,

— laine de verre (1 ou 2 cm),

— polystyrène (1 ou 2 cm),

— polyuréthane (1 ou 2 cm).

Le polyuréthane apparaît comme le meilleur isolant, suivi par la laine de verre, puis le polystyrène. La feuille de papier modifie de façon sensible les courants de convection de l'air et il n'est pas inutile de faire les 2 séries de mesures.

Il me semble intéressant d'ajouter à cette séquence deux petites expériences où il n'y a pas de mesure à faire : le « distillateur solaire » pourra fonctionner sans que l'on ait à s'occuper de lui !

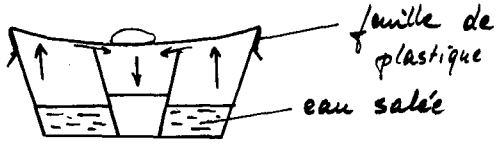


Fig. 4. — Le distillateur solaire.

Pendant ce temps, les élèves observent à tour de rôle le spectre du Soleil : le spectroscope est constitué par une boîte en carton munie sur une face d'une fente réalisée avec deux moitiés de lame à rasoir, et sur l'autre d'un réseau (*). Il est possible, même avec un appareil aussi simple, de distinguer des raies sombres dans le spectre ; mais j'ai pu constater que les élèves ne voient (sauf un ou deux cas exceptionnels) que le spectre continu, malgré leur bonne volonté. Enfin, ils s'en souviennent, ce n'est pas si mal !

3e SEQUENCE « BEAU TEMPS » (2 heures).

Elle est entièrement consacrée à l'expérimentation des cellules photovoltaïques, ou photopiles.

Les élèves répondent à un questionnaire.

1) Dessinez une cellule (face supérieure, face inférieure).

(*) *N.D.L.R.* : Voir dans le B.U.P. n° 659 de décembre, l'article de Marc CHAPELET : « La spectroscopie à bon marché ».

2) Les faces doivent être métallisées pour pouvoir collecter les charges électriques. A votre avis, pourquoi les deux faces ne sont-elles pas entièrement métallisées ?

3) Pour toutes les mesures, veillez à ce que votre photopile soit bien éclairée.

a) Tension à vide aux bornes :
— d'une cellule entière,
— d'une cellule cassée,
— d'une petite cellule ou d'un petit morceau.

Les élèves trouvent que la tension est voisine de 0,5 *V quelle que soit la cellule étudiée.*

b) Pôle positif et pôle négatif : à quelle face correspondent-ils ?

c) Tension aux bornes d'une cellule (entière) alimentant un moteur.

d) Intensité de court-circuit :
— pour une cellule entière,
— pour une cellule cassée,
— pour une petite cellule ou un petit morceau.

Les élèves constatent que l'intensité, qui va jusqu'à 450 *mA pour l'unique cellule encore entière, est beaucoup plus faible pour les morceaux (nombreuses mesures, car nous avons de nombreux morceaux !)*

Plus la surface est grande, plus l'intensité du courant fourni est importante (et plus la cellule coûtera cher !). Si la surface est réduite de moitié, ou des trois-quarts, l'intensité sera réduite dans les mêmes proportions.

e) Faites varier l'éclairement. Comment varie l'intensité maximale ?

4) Pensez-vous pouvoir allumer une petite ampoule ? (vous disposez d'ampoules 6 V, 3,5 V, 1,5 V).

5) Montage en série. Nous disposons d'un panneau de 9 cellules identiques à notre cellule entière.

Mêmes mesures que précédemment.

Les élèves retrouvent la même valeur pour l'intensité, mais une tension nettement accrue (4,5 *V*). *Allumage d'une ampoule (laquelle ?) ; la variation de l'intensité en fonction de l'éclairement est directement perceptible.*

Nous avons donc transformé de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Mais où est l'intérêt de pouvoir allumer des lampes si le miracle cesse dès que le Soleil se cache ? Nous allons donc montrer que cette énergie électrique peut être stockée.

6) Charge et décharge d'un accumulateur.

D'abord nous utilisons 2 petites plaques de plomb, plongeant dans une solution de sulfate de sodium très concentrée.

