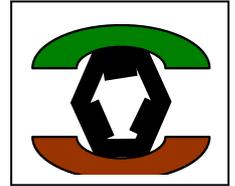
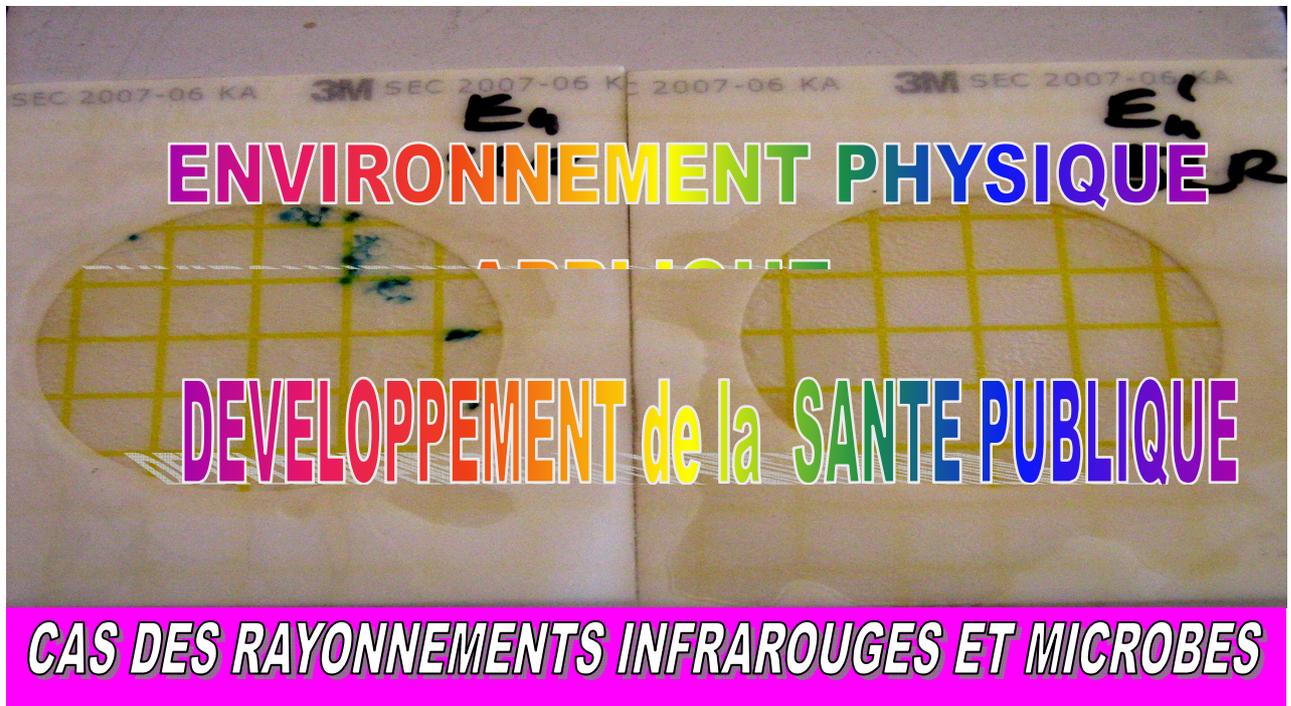




UNIVERSITE DE TOLIARA
Faculté des Sciences
Département de Physique
Formation Doctorale
..... o0o.....



Mémoire en vue de l'obtention du
DIPLÔME D'ETUDES APPROFONDIES (D.E.A)
en Physique Appliquée à l'Environnement.



Présenté par : **CHAN KOI LAME Gabin Daniel**

Président du Jury : Professeur DINA Alphonse

Rapporteur : Professeur RAZAFIMANDIMBY Hery Antenaina

Rapporteur : Docteur RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel

Examineur : Docteur LEZO Hugues

Examineur : Docteur EDMOND

Année 2008

SOMMAIRE

Résumé.....	03
Lexique	04
Introduction	05
A- Contexte- de la Santé publique.....	07
B- Matériels et méthodes.....	10
I- DOCUMENTATION.....	10
II- ENERGIE SOLAIRE.....	10
II-1- Origine de l'énergie solaire.....	10
II-2- Les ondes électromagnétiques et la lumière.....	12
II-3- La constante solaire sans effet de l'atmosphère.....	14
II-4- La moyenne planétaire.....	15
II-5- L'albédo et l'absorption atmosphérique.....	16
II-6- Ensoleillement et latitude.....	17
III- Le capteur solaire et le thermomètre.....	19
IV- Les échantillons.....	25
V- Le 3M Pétri film.....	25
C- Résultat- Interprétation- Discussion.....	30
I- Mise au point du capteur.....	30
II- Efficacité des traitements.....	32
III- Interprétation et discussion.....	33
Conclusion et recommandation.....	36
Bibliographie.....	38
Annexe 1.....	39
Annexe 2.....	41

A ma fille Felana à qui je souhaiterais
tout l'épanouissement d'un être humain.

Remerciement

Grande est notre joie d'avoir pu venir à terme de ce devoir.

Nous ne pouvons passer sous silence toute notre reconnaissance et notre gratitude auprès des personnages ci-après : le Professeur titulaire Razafimandimby Hery Antenaina, le Docteur Edmond et le Docteur Daniel Kotonirina Ramampihrika pour nous avoir épaulé tout au long de l'élaboration de ce devoir.

Nous adressons notre remerciement à tout le personnel enseignant et administratif de la faculté des Sciences de l'Université de Tuléar et en particulier ceux qui nous ont partagés leur connaissance pendant les intéressantes heures de cours théoriques à l'A.E.A de l'année universitaire 2006/2007.

Nous ne pouvons aussi que remercier tous ceux qui, de loin ou de près ont apporté leur aide, leur soutien, leur compétence et leurs savoirs pour nous avoir permis de mettre ce travail à jour, en particulier les collègues RANIVOMIARANA Auguste René et AHITANTSOA Zaliah Jeanne Félicité dont les collaborations nous ont été précieusement capitales.

Et enfin nous voudrions aussi adresser notre chaleureux remerciement à toute notre famille qui nous a été un soutien indéniable.

Que Dieu source de bonheur vous bénisse et vous comble de tous ses biens.

RESUME

La plupart des bactéries sont sensibles à la chaleur pour une température au-dessus de 70° C.

L'énergie solaire due à l'ensoleillement ne suffit pas pour chauffer une certaine quantité d'eau à traiter des bactéries.

Les radiations infra rouges ont la propriété d'une part de produire de la chaleur aux corps avec lesquels elles sont en contact et d'autre part, ces radiations ne sont pas transmises lorsqu'elles rencontrent une vitre.

On peut alors faire appel à ces deux propriétés pour concevoir un simple capteur d'énergie solaire afin obtenir une augmentation suffisante de température.

Ce capteur est constitué d'une caisse en aluminium ou en autre métal colorée en noir et couverte par une vitre.

Les bactéries dans un échantillon seront indiquées par la présence des colonies lors de leur emplacement dans un milieu favorable à leur croissance et à leur multiplication.

Le milieu de culture que nous avons utilisé est le 3M Pétri film qui est spécifique aux Escherichia Colis, aux flores totales et aux Coliformes fécaux.

La confrontation avec le traitement utilisant les rayonnements Ultra Violet nous a montré l'efficacité de notre capteur.

Mots clés : *Santé publique, bactérie, Soleil, rayonnement infrarouge, capteur, 3M Pétri film*

ABSTRACT

Most of the bacteria are sensitive to heat for a temperature with the tops of 70°C.

The solar energy due to a sunning is not enough to heat a certain quantity of water to threat bacteria.

The infra red radiations have the property on the one hand to produce heat with the body with which they are in contact and on the other hand, these radiations are not transmitted when they meet pane.

One can then call upon these properties to design a simple sensor of solar energy in order to obtain a sufficient increased temperature.

This sensor constitutes of box out of aluminum or another metal colored in black and glaze by a pane.

The bacteria in a sample will be indicated by the presence of colonies by the time of their site in a medium favorable to their growth and their multiplication.

Culture medium that we used is 3M Petri film which is specific to Escherichia Coli, Flore total and Coli form fecal.

Confrontation with treatment using the UV ray radiations shows us the effectiveness of our sensor.

Keywords: *Public health, bacteria, Sun, Infra red radiation, sensor, 3M Petri film*

LEXIQUE

ALBEDO : Capacité du globe terrestre à renvoyer vers l'espace de l'énergie lumineuse qui, dès lors, ne participe en rien à son équilibre thermodynamique.

APHELIE : Distance maximale entre Terre et Soleil lors de sa trajectoire elliptique. Cette distance maximale est de 152 096 154 km.

ASEPTISATION : Assainissement du milieu par destruction des bactéries pathogènes et des contaminants importants de l'ambiant.

EMISSIVITE : Puissance captée ou émise par unité de surface.

ESCHERICHIA COLI : Genre bactérien présent naturellement dans le tube digestif, où il neutralise la croissance de bactéries nocives et synthétise des vitamines. Seules quelques espèces peuvent provoquer des maladies.

EXITANCE ENERGETIQUE : Densité de flux d'énergie ou densité de puissance émis par le corps noir qui varie en fonction de la température absolue selon la formule de Stephan Boltzmann

INFRAROUGE : Le nom signifie « en deçà du rouge » (du latin *infra* : « en deçà de »), car l'infrarouge est une onde de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (et donc de longueur d'onde supérieure à celle du rouge qui va de 500 à 700 nm). Les infrarouges furent découverts par William Herschel, un astronome anglais, d'origine allemand. Il trouva que la chaleur était plus forte du côté du rouge du spectre obtenu par un prisme, y compris là où il n'y avait plus de lumière.

La longueur d'onde de l'infrarouge est comprise entre 700 nm et 1 mm.

INOCULUM : Echantillon d'eau à analyser avec le Pétri film. Le volume de l'inoculum ne dépasse pas 10ml.

MALADIES HYDRIQUES : Maladies provoquées par les microbes dans les eaux contaminées par les bactéries pathogènes.

PASTEURISATION : Conservation dans un temps très limité des produits alimentaires. Dans ce cas, il n'y a pas de destruction d'une forme végétative, c'est-à-dire que les spores et les toxines thermostables résistent encore.

PERIHELIE : Distance minimale entre Terre et Soleil lors de sa trajectoire elliptique. Cette distance minimale est de 147 099 586 km.

PROTISTES : Groupe réunissant les unicellulaires animaux et végétaux

STERILISATION BIOLOGIQUE : Opération qui consiste à détruire toutes les bactéries, leurs spores et leurs toxines.

