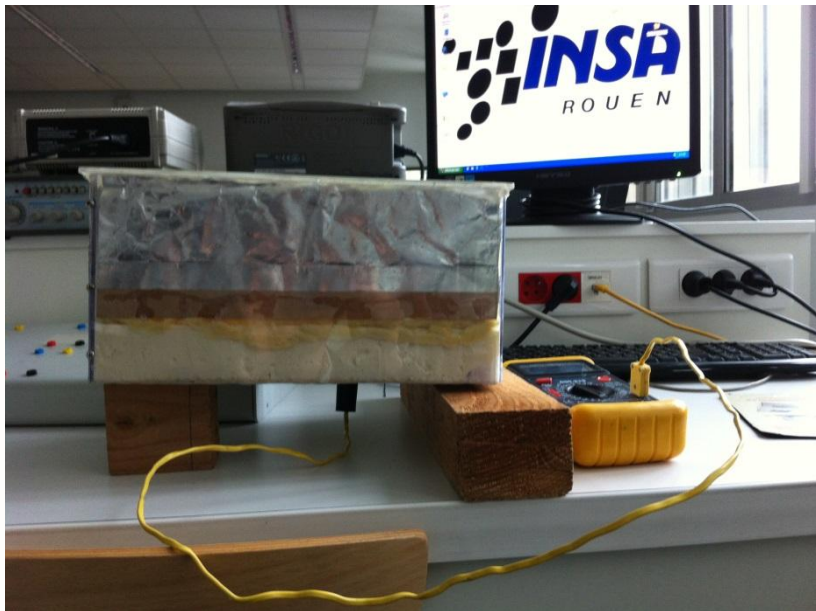


EFFET DE SERRE : MISE EN EVIDENCE ET MODELISATION



Etudiants :

Georgiana ALEXA

Pauline DOUBLET

Florent PINOCHE

Pierre BLAIN

Jade LUDJET

Simon RICHARD

Enseignant-responsable du projet :

Jerôme YON

Date de remise du rapport : **13/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 47**

Intitulé du projet : **Effet de serre : Mise en évidence et modélisation**

Type de projet : **expérimental, modélisation**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Nous avons pour but de comprendre le phénomène de l'effet de serre, puis de le modéliser. Enfin, nous devons l'illustrer par une expérience.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : **Effet de serre, transfert thermique, mise en application**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **inexistant**

Sommaire

1.	Introduction	5
2.	Méthodologie et organisation du travail	6
3.	Expérience	8
3.1.1.	Description de la maquette.....	8
3.1.2.	Manipulation.....	9
3.1.3.	Définitions	11
3.1.4.	Que s'est-il passé pendant la manipulation ?	11
3.2.	Recherche documentaire et compréhension du sujet.....	13
3.2.1.	Qu'est ce le rayonnement thermique ?	13
3.2.2.	Définition et lois fondamentales.....	13
3.2.3.	Réception du rayonnement par un corps.....	16
3.2.4.	Relation entre absorption et émission : loi de Kirchhoff	17
3.2.5.	Explication du phénomène de l'effet de serre.....	17
3.3.	Modélisation de l'effet de serre.....	19
3.3.1.	Mise en place de l'équation différentielle	19
3.3.2.	Résolution	21
4.	Conclusion	23
5.	Bibliographie	25
6.	Annexes.....	26
6.1.	Résumé du déroulé des séances	26
6.2.	Valeurs de la première expérience	28
6.3.	Valeurs de la seconde expérience (Annexe 2)	29
6.4.	Code informatique de notre modélisation	30

1. INTRODUCTION

L'effet de serre est une notion, dont nous avons tous entendus parler et qui est souvent assimilé au réchauffement climatique. C'est en fait un processus naturel qui provient de l'influence atmosphérique sur les flux thermiques, venant du soleil, et qui explique les températures au sol d'une planète. Ainsi l'atmosphère isole la Terre du vide spatial comme une serre isole les plantes de l'air extérieur, d'où son nom. L'effet de serre est donc vital à notre survie, s'il n'existait pas nous connaîtrions des températures extrêmes.