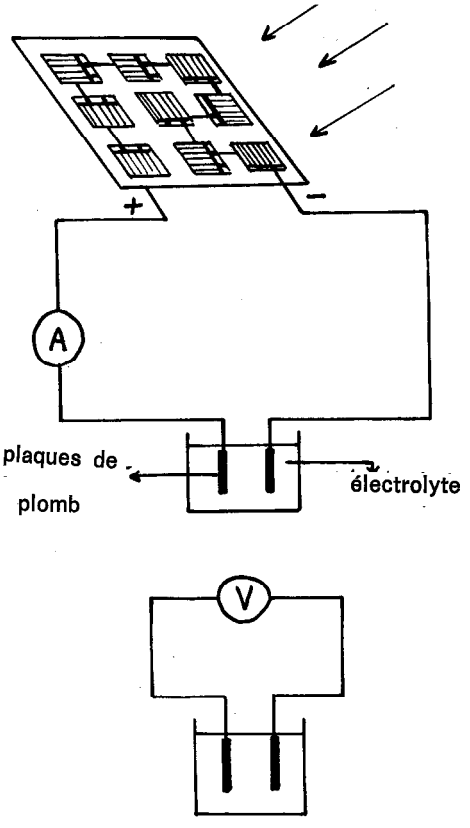
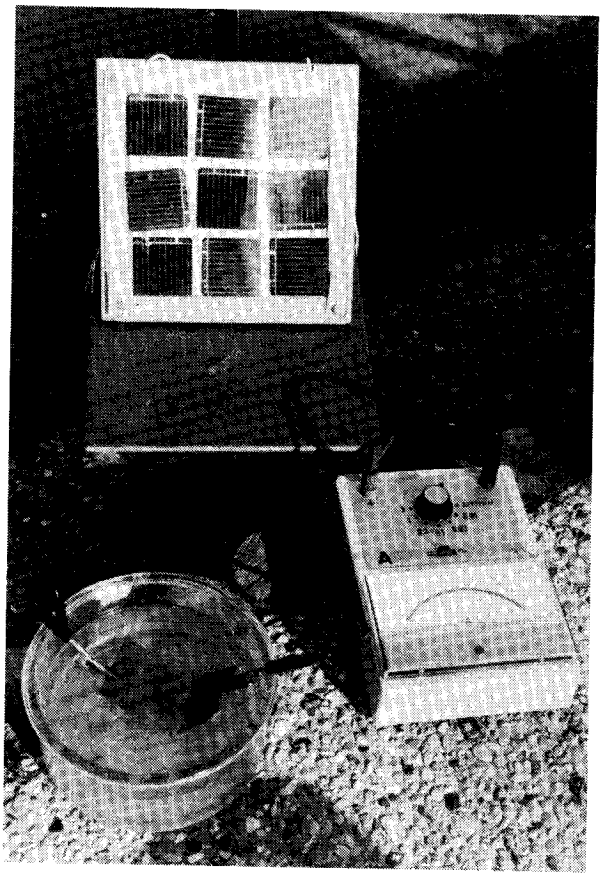


Fig. 5. — Charge et décharge d'un accumulateur.

Au bout d'un quart d'heure, il existe entre les deux plaques une tension mesurable, due à une modification des surfaces, provoquée par le passage du courant électrique dans la cuve. Mais cette tension baisse très vite, et si on essaie d'allumer



Charge de l'accumulateur au plomb.

une ampoule de 1,5 V avec la pile ainsi constituée on perçoit éventuellement un léger rougeoiement du filament, qui disparaît en quelques secondes.

Le second accumulateur est réalisé selon les précieuses indications du « livre du Professeur » de 3e (Hachette). Après quelques charges, la plaque positive s'est oxydée et prend une couleur brune qui permet aux élèves de mieux comprendre la dissymétrie apparue, et la nécessité de respecter la polarité lors de chacune des charges.

Prendre le temps de quitter la cour baignée de soleil, pour allumer l'ampoule (laquelle ?) dans la salle triste et sombre ! Un grand moment...

L'énergie électrique a donc pu être emmagasinée sous forme d'énergie chimique.

Charge : Energie lumineuse ↓ Energie électrique ↓

Décharge : Energie chimique ↓ Energie électrique

Il est possible de faire une estimation du rendement, connaissant la puissance consommée par l'ampoule, et la surface du panneau de photopiles. Le plus difficile à évaluer est le flux énergétique reçu. Comme nous ne savons pas à quel flux correspond l'intensité annoncée par le fabricant, nous n'avons pas la moindre indication à part les valeurs moyennes données par les cartes : nous prenons $\Phi = 300$ W par m^2.

Surface des 9 cellules : 250 cm^2.

Puissance incidente : $300 \times 2{,}5 \times 10^{-2} = 7{,}5$ W.