INTRODUCTION

D'après les chiffres émanant de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) relatifs aux problèmes d'eau potable et des maladies hydriques, plus d'un milliard de personnes n'ont accès à l'eau potable et un enfant meurt d'une maladie hydrique toutes les quinze secondes à travers le Monde.

Madagascar n'est pas épargné par ces fléaux. Deux tiers des foyers malagasy n'ont pas accès à l'eau potable et seuls cinq pour cent ont accès à un assainissement adéquat d'eau.

Beaucoup sont déjà les organisations qui oeuvrent dans ce domaine d'assainissement d'eau mais toujours est-il qu'elles ne sont pas assez suffisantes pour couvrir le majeur besoin de toute l'île.

Depuis 1867, lors de la découverte de Louis Pasteur, suivie de R. Koch, les méthodes utilisées pour lutter contre les microbes peuvent être chimiques (eau de Javel, Sûr eau, ...), par ozonisation (ozone), thermiques (chaleur) ou par radiations (UV).

Le choix de méthode dépend de la culture et de la possibilité socio-économique et technique des usagers. Toutefois, chaque méthode peut présenter ses avantages et ses inconvénients soit à cause de sa cherté, soit à cause de ses effets secondaires parfois non contrôlés.

Pour notre mémoire, nous avons préféré une méthode utilisant l'énergie solaire qui est gratuite, accessible à tous et sans effet néfaste sur l'Environnement. Nous soutiendrons que les radiations infrarouges émises par le Soleil pourraient être utilisées pour aider les gens à décontaminer l'eau qu'ils utilisent quotidiennement afin d'améliorer leur santé.

La puissance d'ensoleillement, reçue en un point de la surface terrestre, varie selon les jours, les mois de l'année, le cycle journalier et la latitude. Mais il faut également tenir compte de deux autres facteurs, à peu près constants :

- le rayon solaire
- la température moyenne de la couche superficielle du Soleil¹.

Dans la partie théorique de notre devoir, nous parlerons des réactions de fusion au niveau du Soleil, de la théorie des ondes électromagnétiques et du corps noir.

Rappelons que la transmission de la chaleur ou de l'énergie peut se faire suivant trois modes : par conduction, par convection et par rayonnement.

A l'intérieur du cœur du Soleil, le transfert d'énergie se fait de deux façons : par rayonnement et par convection.

A l'extérieur, le Soleil transmet son énergie seulement par rayonnement comme un corps noir².

La partie pratique de notre étude se portera d'une part sur :

- un test de la performance d'un capteur préexistant
- une fabrication et des tests de performance de deux nouveaux capteurs.
- des calculs de la valeur de la puissance de la chaleur reçue par la terre provenant du Soleil
- des vérifications expérimentales de ces valeurs en utilisant le principe de calcul de la quantité de chaleur absorbée par les corps exposés librement au Soleil.

Et d'autre part, nous allons utiliser le fait que les radiations infrarouges contenues dans les radiations émises par le Soleil sont « calorigènes » et peuvent être utilisés dans les traitements des eaux contaminées provenant des villages d'Anakao, de Beheloka, de Soalara et de Befasy et d'analyser les résultats tout en tirant une conclusion et en avançant des recommandations.

¹ Notes de cours de RAZAFIMANDIMBY Hery Antenaina « ENERGETIQUE APPLIQUEE' »

² [http:// www.hao.ucar.edu/public/slides/slides.html](http://www.hao.ucar.edu/public/slides/slides.html)

Cette partie a été opérée en collaboration avec RANIVOMIARANA Auguste René dit Guy et l'Institut Halieutique et des Sciences Marines par le biais de Mlle AHITANTSOA Zaliah Jeanne Félicité qui prépare son mémoire de Master.

Son devoir a été consacré au traitement des eaux destinées aux lavages des produits halieutiques de la société COPEFRITO tandis que le nôtre a trouvé son application dans l'assainissement de l'eau destinée aux usages domestiques.

La quantité d'énergie provenant directement du Soleil et reçue par la Terre ne serait pas assez suffisante pour porter une certaine quantité d'eau à une certaine température demandée pour avoir les effets bactéricides sur les eaux contaminées.

C'est pour ces raisons que nous allons essayer de faire appel à des capteurs solaires qui ont la capacité d'absorber et de stocker ces radiations.

A- CONTEXTE - DE LA SANTE PUBLIQUE

On appelle maladie hydrique toute maladie causée par la consommation d'eaux contaminées par des micro-organismes pathogènes provenant des matières fécales d'origine humaine ou animale³.

Dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie, loin s'en faut. Elle véhicule en particulier nombre de micro-organismes, bactéries, virus et protistes en tout genre, qui y vivent et s'y développent, ainsi que nombre de parasites dont les hôtes ont besoin d'eau pour vivre ou se reproduire.

Les conditions favorables de vie des bactéries se situent dans une fourchette de température bien déterminée et qu'en dehors de cet intervalle, la croissance de ces micro-organismes se ralentit voire même impossible.

On peut classer les bactéries de la façon suivante :

a- les bactéries qui vivent dans l'eau, par exemple: *Choléra*, *Salmonella*, *Escherichia Coli*.

b- les bactéries pathogènes qui se développent dans l'eau, par exemple : *Pseudomonas* et *Aéromonas*.

c- les parasites (protozoaires), par exemple : *Gardia*, *Cryptosporidium*

La fièvre typhoïde, par exemple est une maladie due au *Salmonella typhi* qui provoque une forte fièvre et des troubles digestifs et d'autres bactéries provoquent des maladies graves voire même mortelle (par exemple choléra).

Un milliard et demi d'habitants n'ont pas accès à l'eau potable et 2 milliards sont privés d'installations sanitaires (OMS). Les maladies associées à l'eau tuent un enfant dans le monde toutes les quinze secondes (OMS)⁴.

³ <http://www.forum.futura-sciences.com/tags/infrarouge-chaleur-ondes>.

⁴ <http://www.santetropicale.com>

Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent chaque année des suites de gastro-entérites, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastro-entérites hydriques, 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose, 2 à 3 millions de décès sont observés chaque année parmi les 700 et 800 millions de sujets impaludés et 30 millions d'onchocercose sont dénombrés.⁽⁵⁾

Madagascar, en particulier la région d'Atsimo-Andrefana n'est pas épargnée par ces catastrophes. En effet, près des deux tiers des foyers malgaches n'ont pas accès à l'eau potable et 5% des malgaches uniquement ont accès à un assainissement de base adéquat et quatre cinquième de toutes les maladies sont causées par les maladies hydriques et les maladies diarrhéiques sont la principale cause de la mort des enfants⁵.

Le seul moyen pour arrêter la transmission des maladies hydriques est d'améliorer l'état hygiénique des hommes et de leur fournir certains besoins en eau potable, en équipement de bains, de lavage et d'assainissement. L'eau propre est un préalable pour réduire la diffusion des maladies hydriques.

La région Atsimo-Andrefana bénéficie d'un ensoleillement d'à peu près de 300 jours par an. Pour cette région, l'énergie solaire est une ressource abondante, sûre, gratuite.

Pourquoi ne pas l'exploiter pour décontaminer l'eau afin d'atteindre les objectifs du développement de la santé publique et de la politique d'assainissement de l'eau ?

⁵ <http://www.santetropicale.com>

B- MATERIELS ET METHODES

I- DOCUMENTATION

Pour les études théoriques et les confirmations des résultats, des recherches sur documentations et visites de sites web ont été entreprises

II- L'ENERGIE SOLAIRE :

L'énergie solaire est le premier matériel utilisé dans notre devoir grâce à ses propriétés favorables à l'Environnement et parce qu'elle fait partie des énergies nouvelles.

II-1- ORIGINE DE L' ENERGIE SOLAIRE

Cette énergie solaire est d'origine nucléaire provenant des réactions de fusion de noyaux d'hydrogène en noyau d'hélium.

a- Théorie de fusion au niveau du soleil

Le Soleil est constitué de : 92,1% en atomes d'hydrogène (soit 75% en masse) ; 7,5% en atomes d'hélium (soit 25% en masse) et 0,1% en d'autres atomes comme l'oxygène, le carbone, l'azote...)⁶

Au cours de la vie d'une étoile (en occurrence le Soleil), plusieurs réactions de fusion se produisent mais une domine toutes les autres en importance, c'est la synthèse de l'Hélium ${}^4_2\text{He}$ à partir de l'hydrogène ${}^1_1\text{H}$, l'atome interstellaire.

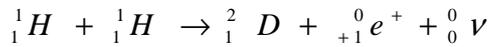
La lumière et la chaleur que le Soleil rayonne sont dues aux réactions de fusion qui ont lieu en son sein. L'énergie nécessaire pour initier la première de ces réactions est apportée par l'interaction gravitationnelle qui attire entre eux les atomes d'hydrogène interstellaire. Ensuite, l'énergie dégagée par la réaction entretient la combustion.

Dans la première des réactions de synthèse de l'Hélium, un neutrino est créé, c'est-à-dire que la réaction est régie par une interaction faible.

⁶ <http://www.hao.ucar.edu/public/slides/slides.html>

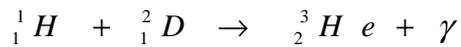
Cette synthèse de l'hélium se fait en trois étapes⁷ :

Etape 1 : Synthèse du deutérium 2_1D un isotope de l'hydrogène à partir de l'hydrogène suivant la réaction :



Les particules émises sont le positon ${}^0_{+1}e^+$ et le neutrino ${}^0_0\nu$

Etape 2 : Synthèse de l'hélium 3 3_2He un isotope de l'hélium à partir de l'hydrogène suivant la réaction :



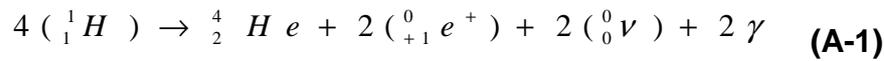
La particule émise est le photon γ (grain de lumière)

Etape 3 : Synthèse de l'hélium 4 (4_2He) suivant la réaction :



Les particules émises sont deux protons ou noyau d'hydrogène.

Le bilan de la réaction est donc :



Cette réaction de fusion présente une perte de masse Δm (différences entre masse des produits de réaction et celle des noyaux initiaux) de valeur $\Delta m = -0,02866$ u par noyau d'hélium formé.

$1u = 1,661 \cdot 10^{-27}$ kg = 931,5 MeV/c² c = 2,998. 10⁸ m/s vitesse de la lumière dans le vide.
Masse d'un électron e = 5,486.10⁻⁴ u.