Ce projet nous a tout d'abord conduit à des recherches approfondies sur le sujet. En effet, la plupart des notions que nous avons abordées sont enseignées en département de spécialité. Cela nous a permis de découvrir des phénomènes et des notions que nous ne connaissions pas.

Nous nous sommes ensuite appropriés pour modéliser l'effet de serre grâce à Scilab un logiciel de calcul numérique.

Lors de ce projet nous nous avons aussi fait appel à des compétences expérimentales. Il nous a fallu construire une boîte pour mener à bien nos expériences, nous avons aussi découvert de nouveaux instruments de mesure tels que les thermocouples.

En premier lieu, nous présenterons l'organisation de notre projet de groupe. Ensuite nous détaillerons les fruits de notre travail, c'est-à-dire, l'expérimentation, les notions nécessaires à la compréhension du sujet et la modélisation.



2. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

La principale difficulté de notre projet fut la compréhension de notre sujet. En effet, ce sont des notions généralement étudiée en département de spécialité. Ainsi, la première partie de notre projet fut la compréhension de tous les termes scientifiques et de tous les éléments abordés. Cette première tâche a été exécutée en groupe, pendant les trois premières séances de projet. Nous avons également dû nous réunir à l'extérieur de l'INSA pour travailler. En effet, chaque semaine nous trouvions une nouvelle approche pour modéliser l'effet de serre, ce qui a considérablement ralenti le projet à ses débuts.

Cependant, lorsque chacun eût compris les notions abordées et que nous avons commencé à discerner le problème et la façon dont nous allions nous y prendre, nous avons, dès la quatrième séance, séparé le projet en deux parties : l'une théorique et l'autre pratique. Pour être efficaces pendant les heures de projet, nous avons décidé de diviser notre groupe de P6 en deux sous-groupes. Ainsi, Simon, Florent et Pierre se sont chargés de construire la boîte pour l'expérience et Pauline, Jade et Georgiana ont choisi de modéliser le phénomène dans un logiciel.

Cependant, bien que travaillant indépendamment, les deux groupes restaient en contact et nous nous assurons de tenir chaque sous-groupe au courant de l'avancée du travail à chaque début et fin de séance. Ainsi, cela nous permettait de connaître exactement l'avancement de notre projet, et de mieux anticiper le travail restant à faire les des séances suivantes.

Pour pouvoir nous tenir au courant pendant la semaine en cas des questions ou des éventuelles difficultés, nous avons décidé de créer un groupe Facebook. De cette façon, nous avons pu partager des liens internet, des photos, des fichiers et même le code de programmation pour travailler chez nous. Ainsi durant l'avancement du projet nous avons suivi l'évolution de chaque groupe et finalement nous avons réussi à réunir les résultats de l'expérience avec la modélisation.

Lorsque la partie théorique et la partie pratique furent terminées, c'est-à-dire à la fin des neuf premières séances, nous nous sommes de nouveau réunis pour pouvoir comparer nos résultats. Ainsi, nous avons pu nous assurer que la modélisation était bien conforme aux résultats expérimentaux.



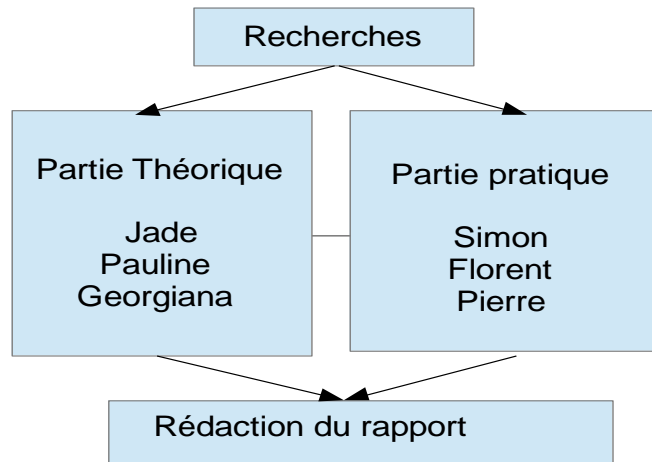


Illustration 1 Organigramme de la répartition des tâches

Cependant, nous nous sommes vite rendus compte que nous étions en retard. En effet, la séparation du groupe s'est faite tardivement, en raison de la compréhension du sujet qui nous a pris beaucoup de temps. Nous avons donc dû accélérer le travail personnel durant les dernières séances.