Connaissant la puissance consommée par l'ampoule, le quotient de cette valeur par la puissance incidente sera appelé « rendement ». Calcul à terminer pour la semaine prochaine. Je vous préviens que c'est très faible !

Ces notions seront revues de façon théorique lors de l'étude du « gisement solaire ».

7) Energie électrique → Energie mécanique.

En attendant de réaliser la voiture solaire et le bateau solaire de leurs rêves, les élèves font fonctionner la pompe solaire et les mobiles solaires. Cette fameuse pompe solaire, décrite dans le livre de 3e cité précédemment, fut très difficile à mettre au point. En fait, rien n'a marché jusqu'à ce que je me décide à acquérir :

— un moteur Meccano 6 vitesses (4,5 à 12 V),

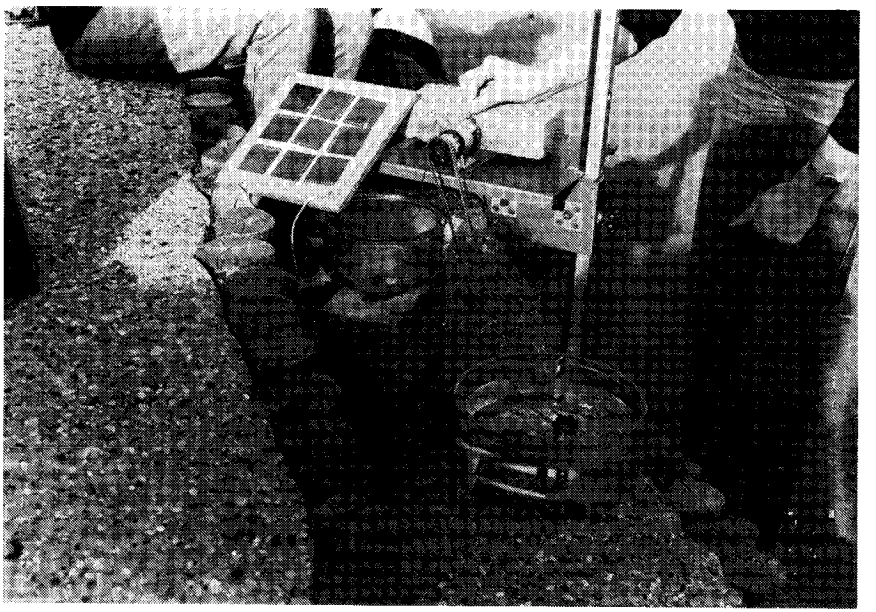
— une chaîne Galle,

— une roue dentée pour transmettre le mouvement,

— deux poulies et deux pneus (immergés dans le « puits »).

Le godet est un pot de « safran » fixé sur la chaîne par un adhésif résistant bien à l'eau. Dans l'eau, les deux pneus le

maintiennent dans l'axe tandis que la chaîne défile, « à cheval » sur les deux poulies ! Mais tout cela est une affaire de doigté, et si vous avez bien réglé la vitesse de votre moteur en fonction de la lumière incidente, la pompe marchera pendant des heures, emplissant petit à petit le récipient supérieur.



La pompe solaire : elle a déjà fait couler tant d'encre...

6 heures dehors, à raison de 6 séances hebdomadaires d'une heure, c'est amplement suffisant. L'idéal est de pouvoir intercaler une séance en salle de temps en temps, mais si le soleil brille, d'autre part, c'est dommage de ne pas en profiter !

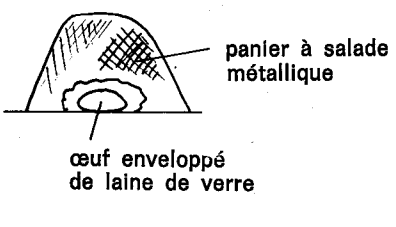
Et s'il pleut, alors là pas de remords : CONTRÔLE !

Voici quelques idées :

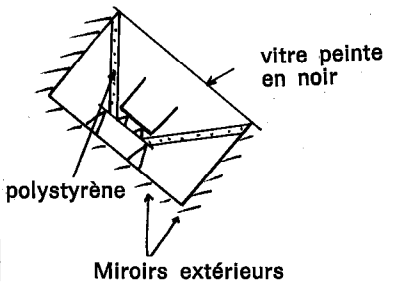
A) **Sur l'échauffement.**

1) Critiquez les deux dessins que voici :

a) Pour cuire un œuf :



b) Pour chauffer de l'eau :

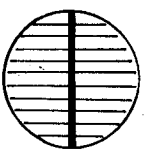


Proposez une solution meilleure en ajoutant ou en enlevant, si vous le souhaitez, certains éléments.