Masse de : ${}^1_1H = 1,0073u$; ${}^2_1D = 2,0134 u$; ${}^3_2He = 3,0149 u$; ${}^4_2He = 4,0015 u$

D'après la relation d'Einstein qui relie la masse avec l'énergie, le bilan énergétique, par noyau d'Hélium formé est donc relativement très exo énergétique, la réaction libère donc de l'énergie au milieu extérieur de valeur $\Delta E = 26,7$ MeV
Ce qui donnerait par gramme d'hydrogène, une énergie libérée égale à

$$E = \frac{26,7 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1,665 \cdot 10^{-27}} \approx 6,4 \cdot 10^{11} J$$

⁷ Java script: openwindow (« fusion »), (« obaf »)

De cette théorie de fusion, on peut déjà déduire la réserve d'énergie du Soleil et de l'espérance de vie du Soleil⁸.

b- Réserve d'énergie du soleil

La masse actuelle du Soleil est estimée à 2.10^{30} kg.

En admettant que seule la réaction (A-1) intervient et qu'une proportion de 10% de la masse totale est placée dans les conditions où la réaction peut se produire, la masse M_{ξ} que le Soleil peut encore perdre pour rayonner l'énergie correspondant dans les siècles à venir est estimée à $1.38.10^{27}$ kg.

c- Espérance de vie du soleil

La puissance totale rayonnée par le soleil est de $3.7.10^{26}$ W. La consommation en hydrogène du Soleil est de 6.10^{11} kg/s. La masse perdue μ par seconde est de 4.10^9 kg. L'espérance de vie du Soleil est donc approximativement $T=10^{10}$ années (l'âge actuellement admis pour le Soleil est de 5.10^9 années).⁽⁸⁾

II-2- LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES – LA LUMIERE

Le Soleil donc nous fait parvenir toute une gamme d'ondes électromagnétiques dont les fréquences s'étalent de 10^4 à 10^{26} Hz .

Une onde électromagnétique est une onde progressive dans le vide ou dans un milieu matériel, constituée de couple de champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{H} proportionnels et en phase.

Cette onde est caractérisée par l'amplitude E_0 et par sa longueur d'onde

λ reliée à la fréquence par la relation $\lambda = \frac{c}{\nu}$ **(A-2)** où c est la célérité de l'onde dans

le milieu considéré. Ainsi, plus la longueur d'onde du rayonnement est élevée, plus sa fréquence est basse, et inversement. Les photons émis par le Soleil au niveau de son atmosphère sont porteurs d'énergie électromagnétique qui s'exprime suivant la relation $E = nh\nu$ **(A-3)** où h est la constante de Planck, ν est la fréquence émise (ou absorbée) par le photon et n le nombre de photons.

⁸ http://www.neufplanetes.org/appendices/systeme_solaire/sol.html#viemort

Le spectre électromagnétique décrit la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence : les ondes de faible fréquence, de quelques kilohertz (kHz) à plusieurs gigahertz (GHz), sont appelées ondes radio ou ondes hertziennes, par référence à Heinrich Hertz, physicien allemand qui fut le premier à produire et à détecter de telles ondes ; l'unité de fréquence, le hertz (noté Hz), porte également son nom.

À des fréquences plus élevées se trouvent par ordre de fréquence croissante l'infrarouge, la lumière visible (longueur d'onde entre 400 et 800 nm) et l'ultraviolet. Enfin, aux fréquences les plus élevées, se trouvent le domaine des rayons X (entre 1 et 100 nm), puis celui des rayons gamma (longueur d'onde inférieure à 1 nm).⁹

Tableau 1 : Domaine de radiations

Fréquence (V)	Longueur d'onde (λ)	Energie	Dénomination
10kHz	30 km		Radionavigation
100 kHz	3 km		Ondes longues
1 MHz	300m		Ondes moyennes
10 MHz	30 m		Ondes courtes
100MHz	3 m		Ondes TV
10^9 Hz	300 mm		
10^{10}	30 mm		Radar
10^{11}	3 mm		
10^{12}	300 μ m		
10^{13}	30 μ m		Infrarouge
10^{14}	3 μ		
10^{15}	300nm	4,13 eV	Visible
10^{16}	30nm	41,3 eV	Ultra violet
10^{17}	3nm	413 eV	
10^{18}	300pm	4,13 keV	
10^{19}		41,3 keV	X
10^{20}		413 keV	
10^{21}		4,13MeV	
10^{22}		41,3MeV	γ
10^{23}		413MeV	
10^{24}		4,13GeV	
10^{25}		41,3 GeV	
10^{26}		413 GeV	

10

Toutes ces ondes obéissent aux mêmes lois physiques et sont gouvernées par les équations suivantes¹¹

$$\text{Loi de Gauss : } \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\text{A-4})$$

$$\text{Conservation du flux magnétique : } \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\text{Théorème d'Ampère } \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{d\Psi}{dt} \right)$$

⁹ Roger Petit, « Ondes électromagnétiques »

¹⁰ Jacky Bourdais, *Physique* pp 282, 283

¹¹ CH. NGO et H. NGO, « Physique statistique »

Loi de Faraday $\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$

où \vec{E} est le vecteur champ électrique, S la surface, Q la charge électrique, \vec{B} le vecteur champ d'induction électromagnétique ($\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$), \vec{j} densité surfacique de courant électrique, $\Psi = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$: Flux du vecteur \vec{E} à travers le vecteur surface \vec{S}

et Φ le flux de \vec{B} à travers le vecteur surface \vec{S} .

Des équations (A-4), on obtient les équations de Maxwell suivantes :

$$\begin{aligned} \overline{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \overline{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & (11)11 \\ \overline{div} \vec{B} &= 0 & \overline{div} \vec{D} &= \rho \end{aligned}$$

\vec{D} : Vecteur induction électrique = $\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

\vec{P} : Vecteur polarisation électrique

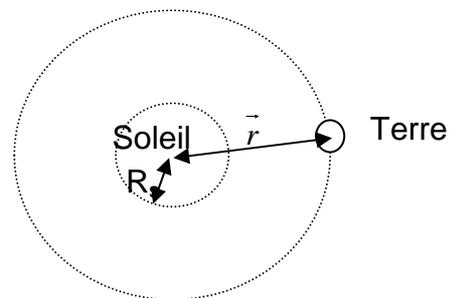
\vec{M} : Vecteur magnétisation

ρ : Densité volumique de charge

Elles se propagent toutes à la même vitesse dans le vide, c'est-à-dire à la vitesse de la lumière ($c \approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

II-3- LA CONSTANTE SOLAIRE SANS L'EFFET DE L'ATMOSPHERE

Si, à l'extérieur, le Soleil, supposé de forme sphérique de rayon $R_s=6,95.10^8$ m transfère son énergie par rayonnement.



La surface du Soleil est considérée comme un corps noir, la loi de Stephan Boltzmann, la puissance par mètre carré de surface solaire, appelée aussi *émissivité solaire*, est $\mathcal{S}_r = \sigma.T^4$ (Voir plus bas). **(A-5)**

Pour toute la surface de la sphère solaire, la puissance totale rayonnée est
 $P_{\text{tot}} = 4\pi R_s \cdot \mathcal{S}_r$ (en utilisant le théorème de Gauss)
 $= 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$ **(A-6)**

Soit $I_s(r)$: l'intensité ou flux ou puissance reçue par unité de surface.
 $P_{\text{tot}} = I_s(r) \cdot 4\pi r^2$.

Ce qui donne $I_s(r) = \frac{P_{\text{tot}}}{4\pi r^2} = \mathcal{S}_r \cdot \frac{R_s^2}{r^2} = 3 \cdot 10^{25} \cdot \frac{1}{r^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ **(A-7)**

Appelons maintenant D la distance entre le Soleil et la Terre.

$D = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$, Alors $\mathcal{S}_o(D) = I_s(r = D) = 1340,473 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Cette valeur donne la Constante solaire pure sans effet de l'atmosphère.

Le terme *Constante* solaire est utilisé par abus de langage.

En réalité, la trajectoire de la Terre autour du Soleil est plutôt elliptique. La distance suivant le grand axe (aphélie) est de 152.096.154 km et la distance suivant le petit axe (périhélie) est de 147.099.584 km. En prenant comme unité de longueur 1 rayon solaire égal à $6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$, et en portant ces valeurs dans l'équation (A-7), lors de l'aphélie: la Terre est à 218,53 rayons solaires du centre du Soleil; ceci correspond à 1.296,83 watts par mètre carré et, lors du périhélie: la Terre est à 211,35 rayons solaires du centre du Soleil; ceci correspond à 1386,43 watts par mètre carré.

Tableau 2 : distances Terre - Soleil suivant sa trajectoire elliptique

	$\frac{r}{D}$	$I_s \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$
Aphélie	218,53	1296,83
Périhélie	211,35	1386,43

La moyenne se trouve à 1.341,143 watts par mètre, une valeur très proche de 1340 watts par mètre. L'aplatissement de l'ellipse est beaucoup trop faible pour diminuer cette valeur.

En moyenne, la Terre se situe à 215 rayons solaires du Soleil et reçoit 1340 Watts par mètre carré en haute atmosphère et à la verticale face au Soleil.

II-4- LA MOYENNE PLANETAIRE

Comme toute planète, la Terre n'est pas un disque plat mais un globe, où un seul point se trouve à la verticale du Soleil. La surface d'un disque ayant même rayon que la Terre est πR^2 et la surface terrestre vaut $4 \cdot \pi R^2$

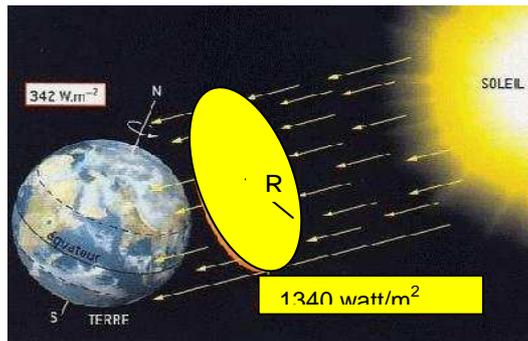


Figure 1 : Mesure de l'émissivité

Le calcul de l'émissivité solaire, à l'endroit où se trouve la Terre, se fait en multipliant la valeur précédente (1340 Watt.m^{-2}) par un rapport, mis au carré, entre le rayon solaire et la distance entre le centre de la Terre et le centre du Soleil.

La puissance effectivement reçue, en moyenne, par mètre carré de surface terrestre, doit donc encore être divisée par quatre par rapport à celle reçue par la Terre.

Ceci donne une moyenne de 342 Watts par mètre carré de surface terrestre.

Soit : Lors de l'aphélie: 324,2 Watts par mètre carré de surface terrestre et 346,6 watts par mètre carré de surface terrestre lors du périhélie.