Nous nous sommes également réparti la rédaction du rapport et avons apporté un ordinateur personnel pour relier toutes les parties que nous avons lu ensemble pour corriger les incertitudes. Ainsi, les deux dernières séances ont été réservées à la mise en commun du rapport et à la préparation de la soutenance.



3. EXPERIENCE

Dans le cadre de notre projet de p6, nous avons décidé de réaliser une maquette afin de mettre en évidence l'effet de serre et réaliser un certains nombres de mesures. Dans cette partie nous expliquerons les différentes étapes qui nous ont permis de réaliser notre boîte, puis nous parlerons des mesures et des résultats que nous avons recueillis.

3.1.1. Description de la maquette

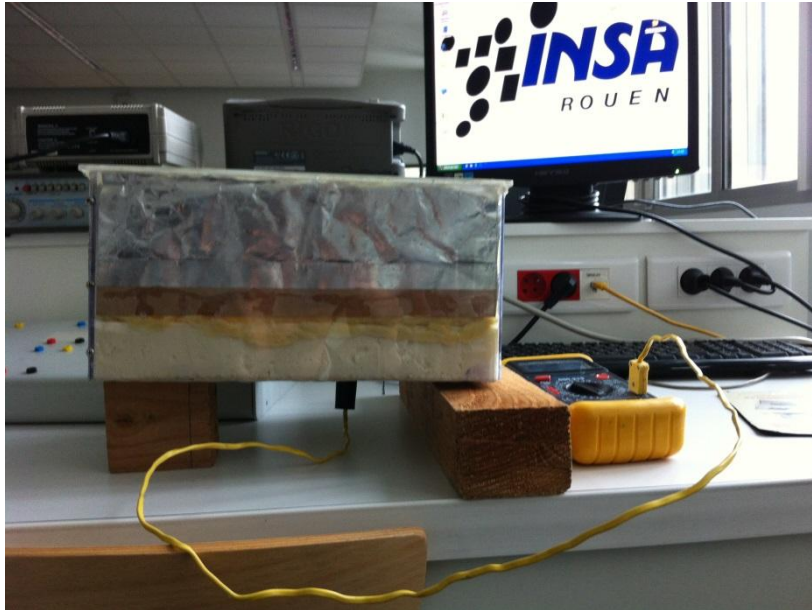


Illustration2 Photographie de la boîte de l'expérience

Pour réaliser notre manipulation et confectionner notre maquette, nous avons utilisé plusieurs composants. Tout d'abord, nous avons pris une boîte rectangulaire en plexiglass ouverte en haut et en bas. Nous avons ensuite découpé un rectangle de polystyrène extrudé isolant, que nous avons glissé à l'intérieur, puis nous avons tapissé les côtés de la boîte avec de la laine de verres. Faute de temps lors de la réalisation de cette maquette, nous n'avons pas utilisé de plaque de verre comme prévu à l'origine, mais une plaque de plexiglass que nous avons placé au-dessus de notre boîte.

Nous avons remis notre boîte au département mécanique afin d'effectuer les jointures nécessaires à l'isolation et afin de placer un thermocouple dans la boîte pour y mesurer la température.