2) Citez des absorbeurs, des isolants, etc.

B) **Sur les photopiles.**

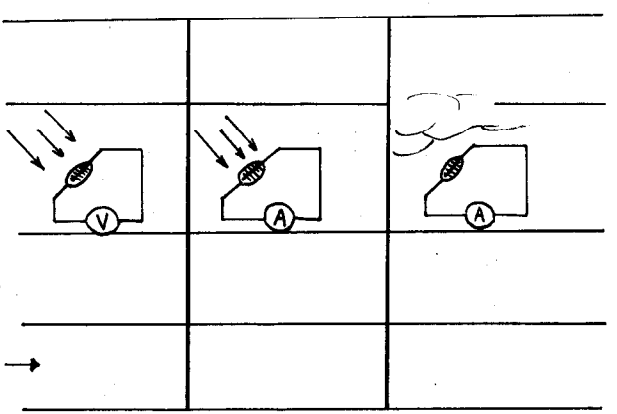
1) Cette cellule photovoltaïque est fournie avec les indications suivantes : 0,5 V - 0,4 A.



Que lirez-vous ?

Mêmes questions pour :

et pour :



Citez 2 paramètres dont dépend l'intensité fournie :

2) 3 photopiles identiques à la première sont montées en série. Faites le schéma du montage ; que pourrez-vous obtenir comme intensité, tension, puissance maximale ?

3) Descriptions d'expériences, etc.

1re SEQUENCE « MAUVAIS TEMPS » (2 heures).

La spectroscopie. Séance expérimentale classique sur les différents spectres (émission, absorption) et les applications.

Pour l'étude théorique de l'énergie solaire, il faut aller « au-delà du spectre visible » et présenter l'ensemble des ondes électromagnétiques assez rapidement. Naturellement, le sujet est loin d'être épuisé.

Idées de contrôle (déjà ?)

VRAI ou FAUX ?

— Le son fait partie des ondes « radio ».
— La lumière blanche est composée d'une infinité de couleurs.
— La lumière blanche est composée de 7 couleurs.
— Le prisme, éclairé par une lampe au sodium, dévie les rayons lumineux.
— La lampe à vapeur de mercure donne un spectre continu.
— Notre œil est sensible à toutes les ondes électromagnétiques.
— Les ultraviolets se propagent plus vite que les infrarouges.
— Dans l'arc-en-ciel, le Soleil joue le rôle du prisme.
— etc.

2e SEQUENCE « MAUVAIS TEMPS » (1 heure).

La notion de puissance ayant été abordée à l'occasion du calcul d'un rendement, livrons-nous à quelques comparaisons :

— Puissance :
  * de nos photopiles : 0,15 W environ,
  * de notre panneau de photopiles : 1,5 W environ,
  * des photopiles dites « de puissance » figurant dans un catalogue : 1 W au maximum.

— Puissance consommée :
  * par quelques lampes à incandescence : 100 W, 75 W,
  * par un fer à repasser : 1 000 W,
  * par une montre à pile : 10^{-6} W,
  * par une calculatrice : 10^{-5} W,

* par un poste de radio : 0,1 W,
* par un radiateur électrique } 3 000 W.
* par une cuisinière électrique }

Les élèves trouveront d'eux-mêmes quels sont les appareils qui pourront sans problème être alimentés au moyen de photopiles, et ceux pour lesquels c'est hors de question. Cependant, des installations domestiques fournissant 5 kW ou plus (quelques dizaines) fonctionnent de façon satisfaisante. Alors ? Peut-être faut-il renoncer aux appareils dévoreurs d'énergie pour avoir une estimation plus saine des besoins ?

APPLICATION : Connaissant le flux énergétique incident sur une région et le rendement des cellules, il est possible de faire calculer aux élèves la surface qui devra être recouverte de panneaux pour obtenir une des puissances citées précédemment.

Citons maintenant, au moyen de quelques diapositives, quelques fleurons de la recherche en matière de Solaire :

— Mont-Louis, premier four expérimental : 50 kW,
— Odeillo : 1 000 kW, soit 1 MW,
— Eurhélios (Sicile) : 1 MW,
— Thémis : 2 MW,
— Vignola : 100 kW,
— Capteurs Périclès : 50 kW.

Evidemment, devant les 800 - 1 300 MW fournis par une tranche nucléaire, il y a matière à discussion. Alors que le Soleil nous envoie en gros 1 000 W par m^2 (c'est le chiffre à retenir) !