II-5- L'ALBEDO ET L'ABSORPTION ATMOSPHERIQUE

La surface de la Terre est loin de pouvoir profiter d'un ensoleillement moyen de 342 W.m^{-2} . En effet, le rayonnement solaire doit traverser l'atmosphère et ceci diminue considérablement le rayonnement reçu sur la surface terrestre.

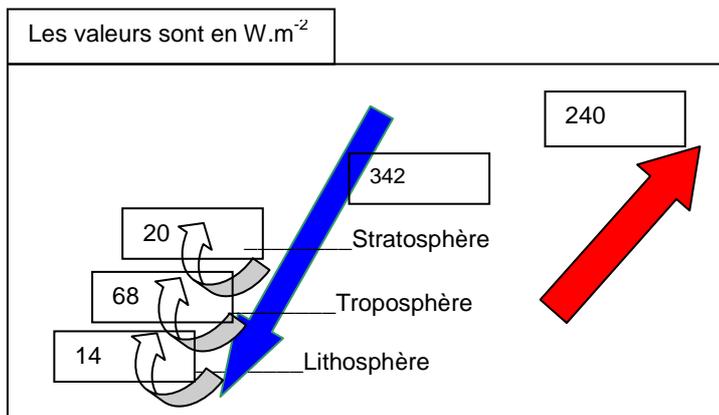
L'Albédo est la capacité du globe terrestre de renvoyer vers l'espace de l'énergie lumineuse qui ne participe en rien à son équilibre thermodynamique.

La loi de conservation de l'énergie oblige à une stricte égalité entre:

- l'énergie qui est *reçue* par le globe terrestre, sous forme de longueurs d'ondes très variées correspondant au spectre solaire,
- et l'énergie qui en est *expulsée* sous forme d'infrarouges

Cette égalité s'établit autour d'une valeur de **seulement 240 W/m²**.

En supposant que l'atmosphère absorbe le tiers de 240 W.m⁻², alors seuls **160 W.m⁻²** d'énergie solaire finissent par atteindre la surface terrestre (**A-8**)



Cette figure représente le flux solaire réfléchi vers l'espace, soit 120 W.m⁻² sur les 342 W.m⁻² dont 20 W.m⁻² réfléchi au niveau du stratosphère, 68 W.m⁻² réfléchi au niveau du troposphère, 14 W.m⁻² au niveau du lithosphère. *Flèche bleue* : flux solaire incident. *Flèche rouge* : flux solaire émis par la Terre.

Figure 2: Flux solaire

Cependant, la température moyenne de la Terre est de l'ordre de 30 °C dans la région du Sud Ouest de Madagascar. En degré kelvin, cela donne 293K. En appliquant la loi de Stephan Boltzmann (équation A-6), le calcul inverse donnerait une puissance moyenne globale de 472 W/m² et non 160 W/m² comme il a été prévu par le calcul théorique.

Cette différence de valeur ne peut s'expliquer que lorsqu'on admet que la Terre elle-même fournit de l'énergie calorifique grâce aux radiations infrarouges qu'elle émet en tant que corps noir sachant que le flux géothermique n'est que 0,06 W/m².

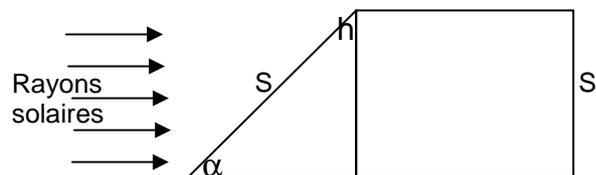
II-6- ENSOLEILLEMENT ET LATITUDE

La puissance d'ensoleillement change aussi en fonction de la hauteur du Soleil dans le ciel.

Les surfaces terrestres exposées de plein fouet au rayonnement solaire ont deux motifs de recueillir un fort ensoleillement.

Pour les surfaces éclairées par le Soleil, on assiste - comme tout un chacun le sait - à une rapide croissance de la puissance de l'ensoleillement au sol selon la hauteur du Soleil dans le ciel. Celle-ci est en effet le principal paramètre même si d'autres, tels que la nébulosité, peuvent jouer aussi.

Un effet géométrique intervient également. Plus le sol est incliné par rapport au Soleil, plus l'énergie solaire est répartie sur une ample surface. Une quantité x' Watts, plus ou moins amoindrie étant donné l'absorption, se répartit sur une surface S' qui est plus grande que S . Du coup, (en W/m^2), $\frac{x'}{S'} < \frac{x}{S}$



Appelons coefficient de rendement le rapport S'/S . S' est la surface projetée de S sur le sol et α est l'angle que fait le rayon solaire avec la verticale du lieu.

$$\frac{S'}{S} = \sin \alpha \quad (12)$$

¹² Notes de cours de RAZAFIMANDIMBY Hery Antenaina) « ENERGETIQUE APPLIQUEE »

III- LE CAPTEUR SOLAIRE ET LE THERMOMETRE

Un capteur solaire peint en noir est un appareil permettant de capter et d'absorber de l'énergie solaire afin de devenir lui-même un générateur de calories selon le principe de corps noir.

La dénomination *corps noir* a été introduite par le physicien Gustav Kirchhoff en 1862. Le modèle du corps noir permit à Max Planck de découvrir la quantification des interactions électromagnétiques, qui fut un des fondements de la physique quantique.

Le corps noir est un objet idéal qui absorberait toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ou en transmettre. Il n'est fait aucune autre hypothèse sur la nature de l'objet. La seule radiation provenant du corps noir est la radiation thermique, ne dépendant que de la température du corps. En pratique, un tel objet matériel n'existe pas, mais il représente un cas *idéalisé* servant de référence pour les physiciens. Contrairement à ce que son nom suggère, un corps noir n'apparaît pas forcément noir.

Considérons le cas simple d'un milieu (M) recevant une énergie lumineuse incidente E_i au point I d'incidence.

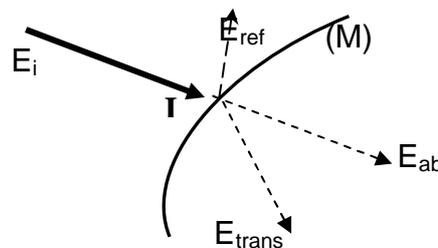


Figure 3 : Répartition d'un rayon incident sur une surface quelconque

Selon les caractéristiques et les propriétés de ce milieu (M), l'énergie incidente E_i après incidence en I, se décompose en énergie absorbée E_{ab} , en énergie réfléchie E_{ref} et en énergie transmise E_{trans} telle que :

$$E_i = E_{ab} + E_{ref} + E_{trans} \quad \text{(B-1)}$$

Du point de vue de la physique, tout corps se caractérise par trois coefficients :

$$\text{Coefficient de réflexion } R = \frac{E_{ref}}{E_i} \quad \text{(B-2a)}$$

$$\text{Coefficient de transmission } T = \frac{E_{trans}}{E_i} \quad \text{(B-2b)}$$

$$\text{Coefficient d'absorption } A = \frac{E_{ab}}{E_i} \quad \text{(B-2c)}$$

Selon l'équation (B-1), $R+T+A=1$ et un corps est considéré comme noir si A est maximal et R et T sont minimales

D'après la loi de Kirchhoff, $A = \varepsilon$ où ε est appelé degré de noirceur¹³.

Dans la pratique, un modèle de corps noir est un modèle idéalisé et pour avoir A maximal, on prendra des corps de couleur noire où le coefficient de réflexion R est minimal.

Les rayonnements solaires proviennent de la transmission de l'énergie par rayonnement du Soleil dont la partie superficielle est considérée comme un corps noir

Déduite du spectre d'émission du Soleil, la température à la surface du Soleil est de 5 780 K soit 5.507°C.¹⁴

Les lois du corps noir

En principe, on peut considérer que les photons interviennent dans le modèle de corps noir.

Le photon possède les caractéristiques suivantes :

- masse au repos nulle, donc énergie $E = c.p$
- $E = \hbar\omega = h\nu$
- Le potentiel vecteur \vec{A} étant à trois composantes, $s = 1$. C'est une particule à spin entier, donc un boson.
- $\mu = 0$
- La polarisation d'une onde électromagnétique présente deux états possibles : la polarisation elliptique gauche et la polarisation elliptique droite.

¹³ Notes de cours MECANIQUE STATISTIQUE de EDMOND

¹⁴ <http://www.neufplanetes.org/appendices/data2.html>

Ce qui explique le facteur 2 dans la densité d'état $\xi(g) = 2\left(\frac{\pi V}{h^3 c^3}\right) \varepsilon^2$ **(B-3)**

Dans ce cas, partant de la distribution de Bose- Einstein, l'existence énergétique monochromatique u_λ pour une longueur d'onde λ donnée est donnée par la loi de Planck :

$$u_\lambda = \frac{\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \quad \text{(B-4)}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide, h est la constante de Planck et k est la constante de Boltzmann.

On définit le potentiel thermodynamique comme étant

$$\Omega_{boson} = kT \int_0^\infty \xi(g) \ln(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}) d\varepsilon. \quad \text{(B-5)}$$

(En fait, Ω_{bosons} ainsi défini est l'énergie libre)

$$\begin{aligned} &= k T \int_0^\infty \frac{2 \pi V \varepsilon^2}{h^3 c^3} \ln(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}) d\varepsilon \\ &= k T \int_0^\infty \frac{2 \pi V \varepsilon^2}{h^3 c^3} \ln(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}) d\varepsilon \\ &= \frac{2 \pi k T V}{h^3 c^3} \int_0^\infty \varepsilon^2 \ln(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}) d\varepsilon \end{aligned}$$

Posons $x = \frac{\varepsilon}{kT}$, alors $\varepsilon = kTx$ et $d\varepsilon = kTdx$

$$ce \text{ qui donne } \Omega = \frac{2 \pi V k^4 T^4}{h^3 c^3} \int_0^\infty x^2 \ln(1 - e^{-x}) dx \quad \text{(B-6)}$$

Remarquons que $x > 0$ donc $0 \leq e^{-x} \leq 1$ et $\frac{1}{1 - e^{-x}} = \sum_{n=0}^\infty (e^{-x})^n$

$$D' autre part \frac{d}{du} \ln(1 - u) = - \frac{1}{1 - u}$$

$$\frac{d}{d(e^{-x})} \ln(1 - e^{-x}) = - \frac{1}{1 - e^{-x}} = - \sum_{n=0}^\infty (e^{-x})^n$$

$$A \text{ lors } \frac{d}{du} \ln(1 - u) = - \frac{1}{1 - u} \text{ et } d \ln(1 - u) = - \frac{1}{1 - u} du$$

$$\ln(1-u) = -\int \frac{1}{1-u} du = -\int \sum u^n du = \sum \frac{u^{n+1}}{n+1}$$

$$\text{D'autre part } \frac{d}{du} \ln(1-u) = -\frac{1}{1-u}$$

$$\frac{d}{d(e^{-x})} \ln(1-e^{-x}) = -\frac{1}{1-e^{-x}} = -\sum_{n=0}^{\infty} (e^{-x})^n$$

$$\text{A lors } \frac{d}{du} \ln(1-u) = -\frac{1}{1-u} \text{ et } d \ln(1-u) = -\frac{1}{1-u} du$$

$$\ln(1-e^{-x}) = -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(e^{-x})^{n+1}}{n+1} = -\sum_{l=1}^{\infty} \frac{(e^{-x})^l}{l}$$

$$\int_0^{\infty} x^2 \ln(1-e^{-x}) dx = -\int_0^{\infty} x^2 \sum_{l=1}^{\infty} \frac{(e^{-x})^l}{l} dx = -\sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{l} \int_0^{\infty} x^2 e^{-lx} dx$$

Effectuons deux intégrations par parties successives.