Illustration 3 Photographie du thermocouple dans la boîte

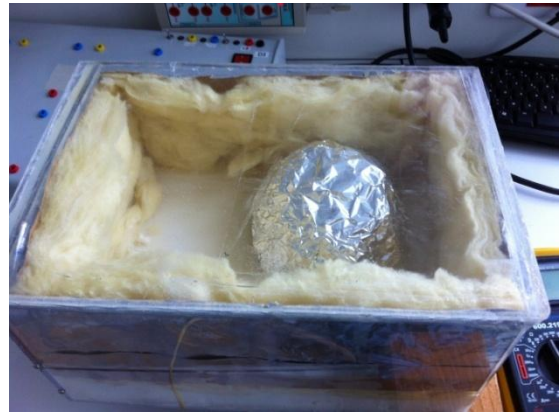


Illustration 4 Photographie de l'intérieur de la boîte

Nous avons cependant dû percer notre boîte par le dessous, comme on peut le voir sur la photographie 2, suite à un imprévu avec le thermocouple qui n'a pas été inséré dans la boîte avant les jointures. Pour obtenir des mesures proches de la réalité nous avons aussi utilisé un cache en aluminium qui, placé à l'intérieur de la boîte, nous a permis de protéger le thermocouple des rayons directs du soleil, ce qui aurait pu fausser nos mesures (Illustration 3).



Illustration 5 Visualisation de la température sur un multimètre

3.1.2. Manipulation

L'expérience a été réalisée par deux fois afin de tester notre maquette la première fois, puis de recueillir des mesures la seconde fois. Pour ce faire, nous avons exposé la boîte au rayon du soleil et mesuré toutes les trente secondes la température à l'intérieur de la boîte. Nous n'avons pas défini de durée totale à la manipulation, cependant, nous avons relevé la température jusqu'à obtenir une température stable correspondant théoriquement à un



équilibre entre l'afflux d'énergie et la dissipation par perte thermique, dont les effets de convection dont nous parlerons plus tard. Il est évident que ces mesures ne correspondent pas parfaitement à ce que l'on a trouvé grâce aux équations, mais on obtient une courbe d'allure similaire au problème théorique.



Illustration6 Photographie des conditions de la première expérience

1.1.1.1 Phase de Test

La phase de test a été réalisée à l'intérieur d'un bâtiment. Les valeurs sont donc faussées par le fait que les rayons du soleil traversent deux vitres. En effet lors du passage de la première vitre, une partie du rayon n'est pas transmis, ce qui fait que les rayons arrivant sur notre boîte n'est pas le même que les rayons du soleil à l'extérieur du bâtiment. Cependant nous avons tout de même réalisé quelques mesures afin de regarder si, malgré tout, il y avait une évolution de la température. Vous pourrez trouver les valeurs relevées en annexe du dossier.

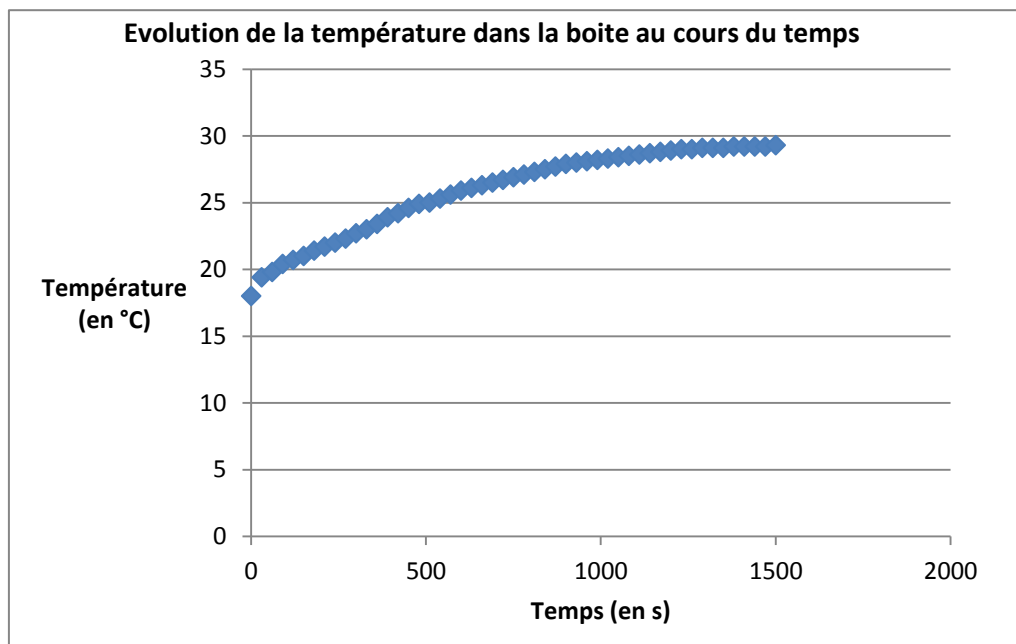


Illustration7 Graphique représentant l'évolution de la température dans la boîte au cours du temps