3e SEQUENCE « MAUVAIS TEMPS » (2 heures).

L'étude détaillée du « gisement solaire », c'est-à-dire du rayonnement et de la meilleure manière de le récupérer, est tellement bien faite dans les livres que je vous donne juste les grands axes.

1. **Emission d'un rayonnement** par un corps en fonction de sa température : les élèves disposent d'un tableau donnant la longueur d'onde aux environs de laquelle se fait l'émission pour une série de températures, ainsi que la puissance émise. (Valeurs numériques tirées du numéro spécial de la revue « Ecologie » sur l'Energie Solaire).

A partir de quelques courbes tracées, ils doivent essayer de retrouver l'allure de celles qui manquent, et de placer la courbe correspondant au Soleil.

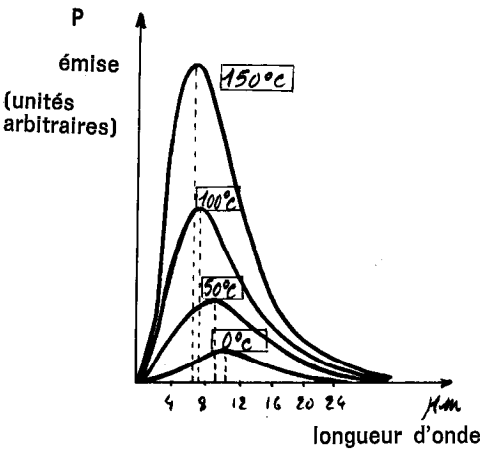


Fig. 6.

Ils constatent que la courbe serait un million de fois plus haute, avec un maximum à 0,5 µm, donc dans le domaine visible et non dans le domaine infrarouge.

2. **Le rayonnement solaire** est presque entièrement émis dans la bande 0,2 à 3 µm. La puissance transportée Φ est de l'ordre de 1 400 W par m^2 (pour une surface perpendiculaire au rayonnement, aux limites de l'atmosphère).

Calcul de la puissance interceptée par la Terre :

$$P = \Phi \times S = 1\,400 \times \pi \times (6{,}4 \cdot 10^6)^2 \simeq 1{,}8 \cdot 10^{17} \text{ W !}$$

Après absorption et réflexion, il en reste encore près des deux tiers au niveau du sol, soit : ...

Sans trop détailler, il faut dire quelques mots du rôle de l'atmosphère et des variations de l'ensoleillement.

Calcul du nombre de tranches nucléaires de 1 000 MW susceptibles de fournir la même puissance : ...

On peut faire ici tous les calculs possibles et imaginables concernant cette puissance et la comparer à la consommation française, mondiale, etc. Certains livres vont jusqu'à l'indigestion !

3. **L'effet de serre.** Pour les élèves, ce n'est pas évident. 3 transparents superposables vont les aider à comprendre (fig. 7).

A) Le rayonnement solaire traverse la vitre sans être absorbé.

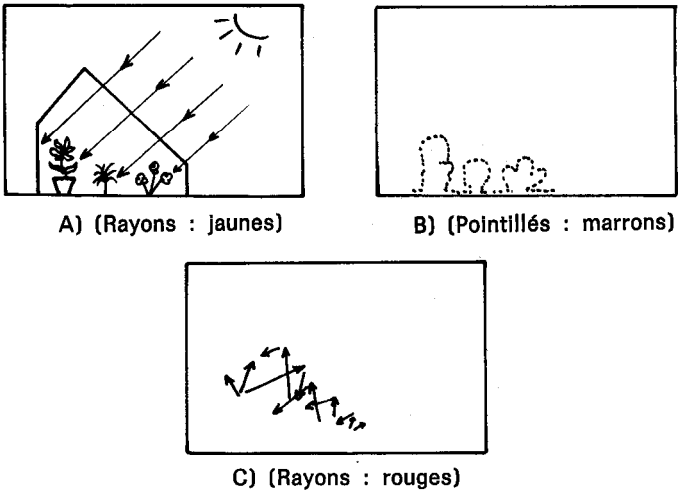


Fig. 7. — L'effet de serre en 3 transparents.

B) Les plantes et le sol de la serre, plutôt foncés, absorbent ce rayonnement.

Les plantes et le sol vont s'échauffer, mais :

C) reperdent par rayonnement une partie de l'énergie gagnée. Comme ce rayonnement appartient au domaine de l'infrarouge (entre 6 et 10 μm) il ne peut retraverser le verre et se trouve ainsi piégé à l'intérieur de la serre.