Lors de la première intégration, on pose $u=x^2$ et $dv=e^{-lx} dx$

et lors de la deuxième intégration, on pose $u=x$ et $dv=e^{-lx} dx$

On obtient alors :

$$\int_0^{\infty} x^2 \ln(1-e^{-x}) dx = (-2) \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{l^4} = (-2) \frac{\pi}{90} \quad (\text{voir annexe})$$

Ce qui donne à la fin,

$$\Omega = -\frac{2\pi^5 V k^4 T^4}{45 h^3 c^3} \quad (\text{B-7})$$

$$\text{Par définition, } P = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial V}\right)_T = \frac{2\pi^5 k^4}{45 h^3 c^3} T^4 \quad (\text{B-8})$$

$$\text{Par ailleurs, on peut démontrer que } P = \frac{1}{3} E_v = \frac{1}{3} \frac{I}{c}$$

où E_v est l'énergie par unité de volume
et I est l'énergie par unité de surface

$$\text{En effet : } P = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial V}\right)_T = \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{45 h^3 c^3} \quad (\text{B-9})$$

$$S = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial T}\right)_V = \frac{8}{45} \frac{\pi^5 k^4 V T^3}{h^3 c^3} \quad (\text{B-10})$$

$$\Omega = U - TS \text{ alors } U = \Omega + TS = 3 \cdot \left(\frac{8}{45} \left(\frac{\pi^5 k^4 V T^4}{h^3 c^3}\right)\right) = 3 \cdot P \cdot V$$

$$\text{alors } P = \frac{1}{3} \left(\frac{U}{V} \right) = \frac{1}{3} E_v \quad (\text{B - 1 1})$$

$$\frac{1}{3} \frac{I}{c} = \frac{2}{15} \frac{\pi^5 k^4}{h^3 c^3} T^4 \quad (\text{B - 1 2})$$

En posant $\sigma_0 = \frac{2}{15} \frac{\pi^5 k^4}{h^3 c^2}$, on a $I = \sigma_0 \cdot T^4$ (voir équation A-6)

Ce qui constitue la loi de Stephan Boltzmann où σ_0 est une constante physique, appelée constante de Stephan Boltzmann et a pour valeur :

$$\sigma_0 = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ J.K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

D'autre part, en annulant la dérivée de l'équation (B-4) par rapport à λ , on obtient $\frac{c}{\lambda T} = \text{constante}$.⁽¹⁵⁾

Ce qui donne $\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{constante de valeur } 2897 \cdot 10^{-6} \text{ m.K}$ **(B-14)**

Pour retrouver ces deux lois du corps noir, Planck a dû émettre l'hypothèse que l'énergie varierait de façon discontinue $E = nh\nu$ (une relation que nous avons déjà évoquée à la page 12, relation A-3) où $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

Sans cette hypothèse, on recevrait en effet une dose massive de rayons X ou gamma devant n'importe quel modeste feu de bois, au lieu du rayonnement infrarouge habituel.

Avec la relation (B-14), on trouve que la majeure partie des radiations émises par le Soleil correspond à la radiation des visibles et que les radiations émises par les corps de température ambiante sont des radiations infrarouges.

Comme nous n'avons pas encore à notre disposition un tel matériel, il est nécessaire de mettre au point un capteur et puis de tester ses performances. Nous allons utiliser un premier capteur C1 constitué de récipient en aluminium en forme cylindrique coloré en noir ardoisine ayant une capacité de 5 litres

* La constante σ_0 est constante de Stephan Boltzmann du nom des deux physiciens autrichiens Joseph Stephan et Ludwig Boltzmann, qui respectivement, en 1879 et en 1884, découvrirent la relation entre le pouvoir d'émission et la température.

¹⁵ E. H. Wichman, Physique quantique p24

Les dimensions de ce cylindre sont 60 cm de contour et 40 cm de hauteur.

. Ce qui donne une surface latérale $S_l = 40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} = 2400 \text{ cm}^2$.

La surface de base (inférieure et supérieure) = $2S_b = 573,25 \text{ cm}^2$

Donc la surface totale $S_{\text{totale}} = 2400 + 573,25 = 2973,25 \text{ cm}^2$

En estimant que la surface ensoleillée S_{exp} (celle qui est seulement exposée au

Soleil) est le tiers de cette surface totale, $S_{\text{exp}} = \frac{1}{3} S_{\text{totale}} = 991,08 \text{ cm}^2$

Les éléments chauffés sont l'eau dans le récipient et le récipient lui-même.

La quantité d'énergie absorbée par le système est alors $Q = (mc + M C) (\Delta T)$

La masse du récipient est $m = 803 \text{ g}$.

La capacité calorifique de l'aluminium est $c = 0,92 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La masse de l'eau est $M = 5 \text{ kg}$

La capacité calorifique de l'eau est $C = 4,1855 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Nous exposons au soleil le système de 14 heures à 16 heures et 21 minutes et nous relevons les températures toutes les 15 minutes.

En deuxième approche, nous avons utilisé un capteur C2 constitué d'un sac en cellophane de couleur noire de dimension 50cm X 23 cm.

Nous remplissons cette cellophane noire de 5 litres d'eau de robinet.

La surface exposée est alors $S_{\text{exp}} = 50 \text{ cm} \times 23 \text{ cm} = 1150 \text{ cm}^2$

Le système absorbant la chaleur est uniquement l'eau en négligeant l'épaisseur de la cellophane.

Nous exposons au soleil le système de 9 heures à 11 heures et nous relevons les températures toutes les trente minutes.

En troisième approche, nous avons utilisé un capteur C3 constitué de caisse colorée en noir par de l'ardoisine et couverte par un verre.

Les vitres sont transparentes à l'entrée et opaques à la sortie de ces radiations infrarouges. Ce qui constitue en partie le principe de l'effet de Serre

La troisième séance de mesure a été effectuée la journée du 20 Mars 2008.

Cette fois-ci, nous avons couvert d'une vitre le capteur constitué d'une cuvette plastique de couleur verte et remplie de 5 litres d'eau de robinet.

Le système est exposé au soleil de 9 heures à 13 heures et nous mesurons la température à l'aide d'un thermomètre à chaque espace de temps de 1 heure.

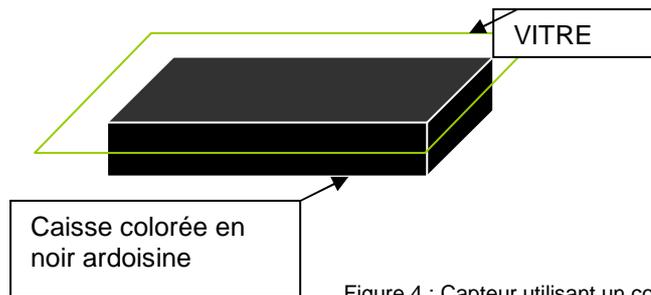


Figure 4 : Capteur utilisant un couvercle en vitre

IV- LES ECHANTILLONS D'EAU :

Nous avons prélevé des échantillons d'eau de puits de Beheloka, de Befasy, d'Anakao et de Soalara de la région d'Atsimo-Andrefana. Pour conserver les échantillons et pour éviter l'éventuelle multiplication des bactéries, on recueille les échantillons avec des bouteilles bien stérilisées et on les place dans une glacière.



Figure 5 : Photo montrant les échantillons dans une glacière

V- LE 3M™ PETRIFILM™

Présentation et principe

Nous nous disposons de deux types de milieu de culture pour deux espèces de bactéries à identifier :

- 3M™ Pétrifilm™ Flores totales sont des milieux de culture prêt à l'emploi qui contient des agents sélectifs, des éléments nutritifs un agent gélifiant soluble dans l'eau froide, et un indicateur qui colore en rouge les souches

des flores totales. Ce qui permet d'indiquer la présence de ces bactéries dans les échantillons.

- 3M™ Pétrifilm *Escherichia coli* sont des milieux de culture prêt à l'emploi qui contient des agents sélectifs, des éléments nutritifs, un agent gélifiant soluble dans l'eau froide, et un indicateur de *béta-glucuronidase* : le 5 bromo- 4chloro-indolil- β -D glucoromide, qui permet le dénombrement des colonies. Les souches d'*Escherichia coli* produisent une béta-glucuronidase qui réagit avec un substrat chromogène présent dans le test pour donner une couleur verte foncée au bleu-vert

Traitement des eaux

On remplit le capteur C3 d'un échantillon d'eau de chaque site. On expose l'ensemble au soleil jusqu'à ce que la température 70°C soit atteinte

Ensemencement

On place le Pétrifilm sur une surface plane et on soulève le film supérieur

Avec une pipette tenue perpendiculairement au Pétrifilm, on ensemence 1 ml d'échantillon d'eau (fig 7)

Pour nos expériences, pour chaque échantillon d'eau provenant des villages sus mentionnés, nous allons faire deux tests parallèles afin de comparer les effets des traitements.

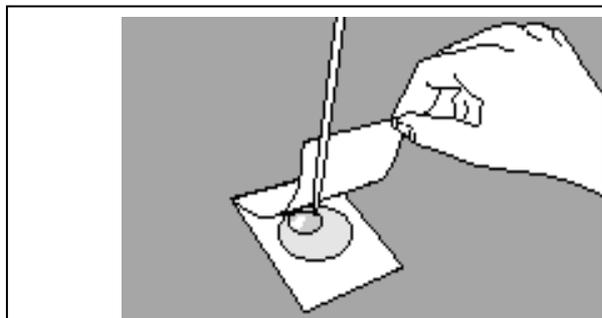


Figure 7 : Ensemencement d'un inoculum

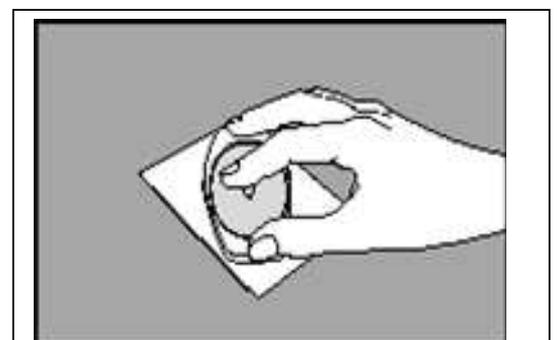


Figure 9 : Le diffuseur sur l'inoculum

Le premier test consiste à analyser de l'eau non traitée et le deuxième, l'eau traitée (stérilisée avec le capteur solaire C3)

On relâche doucement le film supérieur.