1.1.1.2 Phase de mesure

La seconde expérience a été réalisée en extérieur. Elle nous a permis d'obtenir de nouvelles valeurs plus proches de la réalité.

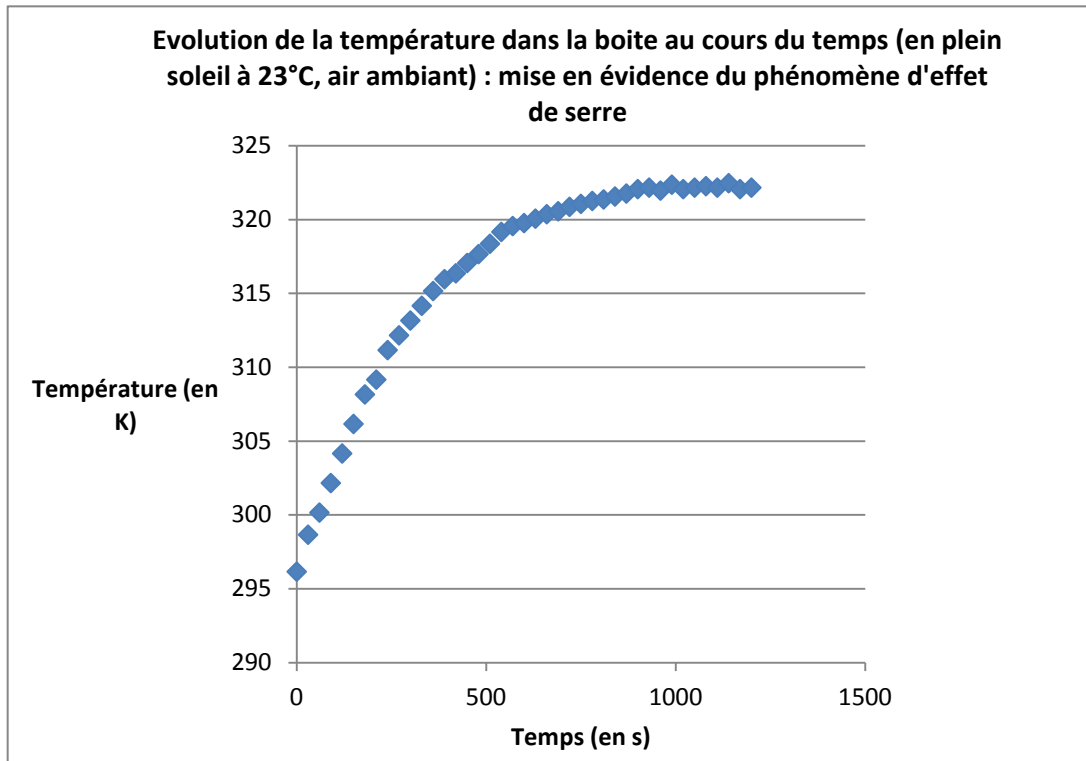


Illustration8 Graphique représentant l'évolution de la température dans la boîte au cours du temps

3.1.3. Définitions

Thermocouple : Les thermocouples ou couples thermoélectriques sont des couples de matériaux dont l'effet Seebeck est utilisé pour la mesure de température. Leur principal défaut est leur imprécision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une précision inférieure à 0,1 °C - 0,2 °C. Ce que nous avons pu voir puisque notre thermocouple ne donnait pas la température avec décimale.