C'est un peu simpliste car je ne dis rien de l'absorption par le verre du rayonnement infrarouge, ni de la réémission moitié vers l'intérieur, moitié vers l'extérieur. Par contre, il n'est pas inutile de rappeler que pour utiliser cet effet de serre, et donc capter l'énergie solaire, il faudra :

— un ABSORBEUR peint en noir,

— un matériau transparent qui va piéger les rayons du Soleil : le VERRE par exemple (il en existe d'autres),

— une ISOLATION THERMIQUE convenable.

4. Les systèmes à concentration.

Comment concentrer, au moyen de matériaux réfléchissants, le rayonnement solaire sur une surface réduite ? C'est le moment de redécouvrir la parabole !

Prolongements

Nous voici revenus à la case Départ, une période difficile commence car pour ce qui est des prolongements, nous ne manquons pas d'idées, mais nous manquons de matériel, et aussi terriblement de savoir-faire ! La meilleure solution est peut-être de commencer à collecter du matériel :

— Chutes de bois, clous, colle à bois,
— Isolants (polystyrène, laine de verre),
— Plaques de verre,
— Peinture noire,
— Tôle réfléchissante, lumaline, papier alu,
— Outils divers.

Par exemple, pour faire un petit cuiseur à pommes de terre, il vous faudra :

— une caisse à poisson en polystyrène,
— une vitre de 3 ou 4 mm d'épaisseur de la taille de la boîte,
— du mastic,
— du papier alu,
— une barquette en alu.

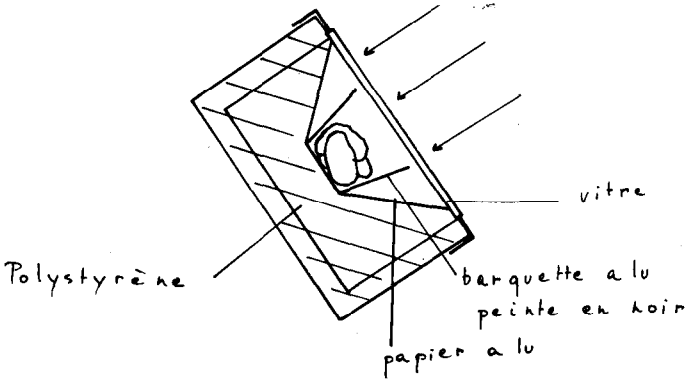


Fig. 8. — Cuiseur à pommes de terre.

Et pour faire un petit cuiseur cylindro-parabolique,

— du contre-plaqué fin,
— pas mal de tasseaux,
— 1 m² de lumaline,
— un morceau de tuyau de cuivre à peindre en noir (ou bien une brochette),

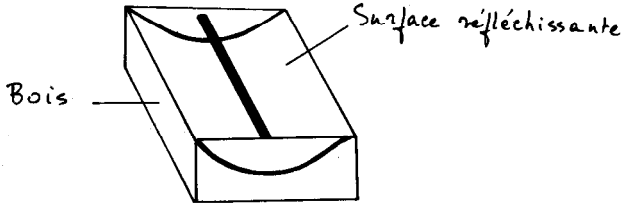


Fig. 9. — Cuiseur cylindro-parabolique.

mais surtout, surtout, se munir de bons ouvrages, qui eux-mêmes vous indiqueront les meilleurs livres, où vous pourrez trouver de bonnes adresses... Mais si, vous vous en sortirez ! (*)

BIBLIOGRAPHIE

1) Ouvrages pratiques.

— *Livre du professeur.* (3e). Hachette.

— *Jeunes Années :* revue publiée par les Francs et Franches Camarades : 10, 14, rue Tolain, Paris 20e.

* Avril 1979 : La cuisine sans flamme avec le Soleil.

et 2 numéros spéciaux :

* Mars 1981 : Jouets pour comprendre les énergies (en particulier la centrale héliothermique).

* Mars 1982 : *Solaire.* — Comment réaliser un bateau solaire, un ventilateur, une douche, des cuiseurs et même un four solaire, un séchoir à fruits, un distillateur...

Des montages bien expliqués, faciles à réaliser : indispensable.

— *Ecologie :* 2 numéros spéciaux :

* Energie solaire.

* Energie solaire et alimentation.

Les bases, des modèles de réalisations, et même des recettes !

— *La Face cachée du Soleil* (Alternative et Parallèles). Pour votre culture : très complet.

— *Energie solaire pratique* (Le Pont : numéro hors série).

Des réalisations un peu plus encombrantes : il en faut pour tous les goûts.