Pour les Pétrifilms sélectifs des Flores totales, on place le diffuseur, face lisse vers le haut, au centre du film supérieur, au dessus de l'inoculum. (fig 9)

Pour les Pétrifilms sélectifs des *Escherichia coli* la face du diffuseur sera tournée vers le bas.

On étale l'échantillon en exerçant une légère pression sur le diffuseur et on retire le diffuseur et on attend 1 minute pour permettre au gel de se solidifier.



Figure 9 : Photo montrant un Incubateur

Et enfin on introduit les Pétrifilm ainsi préparés dans un incubateur qui est un appareil permettant de maintenir la température optimum au développement des bactéries à étudier.

Pour les flores totales, on incube dans une étuve des "Pétrifilm" ensemencés d'inoculum (le film vers le haut), sans empiler plus de 20 unités, à 30°C pendant 48 à 72 heures.

Pour les *Escherichia coli*, l'incubateur sera maintenu à une température de 42°C pendant 24h.

Si l'échantillon contient des bactéries, ces bactéries vont se multiplier grâce aux conditions du milieu et aux éléments nutritifs contenus dans le Pétrifilm. Et à partir de 48 heures, ces bactéries se présenteront sous forme de colonies. A une colonie correspond une bactérie au départ.

Lorsque les temps d'incubation se sont écoulés, on procède à la lecture et comptage des colonies

Lecture et comptage des colonies.

a- Cas des Flores totales :

La plage optimale pour le développement du Pétrifilm Flores totales se situe entre 10 et 300 colonies.

On doit compter toutes les colonies colorées en rouge sans tenir compte de leur taille ou de l'intensité de la couleur. (Exemple figure 11)

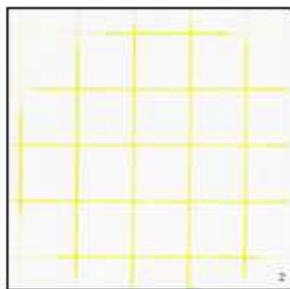


Fig. 10 : Photo montrant un Pétrifilm Flore totale sain.
Nombre de colonies = 0

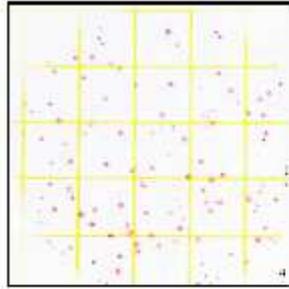


Fig. 11 : Photo montrant un nombre de colonies = 143

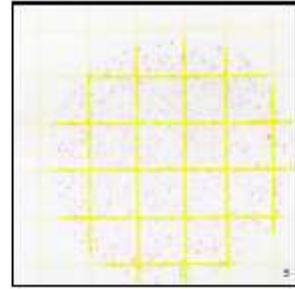


Fig. 12 : Photo montrant un nombre de colonies estimé à 420

Lorsque le nombre de colonies est supérieur à 300, il pourra être simplement estimé en déterminant le nombre moyen de colonies dans un carré de 1 cm² et de le multiplier par 20 (20 cm² est la surface moyenne inoculée) afin d'obtenir le nombre total estimé de colonies sur le Pétrifilm. (Exemple figure 12)

Le résultat sera enregistré incomptable dans l'un des cas suivants :

- les colonies sont trop nombreuses (figure 13)
- Pour une contamination trop importante, la gélose vire au rose et les

- colonies s'observent seulement sur un pourtour de la gélose. (fig. 14)
- La répartition des colonies n'est pas uniforme.
- Si on observe une grande concentration de colonies sur le pourtour du cercle de gélose quoique les colonies apparaissent comptables

b- Cas des *Escherichia coli* :

La plage de dénombrement optimale pour les tests Pétrifilm sélectifs des *Escherichia coli* est de 15 à 150 colonies. La suite est identique à celui des Flores totales à la différence près que le nombre de colonies est considéré incomptable lorsque les colonies apparaissent petites et indistinctes ou que toute la zone de croissance du test est colorée uniformément en bleu-vert.

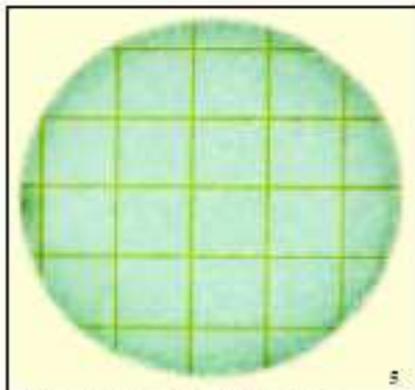


Fig. 13 : Nombre de colonies incomptables. Les colonies apparaissent petites et indistinctes

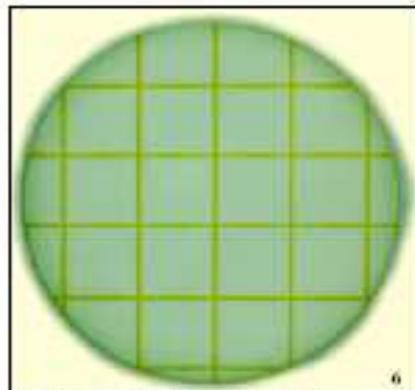
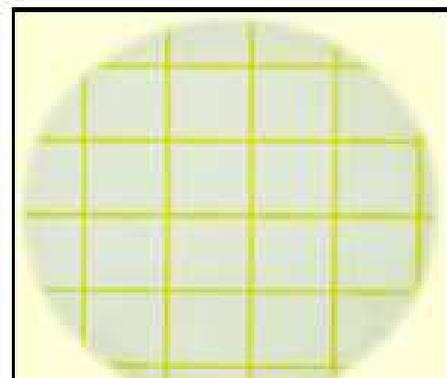
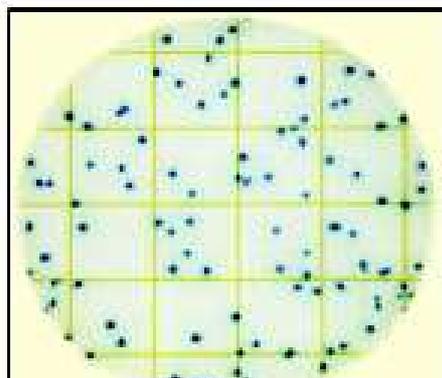


Fig. 14 : Nombre de colonies incomptables. Toute la zone de croissance du test a une coloration bleu-vert



Figures 15: Illustration de lecture de Pétrifilm pour un échantillon d' *Escherichia coli*. Avant le traitement (fig. 15a), le nombre de colonies est de 97 et après traitement réussi (fig. 15b), le nombre de colonie est de 0.

C- RESULTATS – INTERPRETATION ET DISCUSSIONS

I- MISE AU POINT DU CAPTEUR

Cette première mesure a été effectuée le 27/11/07.

Nous mesurons l'évolution de la température en fonction du temps.

Nous récapitulons les résultats sous forme de tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Résultat de mesure pour le premier capteur

Heures minutes	Température (°C)
14 h 00 min	30
14 h 10 min	32
14 h 23 min	34
14 h 34 min	35
14 h 55 min	37
15 h 04 min	39
15 h 13 min	40
15 h 53 min	42
16 h 03 min	46
16 h 14 min	47
16 h 21 min	48

Calcul de la puissance du capteur C1:

La variation de la température est $\Delta T = 18 \text{ K}$.

Exprimée en joules, cette énergie a pour valeur $E = 376.893 \text{ J}$.

Pour une surface de $S_{\text{exp}} = 991,08 \text{ cm}^2$, l'énergie reçue par unité de surface sera $E_S = 3.807.000 \text{ J/m}^2$

Comme le temps d'exposition est de 2 heures 21 minutes ou 8460 secondes, la puissance reçue par unité de surface est de 450 W.m^{-2} .

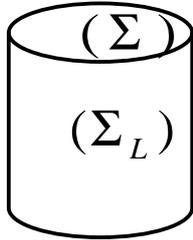
Le capteur ne permet d'obtenir une température assez élevée pour bloquer la croissance des bactéries c'est-à-dire pour stériliser l'eau.

Ce résultat nous amène à améliorer la performance du capteur en fabriquant et en testant un deuxième capteur C2.

Cette deuxième étude a été faite le 02/12/07

Remarque¹⁶ :

On pourrait faire un calcul plus précis de cette valeur en raisonnant comme suit : La puissance reçue est :



$$P_{\text{totale}} = \iint_{\Sigma} I_0 \vec{u} \cdot d\vec{\Sigma} + \iint_{\Sigma_L} I_0 \vec{u} \cdot d\vec{\Sigma}_L$$

(Σ) : Surface de base et (Σ_L) : Surface latérale

$$\vec{u} \begin{pmatrix} \cos \varphi \sin \theta \\ \sin \varphi \sin \theta \\ \cos \varphi \end{pmatrix} \quad \text{avec } \varphi = \varphi(t, J, \lambda) \text{ et } \theta = \theta(t, J, \lambda)$$

Nous relevons la température en fonction du temps. Les résultats de cette deuxième étude sont donnés dans le tableau 4.

Calcul de la puissance du capteur C2.

La variation de température est de 23 K, $Q = 4,1855 \cdot 10^3 \times 5 \times 23 = 4813,5 \text{ J}$.

L'énergie reçue par unité de surface est $W = \frac{481,33 \cdot 10^3}{1,15 \cdot 10^{-1}} = 4185500 \text{ J/m}^2$

La durée d'exposition étant 02 heures 13 minutes = 7980 secondes.

La puissance absorbée par le deuxième capteur est $P = W/t = 524,49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tableau 4 : Résultat de mesure pour le deuxième capteur

Heures minutes	Température (°C)
09 h 04 min	27
09 h 34 min	32
10 h 04 min	40
10 h 25 min	45
11 h 15 min	50

Le rendement du deuxième capteur est mieux que le premier mais sa puissance reste toujours insuffisante pour stériliser l'eau.

Ce résultat nous amène à fabriquer un troisième capteur C3.