Effet Seebeck : L'effet Seebeck est un effet thermoélectrique qui a été découvert en 1821 par le physicien allemand Thomas Johann Seebeck. Ce physicien remarqua lors d'une de ses expériences, que l'aiguille d'une boussole est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes et dont les jonctions ne sont pas à la même température T.

3.1.4. Que s'est-il passé pendant la manipulation ?

Lors de l'exposition de notre boîte au soleil, une certaine quantité des rayons traversent la plaque de plexiglass dont le coefficient de transmission dépend des longueurs d'ondes. Ces rayons entrés dans la boîte vont être en partie absorbés par l'air présent à



l'intérieur qui émettra à son tour un rayonnement. L'autre partie de ses rayons va être réfléchis par le fond de la boîte isolée donc de coefficient d'absorbion nul. Ils vont retraverser l'air, qui va en réabsorber une partie puis la réémettre, et atteindre la plaque de plexiglass. La plaque ne laissant passer qu'un certain nombre de rayons, une partie des rayons va rester prisonnière à l'intérieur de la boîte et va réeffectuer le cycle expliqué ci-dessus. Le fait qu'il y ait plus de rayons qui entrent dans la boîte qu'il y en ait qui en ressortent va entrainer une hausse de la température, c'est ce que l'on peut appeler l'effet de serre.



3.2. Recherche documentaire et compréhension du sujet

3.2.1. Qu'est ce le rayonnement thermique ?

La matière émet des ondes électromagnétiques sous l'effet de diverses excitations. On appelle rayonnement l'ensemble des échanges d'énergie à distance entre les corps, par ondes électromagnétiques. Ces échanges peuvent avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques. Le phénomène se manifeste sous divers aspects : ondes hertziennes, lumineuses, thermique, rayons X, gamma ou cosmiques. Ces rayonnements peuvent être décomposés en un spectre.

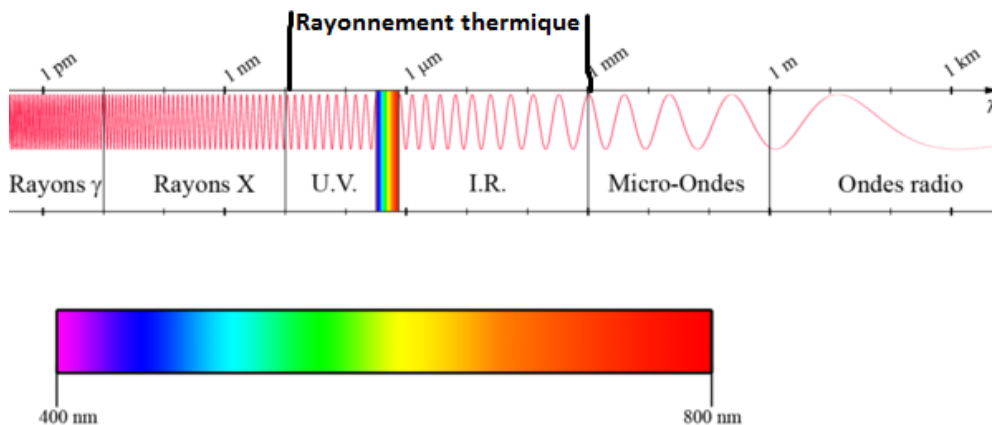


Illustration9 Spectre des ondes électromagnétiques

Nous nous intéresserons uniquement au rayonnement thermique. Ce rayonnement est émis par la matière du fait de sa température. Comme nous pouvons le constater sur la Illustration 1, il n'occupe qu'une faible portion du spectre : entre 0.1 à 100 μ m. Dans ce domaine nos sens sont capables de percevoir le rayonnement sous la forme d'une sensation de chaleur. Le rayonnement thermique comprend trois domaines : l'ultra violet pour les courtes longueurs d'ondes, la lumière pour la partie visible par l'œil humain et l'infra rouge pour les grandes longueurs d'ondes. Le rayonnement des sources thermiques de température inférieure à 500°C –les plus courantes- est situé entièrement dans l'infra rouge.