(*) *N.D.L.R. :* Méthode utilisée en informatique appelée adressage indirect.

— *Mobiles solaires* (Fleurus Idées). Des fleurs et des choses qui tournent ! Léger sur le plan de la physique, mais fascinant.

... et si vous voulez vraiment vous lancer :

— Fabrication artisanale de capteurs solaires, Thierry CABIROL. Edisud. — Livre bien illustré, très utile aux amateurs.

et chez le même éditeur :

— Le chauffe-eau solaire (CABIROL, PELISSOU, ROUX).

Tous ces livres proposent une bibliographie et des adresses. Une mention spéciale pour le fascicule édité par les Eclaireuses et Eclaireurs de France - 66, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris 9e :

— *L'animation et l'énergie solaire.* Tout y est : les bases, les plans et des indications très précieuses sur les matériaux. Et des adresses sur Lyon, pour une fois.

20 francs bien placés.

Un autre fascicule concerne l'astronomie et deux autres vont paraître (électronique et informatique). Une affaire à suivre.

Signalons encore :

Revue du Palais de la Découverte. Numéro spécial (février 1983) :

— *Aujourd'hui, l'énergie solaire :* Le point sur les recherches.

— *Le guide* 1983 *de la France solaire.* (Numéro spécial de la revue « Action solaire »).

Pour le moral ! Beau, idéal...

2) **Ouvrages de base.**

(Commentaires J.-C. GUIRAUDON).

— *Le rayonnement solaire.* Conversion thermique et applications. Bernard MENGUY-SCHWARTZ,

Technique et Documentation : 11, rue Lavoisier, 75008 Paris.

Œuvre d'universitaires (l'approche fondamentale ne les rebute pas), il couvre la totalité du sujet depuis la physique du Soleil jusqu'aux applications. Mais attention, pour ces dernières, ce sont les schémas de principe avec approche théorique qui sont présentés.

Le contenu répond surtout au « Comment cela fonctionne » et donne les détails (calcul des heures de lever ou coucher du Soleil, rayonnement diffus, les appareils de mesure du rayonnement solaire, la température d'équilibre d'un corps, le coma d'un concentrateur, le corps noir et la formule de WIEN, etc.

Il est un indispensable complément aux divers ouvrages technologiques qui sont largement diffusés avec seulement des formules simplifiées. A ces dernières, il permet de donner une représentation physique, ce qui, au-delà de l'intérêt qu'il y a à satisfaire de saines curiosités, en montre aussi les limites de validité en raison des approximations faites.

— *Les capteurs héliothermiques.*

Jacques DESANTEL,

Edisud.

Le sujet délibérément limité couvre les capteurs plans et les capteurs à concentration. Il explique d'une façon essentiellement qualitative la plupart des phénomènes mis en œuvre (donc pas de formules inquiétantes à grand renfort de porte-manteau), pour ensuite donner des ordres de grandeur et des exemples de calculs pratiques avec des relations simples qui permettent de dimensionner un capteur.

Mais attention ! il ne comporte que 159 pages avec des schémas simples et clairs ; aussi vous ne trouverez rien sur le gisement solaire, ni sur la technologie des matériaux à utiliser pour ces fabrications.

— *Le guide de l'énergie solaire passive.*

Edward MAZRIA,

Parenthèses.

Ce livre a déjà fait une percée dans sa version originelle de langue anglaise et nous vous conseillons de ne pas vous laisser dissuader par son prix d'achat.

Il permet d'aborder la définition d'un projet complet d'une maison solaire passive incluant une serre et présentant toutes les possibilités astucieuses des réflecteurs fixes ou mobiles, des murs d'inertie thermique, des toits bassins, des configurations été - hiver, des stockages pierre ou eau intégrés dans l'habitat, etc.

Un grand compliment aussi à l'iconographie agréable et démonstrative, mais attention vous n'y trouverez pas le plan de la maison de vos rêves et vous devrez beaucoup plancher par vous-même.

Pour vous y encourager, vous disposerez d'annexes, véritables mines d'or de chiffres significatifs, de paramètres, d'abaques, sans aucune théorie développée. Ce sont des outils indispensables.

— *La maison autonome.*

Robert CHAREYRE,

Editions Alternatives et Parallèles : 36, rue des Bourdonnais, 75001 Paris.

Un ouvrage au succès mérité !