¹⁶ Notes de cours « Energétique Appliquée » (Razafimandimby Hery Antenaina)

La troisième séance de mesure a été effectuée la journée du 20 Mars
 Les résultats de cette troisième étude sont donnés dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Résultat de mesure pour le troisième capteur.

Heures minutes	Température (°C)
09 h 04 min	27
10 h 04 min	32
11 h 04 min	55
12 h 04 min	67
13 h 04 min	73

La température de 70°C est atteinte pendant une durée d'exposition de 4 heures.

L'analyse de ces résultats montre que le troisième capteur a une puissance intéressante pour effectuer la stérilisation des eaux chargées de bactéries.

II- EFFICACITE DES TRAITEMENTS

Pour les quatre sites, on a pu photographier les pétri films (voir annexe 2)
 Les données obtenues après dépouillement et comptage des colonies présentes dans chaque échantillon avant et après traitement pour chaque site sont présentées dans le tableau n°6 suivant :

Tableau 6 montrant des résultats des dépouillements avant et après traitement

Nom du site	Nombre de colonies d'Eschérichia coli avant traitement	Nombre de colonies de Flores totales avant traitement	Nombre de colonies après traitement	Source d'échantillon
Soalara	18	Incomptable	00	Eau de puit
Anakao	02	400	00	Eau de puit
Beheloka	01	30	00	Eau de mer
Befasy	10	300	00	Eau de puit

III- INTERPRETATION ET DISCUSSIONS

L'analyse de ces résultats nous permet de constater les faits suivants :

Une première constatation est que tous les échantillons non traités sont contaminés par des bactéries *Escherichia coli* et des Flores totales.

Pour *l'Escherichia coli*.

Soalara : l'eau contient 18 colonies par ml c'est-à-dire 18.000 bactéries par litre

Anakao : l'eau contient 02 colonies par ml c'est-à-dire 2.000 bactéries par litre

Beheloka : l'eau contient 1 colonies par ml c'est-à-dire 1.000 bactéries par litre

Befasy : l'eau contient 10 colonies par ml c'est-à-dire 10.000 bactéries par litre.

L'eau que les villageois du littoral sud Ouest de la région de Toliara est contaminée.

On a vu que la pollution varie d'un village à l'autre.

Pour Anakao et Beheloka, la pollution bactérienne est moins importante par rapport aux deux autres villages. Cette différence est due au fait que l'eau utilisée provient d'une nappe que l'on creuse dans le sable et que les villageois recouvrent leur puit de sable après chaque prélèvement. Il n'y a pas trop de contact entre l'air et l'eau et en plus l'eau est salée et dans la majorité des cas, l'eau est dure.

Les *Escherichia coli* sont des bactéries spécifiques des contaminations fécales. Les conditions physiques des milieux marins sont plus proches des conditions de l'intestin. C'est la raison pour laquelle leurs nombres sont plus importants pour les cas de Soalara et de Befasy.

Pour *les flores totales*

Soalara : le résultat est incompatible

Anakao : l'eau contient 400 colonies par ml c'est-à-dire 400.000 bactéries / litre

Beheloka : l'eau contient 30 colonies par ml c'est-à-dire 30.000 bactéries / litre

Befasy : l'eau contient 300 colonies par ml c'est-à-dire 300.000 bactéries / litre.

Les eaux sont très chargées de Flores totales. Mais la majorité de ces flores totales ne sont pas des bactéries nocives à l'organisme humain.

Une deuxième constatation est qu'après traitement avec les rayonnements infrarouges, le nombre de colonies observées pour chaque échantillon est zéro dans quelque soient les origines des échantillons.

Nous pouvons dire donc que :

- le capteur C3 que nous avons fabriqué et utilisé est performant et efficace. Il transforme bien l'énergie solaire en infrarouge. C'est un appareil « calorigène » malgré le temps d'exposition nécessaire pour porter à la température voulue assez grande.
- les rayonnements infrarouges ont un effet « bactéricide ». Par effet thermique, ils détruisent les molécules constituant les bactéries qui ne peuvent vivre que dans une fourchette de température.

Si l'énergie véhiculée par les ondes électromagnétiques en utilisant la relation Planck (relation A-3) n'est pas suffisante, la forte augmentation de température est due au fait que les infrarouges sont associés à la chaleur car, pour une température ambiante de 30°C ou de 303 K, l'équation (B-14) donne $\lambda_{\max} = 9,66 \cdot 10^{-6}$ mètres, une valeur qui correspond à une radiation infra rouge moyen. Les radiations infrarouges produisent alors de la chaleur et les corps chauds rayonnent des infrarouges.

Par ailleurs, le rayonnement infrarouge met en vibration les atomes du corps qui l'absorbe et donc élève sa température (transfert de chaleur par rayonnement). Les électrons périphériques libres des atomes dans le verre vibrent sur toutes les fréquences imposées. Quand un corps reçoit une onde, quelle que soit la fréquence de celle-ci, ses électrons se mettent à vibrer en synchronisme avec elle et cette onde est alors partiellement absorbée et transformée en chaleur.

Les molécules constituant le verre vibrent lentement à des fréquences correspondant à celles des rayons infra rouges lointains (30-1 000 μm). Dans ce domaine, le verre est opaque pour les radiations infrarouges¹⁷.

¹⁷ http://www.verreonline.fr/v_plat/prop_trans1.php

Un des avantages de cette méthode de désinfection de l'eau est qu'elle est d'abord économique.

La réalisation du dispositif pour capter la lumière est :

- pratique par rapport aux appareils utilisant l'énergie électrique et encore plus pour les gens de la brousse où l'énergie électrique n'est pas disponible
- très simple car c'est facile à construire avec des matériaux locaux.
- peu coûteuse par rapport aux autres techniques et l'énergie solaire est gratuite et disponible partout dans la région.
- durable car le soleil, nous le savons déjà rayonnera encore dans les 5.10^9 années à venir.
- écologique car elle n'a pas de risque d'effets néfastes des traitements chimiques.

.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les ondes électromagnétiques à elles-mêmes ne suffisent pas pour entretenir la vie sur la Terre, Mais elles peuvent être valorisées pour des biens spécifiques de l'humanité, en particulier dans le cadre de la santé publique. Ceci est fondé sur des bases scientifiques et confirmé par la loi de Stephan Boltzmann qui nous a expliqué les propriétés des radiations infrarouges.

Les lois du corps noirs nous ont inspiré à concevoir un dispositif qui permettrait de capter et d'absorber les radiations afin d'obtenir un échauffement assez important.

Notre travail a trouvé son essence dans l'explication de l'origine de la chaleur rayonnée par le Soleil. Il a dit long sur les phénomènes de réactions de fusion qui se passent au niveau du Soleil et sur les modes de propagation de ces ondes électromagnétiques du Soleil jusqu'à la Terre.

La durée de l'exposition pour atteindre une température de 70°C (ou 343 K) est de l'ordre de quatre heures.

Malgré la durée de traitement assez longue, nous avons pu stériliser les eaux polluées (18.000 bactéries par litre à 0 ; 2.000 bactéries par litre à 0 ; 1.000 bactéries par litre à 0 et 10.000 bactéries par litre à 0 respectivement pour les cas de Soalara, d'Anakao, de Beheloka, et de Befasy) destinées à l'alimentation et aux autres usages domestiques des villageois dans le littoral du Sud Ouest.

Ces résultats sont très intéressants car appliqués à la lutte contre les maladies liées à l'eau, ils permettraient d'améliorer les conditions de santé de la population rurale avec un moindre coût.

Nous avons pu prouver que le Soleil est une source d'énergie gratuite, décentralisées, non polluante, durable et facile à utiliser.

Ainsi, nous souhaiterions que le centre de recherche en énergie nouvelle et renouvelable de Tuléar puisse trouver sa place dans les programmes de Formation et de Recherches Appliquées par le biais du Département des Physiques et de l'Environnement.

La puissance théorique de l'ordre de 160 W.m^{-2} captée par la terre et la quantité importante d'eau qu'on a mis dans le capteur est trop importante pourraient expliquer pourquoi la durée d'exposition est très longue. Cette durée est l'objet de discussion pour ceux qui ont l'habitude d'obtenir l'ébullition de l'eau par utilisation d'autres sources d'énergie (électricité, bois de chauffe, charbon, gaz...). Mais si l'on veut vraiment exploiter l'énergie solaire et préserver l'Environnement, on pourrait toujours améliorer le rendement du dispositif en déterminant la capacité optimale du capteur. Ceci, à travers une modélisation du stérilisateur -objet de sujet de mes recherches pour l'obtention du doctorat du 3^o cycle - en fonction des paramètres qui suivent : durée d'exposition, nature et surface du capteur, quantité d'eau à traiter

Des résultats ont été prouvés mais l'application de ces techniques ne dépend que du besoin, de l'acceptabilité technique, culturelle des futurs usagers d'où la nécessité d'une éducation de la population pour la prise de responsabilité. Les problèmes liés aux maladies hydriques sont d'ordre économique, social et bien sûr, culturel¹⁸.

C'est pour cela que nous lançons appel aux éco développeurs et aux autorités décentralisés, voire même le gouvernement à sensibiliser la population surtout rurale à utiliser cette méthode de proximité.

La fiabilité du test est vérifiée car une étude en parallèle avec d'autres milieux de culture a été faite avec des rayonnements ultraviolets et cette étude a conclu les mêmes résultats qu'avec les rayonnements infra rouges avec le test Pétri film.

Pour terminer, nous rappelons que d'autres domaines de l'application de l'infrarouge sont possibles. Dans les pays où les recherches scientifiques sont déjà développées, l'infrarouge trouve déjà ses importances dans les domaines de l'armée, de la médecine, de l'astronomie, de la télé communication (fibre optique, télécommandes...), des contrôles des faux billets et de l'industrie.

¹⁸ David Werner: Where there is no doctor

BIBLIOGRAPHIE

- 1- <http://www.hao.ucar.edu/public/slides/slides.html>
- 2- RAZAFIMANDIMBY HERY ANTENAINA, « Energétique Appliquée », Notes de cours 3^o cycle de Physique, Faculté des Sciences de l'Université de Toliara, 2006
- 3- <http://forum.futura-sciences.com/tags/infrarouge-chaleur-onde/>
- 4- <http://page.ad2.google.com>
- 5- <http://www.santetropicale.com>
- 6- <http://www.neufplanetes.org/appendices/datamax.html#largest>
- 7- JavaScript: openwindow
- 8- ROGER. PETIT, « Ondes électromagnétiques en radioélectricité et en optique » ; pp 186, 245-247 MASSON, Paris 1989, 343 pages.
- 9- JACKY BOURDAIS, Physique, pp282, 283 Bordas, Paris 1989, 432p
- 10- CH. NGÔ et H. NGÔ, « Physique statistique » 1970, Pergamon Press, pp 58-62, 153 pages
- 11- http://www.verreonline.fr/v_plat/prop_trans1.php
- 12- EDMOND, « PHYSIQUE STATISTIQUE » ; Notes de cours 3^o cycle de Physique ; Faculté des Sciences de Toliara, 2006
- 13- DAVID WERNER with THUMAN & Jane MAXWELL, "When there is no doctor" pp 37, 45 revised edition. The hesperian Foundation, 1988, 446pages.
- 14- EDWARD M. Purcell et coll, "Cours de Physique, Electricité et Magnétisme" p 263, BERKELEY, Armand Colin 75 Paris 5, 460pages.
- 15- E.H WICHMANN et coll, "Cours de Physique, Physique quantique" p 24, , BERKELEY, Armand Colin 75 Paris 5, 423pages.