3.2.2. Définition et lois fondamentales

Nous nous intéresserons à quelques définitions et lois fondamentales qui régissent le rayonnement thermique.

Tout d'abord les grandeurs relatives aux surfaces émettant un rayonnement

On désigne flux d'une source, la puissance émise par une source dans tout l'espace où elle peut rayonner. Ce flux est noté Φ et exprimé en watt. Nous considérerons notre source, le soleil, comme ponctuelle, rayonnant dans toutes les directions de l'espace qui l'entoure.



On nomme émittance le flux total émis par unité de surface de la source. Elle est notée $M = \frac{d\Phi}{dS}$ et exprimé en watt/m². Cette grandeur permet de comparer les puissances émises par des sources différentes.

Ensuit les grandeurs relatives aux surfaces recevant un rayonnement

La notion de flux s'applique aussi bien au rayonnement incident sur une surface qu'au rayonnement émis par celle-ci.

La notion d'émittance est remplacée, dans le cas d'un rayonnement incident, par l'éclairement de la surface réceptrice.

L'éclairement est donc noté $E = \frac{d\Phi}{dS}$ et exprimé en watt/m².

Enfin les lois du rayonnement thermique s'appliquant au corps noir

Les substances naturelles rayonnent thermiquement selon des lois différentes d'une substance à l'autre. Il a été considéré un corps noir, l'émetteur idéal qui rayonnerait le maximum d'énergie calorifique à chaque température et longueur d'onde. Il sert aussi d'étalon de rayonnement. Le corps noir est un corps capable d'absorber complètement toutes les radiations électromagnétiques incidentes sur sa surface. Les corps noirs, comme tous les autres corps, émettent des radiations comprises dans un spectre caractéristique qui dépend exclusivement de la température absolue.

La loi de Planck relie l'émittance du corps noir d'onde à la longueur d'onde λ et à la température absolue T (Kelvin).

Elle s'exprime sous la forme :

$$M_{\lambda}^0 = \pi L_{\lambda}^0 = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{\exp\left[\frac{hc}{k\lambda T}\right] - 1}$$