La conception peut surprendre un peu en raison de ses multiples contenus, tantôt catalogue de ressources avec plein de bonnes adresses et de notices de matériels technologiques, avec la présentation des matériaux et de leurs propriétés, tantôt militant avec des analyses sur l'énergie douce « l'agriculture biologique ». Il s'agit en effet de la présentation des travaux d'étude d'un projet de maison autonome mené par l'auteur. C'est l'essentiel de la documentation qui a été rassemblée et utilisée à cette occasion qui fait le contenu. Il s'agit de fiches de présentation de réalisations faites aux Etats-Unis ou en Angleterre.

Un autre avantage pour le curieux : tous les aspects des énergies douces sont abordés : serres, biomasse, digesteurs pour les déchets divers, éoliennes, cultures diverses (hydroponie, aquaculture, etc.). Pour l'auteur, la maison autonome implique l'autosatisfaction de tous les besoins ; pourtant un absent de marque : la pompe à chaleur, juste citée.

— *Energie solaire et habitat.*

Pierre LE CHAPELIER.

Alternative et Technologie : 24, rue d'Aumale, 75009 Paris.

Un des premiers ouvrages complets sur ce sujet qui est devenu un classique et conserve toute son actualité. Tous les phénomènes physiques sont explicités, quantifiés, voire expliqués. Ceux-ci sont toujours courts et clairs, une petite culture physique et technique n'étant pas inutile pour suivre tous les raccourcis. Beaucoup d'abaques et de dessins se suivent et ils se révèlent fort utiles pour celui qui s'intéresse à l'habitat solaire et veut faire la découverte des diverses possibilités déjà expérimentées. Il lui appartiendra ensuite, s'il veut passer à une réalisation effective, de compléter ses connaissances dans des ouvrages spécialisés.

— *Le catalogue des outils solaires.*

Les divers ouvrages cités précédemment permettent de dégrossir un projet. Il est nécessaire ensuite de se tourner vers les fabricants et les distributeurs pour connaître en détail produits, matériels et outils (et coûts).

Ce catalogue permet de trouver quelques bonnes pistes et comporte la liste des Associations, ainsi qu'une bibliographie. Il est concurrencé par les catalogues de « Salons » et ne remplace évidemment pas les notices techniques diffusées par les industriels.

ADRESSES

2 *ADRESSES* où sont en vente la plupart des livres intéressants :

— *Diffusion alternative,* 36, rue des Bourdonnais, 75001 Paris.

— *Ecosolaire,* 19, rue Pavée, 75004 Paris.

En plus des livres, vous trouverez des photopiles, des petits moteurs, et un tas de gadgets, le tout avec le sourire. Et si vous avouez que vous débutez, « ils » vous donneront des conseils pour faire vos premiers montages !

— Pour la *lunette astronomique* à réaliser soi-même, pour 70 francs environ (prix avantageux pour commandes groupées),

A.S.T.A.M., Viry, 39360 Vaulx-lès-Saint-Claude.

FILMOGRAPHIE

1) DIAPOS :

Séries sur le SOLEIL, de la Société Astronomique de France, 3, rue Beethoven, 75016 Paris.

2 séries du C.N.D.P. où il y a des choses intéressantes :

— La lumière dans l'observation astronomique.

— Des énergies nouvelles pour demain.

(Attention à la diapositive n° 15 : l'entrée du fluide et la sortie sont inversés. Un tel schéma rendrait impossible l'effet thermosiphon et donc la circulation de l'eau).

1 série gratuite E.d.F. :

— Energies nouvelles et électricité (E.N.E.).

REMARQUE : *La meilleure solution est encore de se constituer une collection personnelle (en commençant par un séjour dans les environs de Font-Romeu !) car la série idéale n'existe pas encore !*

2) FILMS :

Seront toujours les bienvenus pour les heures de quinzaine où nous avons la classe non dédoublée !

C.N.D.P. :

— Vivre avec le Soleil.

— La chaleur du Soleil.

— Mille Soleils : le meilleur. — Retrace toute l'histoire de la concentration.

— Notre étoile le Soleil : pour les inconditionnels d'Hubert REEVES. — Une cassette aurait fait l'affaire...

Office National du Film canadien : des titres intéressants.

C.E.D.F.I. : là encore, du meilleur et du pire !

— Demain le Soleil : insupportable, même pour les inconditionnels de R. BARJAVEL. Relisez plutôt « Ravage », cela vaudra mieux.

— Le Soleil sur la Terre est excellent et très complet.

— Aujourd'hui, l'énergie solaire est également un film riche en informations, qui complète bien le précédent (en particulier pour l'architecture solaire).

... et beaucoup d'autres titres, pas encore vus.