ANNEXE 1

a) Rappel sur les séries de Fourier :

Toute fonction $f(x)$ périodique, de période T peut prendre la forme

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(\frac{2\pi nx}{T}) + b_n \sin(\frac{2\pi nx}{T})] \quad (1)$$

Pour les fonctions paires, on démontre que b_n est nul et l'équation (1) devient

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\frac{2\pi nx}{T}) \quad (2)$$

$$\text{où } a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x) dx \quad (3)$$

$$\text{et } a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x) \cos(\frac{2\pi nx}{T}) dx \quad (4)$$

$$b) \text{ Calcul de l'intégrale } I_{2k} = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^{2k} \cos(\frac{2\pi nx}{T}) dx \quad (5)$$

Procédons par intégration par partie.

$$\text{Posons } u = x^{2k} \text{ et } dv = \cos(\frac{2\pi nx}{T})$$

$$\text{Ce qui donne } du = 2kx^{2k-1} dx \text{ et } v = \frac{T}{2\pi n} \sin(\frac{2\pi nx}{T})$$

$$L' \text{ équation (5) devient } I_{2k} = \frac{2}{T} \left\{ \frac{T}{2\pi n} \left[x^{2k} \sin(\frac{2\pi nx}{T}) \right]_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} - \frac{kT}{\pi n} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^{2k-1} \sin(\frac{2\pi nx}{T}) dx \right\} \quad (5')$$

Comme n est entier, $\sin(n\pi) = 0$

$$L' \text{ équation (5')} \text{ devient } I_{2k} = \frac{2}{T} \left\{ - \frac{kT}{\pi n} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^{2k-1} \sin(\frac{2\pi nx}{T}) dx \right\} \quad (5'')$$

Et en utilisant $\cos n\pi = (-1)^n$, l'équation (5'') devient

$$I_{2k} = \left(\frac{T}{2}\right)^{2k} \left(\frac{2k}{\pi^2 n^2}\right) (-1)^n [1 - (-1)^{2k-1}] - \frac{k(2k-1)T^2}{2\pi^2 n^2} I_{2k-2} \quad (6)$$

Calculons I_2 en faisant $k=1$ dans l'équation (6).

$$\text{Il vient } I_2 = \left(\frac{T}{2}\right)^2 \left(\frac{2k}{\pi^2 n^2}\right) 2(-1)^n - \frac{T^2}{2\pi^2 n^2} I_0 \quad (7)$$

Pour $k=0$, l'équation (5) s'annule. Ce qui donne $I_0 = 0$

$$\text{Alors, l'équation (7) devient } I_2 = \left(\frac{T}{\pi n}\right)^2 (-1)^n \quad (8)$$

c) Développons en série de Fourier la fonction x^2 qui est une fonction paire

Pour $f(x) = x^2$, l'équation (2) donne

$$x^2 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2 dx + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2 \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx \cdot \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \quad (9)$$

Remarquons que $\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2 dx = \frac{T^2}{12}$ et que selon l'équation (8), $\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2 \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx = I_2 = (-1)^n \left(\frac{T}{n\pi}\right)^2$

$$\text{Il vient } x^2 = \frac{T^2}{12} + \left(\frac{T}{\pi}\right)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \quad (10)$$

$$\text{Et en faisant } x = \frac{T}{2}, \text{ l'équation (10) donne } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{16} \quad (11)$$

d) Calculons maintenant I_4

$$\text{En faisant } k = 2 \text{ dans l'équation (6), on a } I_4 = \frac{T^4}{2\pi^2} \frac{(-1)^n}{n^2} - \frac{3T^2}{\pi^2 n^2} I_2 \quad (12)$$

$$\text{Selon l'équation (8), il vient } I_4 = (-1)^n \frac{T^4}{2\pi^2 n^2} \left(1 - \frac{6}{\pi^2 n^2}\right) \quad (13)$$

e) Développons en série de Fourier la fonction x^4

En procédant comme en c), on a :

$$x^4 = \frac{T^4}{5 \cdot 2^4} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{T^4}{2\pi^2 n^2} \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{6T^4}{2\pi^4 n^4} \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \quad (14)$$

$$\text{Et en faisant de nouveau } x = \frac{T}{2}, \text{ l'équation (14) donne } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} = \frac{\pi^4}{90} \quad (15)$$

ANNEXE 2

Photos montrant les Pétrifilms avant et après traitement avec les rayonnements infra rouges pour les tests d'*Escherichia coli*



Figure 16 : Photos montrant le nombre de colonies d' *E. coli* avant et après traitement pour le site SOALARA (eau de puit) E4 : avant traitement (18) E'4 : après traitement (00)

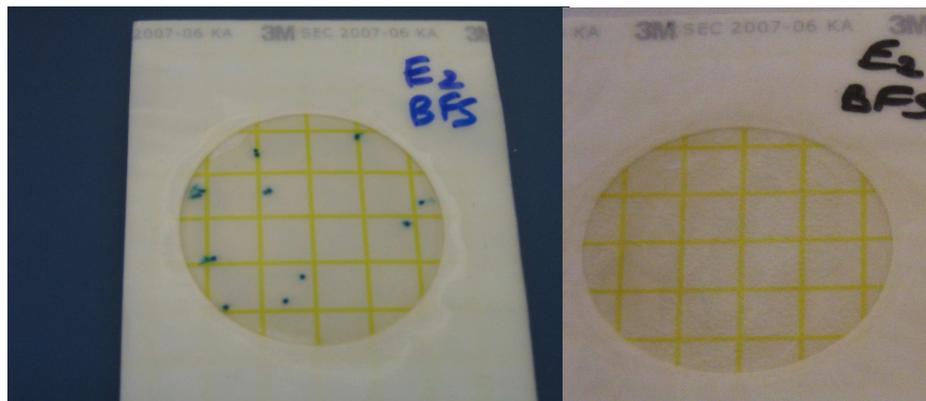


Figure 17 : Photo montrant le nombre d' *E. coli* pour le site de BEFASY (10/00) avant traitement : (10) après traitement : (00)



Figure 18 : Photo montrant les colonies d' *E. coli* avant et après traitement pour le site d' ANAKAO (eau de puit) E3 (Avant traitement) (02) E'3 (Après traitement). (00)

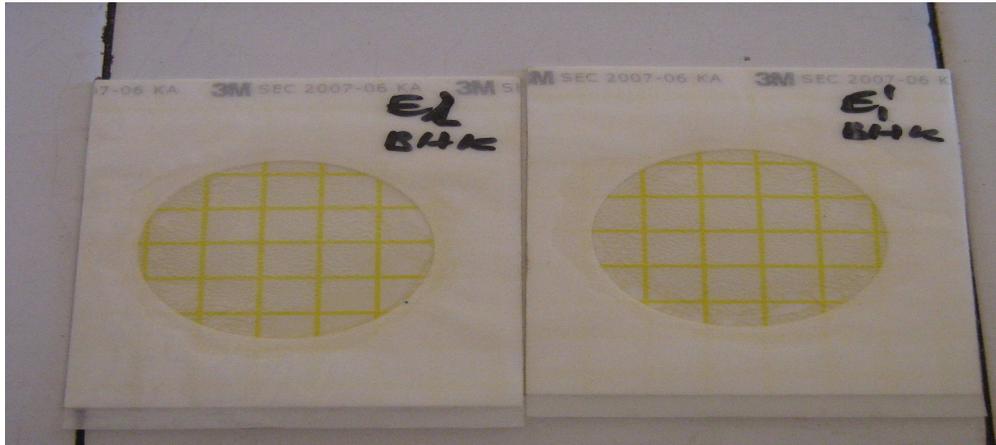


Figure 19 : Photo montrant les colonies de *E. coli* avant et après traitement pour le site de BEHELOKA
 E1 : avant traitement (01) E2 : après traitement (00)

Photos montrant les résultats des tests en Flores totales



Figure 20 Photos montrant les colonies des Flores totales. Site : BEFATSY.
 (E'2) avant traitement (300) et (E2) après traitement en infrarouges (00) :



Figure 21 : Photos montrant les colonies de Flores totales. Site BEHELOKA
 E1 : avant traitement (030) E'1 : après traitement (00)



Figure 22 : Photos montrant les colonies de Flores totales : Site ANAKAO
E3 : avant traitement (400) E'3 après traitement (00)

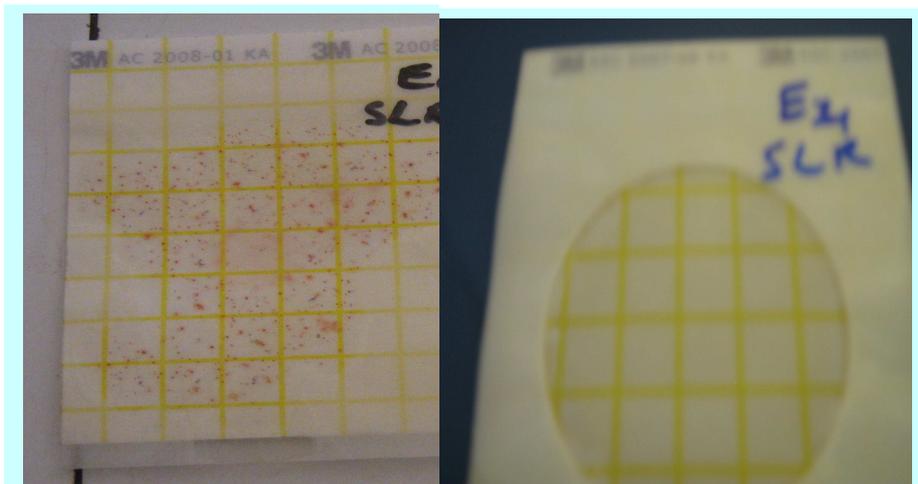


Figure 23 : Photos montrant les colonies de Flores totales : Site SOALARA
E : avant traitement (Incomptable) E4 : Après traitement (00)