Illustration10 Loi de Planck

$h=6,6255.10^{-34}$ J.s constantede Planck

$k=1,3805.10^{-23}$ J/Kconstante de Boltzmann

cvitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide



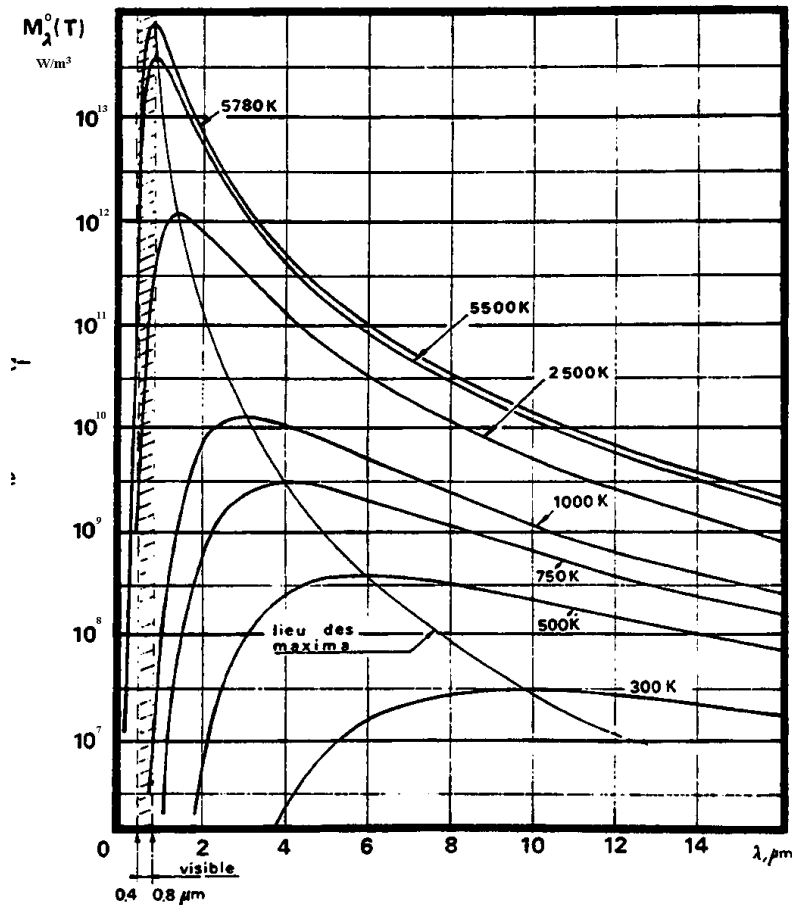


Illustration11 Représentation de la loi de Planck: distribution spectrale de l'émittance du corps noir en fonction de la température absolue

De cette loi découle différente loi dont la loi de Stephan Boltzmann fournit l'émittance totale du rayonnement du corps noir dans le vide en fonction de sa température absolue. On peut l'établir en intégrant la formule de Planck : $M = \sigma * T^4$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5,6710^{-8} \text{ w.m}^{-2} . \text{K}^{-4}$$

Constante de Stephan Boltzmann

Le coefficient d'émissivité permet l'évaluation de l'énergie émise par les différents corps relativement à celle qu'émettrait le corps noir dans les mêmes conditions. Cela correspond à un rapport entre le flux d'énergie émise par un corps quelconque et le flux d'énergie émise par un corps noir de forme et de température identiques. L'émittance totale des corps réels peut être calculé par la relation : $M = \varepsilon M^o$ avec M^o l'émittance totale du corps noir. Le corps noir étant un émetteur idéal, son émissivité est égale à 1. Donc les émissivités des substances naturelles sont toujours inférieures à 1.



3.2.3. Réception du rayonnement par un corps

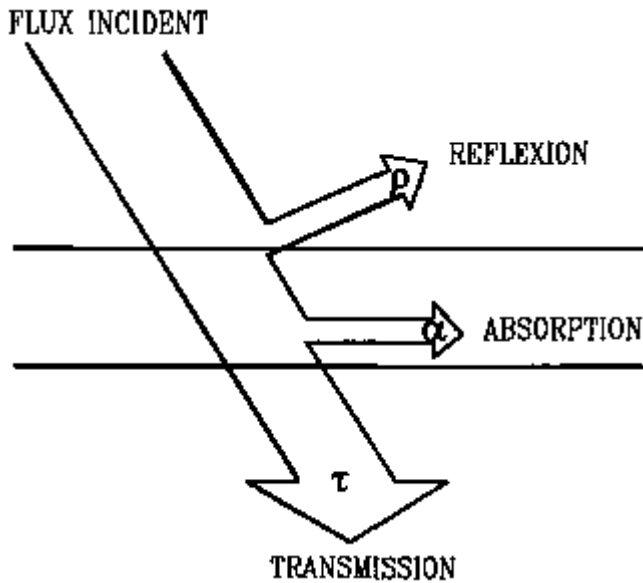


Illustration12 Réception du rayonnement thermique par un corps

Lorsqu'un rayonnement atteint la surface d'un corps, une fraction ρ de la puissance totale incidente est réfléchi, une autre fraction α est absorbée par le corps et une troisième τ est transmise par le corps. La Illustration ci-dessus schématise ce partage.

Si $\varphi_i, \varphi_a, \varphi_r, \varphi_t$ sont respectivement les flux totaux incidents, absorbé, réfléchi et transmis, on désigne :

$$\text{absorptivité totale } \alpha = \frac{\varphi_a}{\varphi_i}$$

$$\text{Réflectivité totale } \rho = \frac{\varphi_r}{\varphi_i}$$

$$\text{Transmittivité totale } \tau = \frac{\varphi_t}{\varphi_i}$$

Ces grandeurs sont liées par la relation : $\alpha + \rho + \tau = 1$

Pour certains matériaux semi-transparentes tels que les verres, les plastiques ou certains gaz, il est nécessaire de considérer des variations des coefficients selon certaines longueurs d'ondes comme le montre la Illustration 5 ci-dessous.



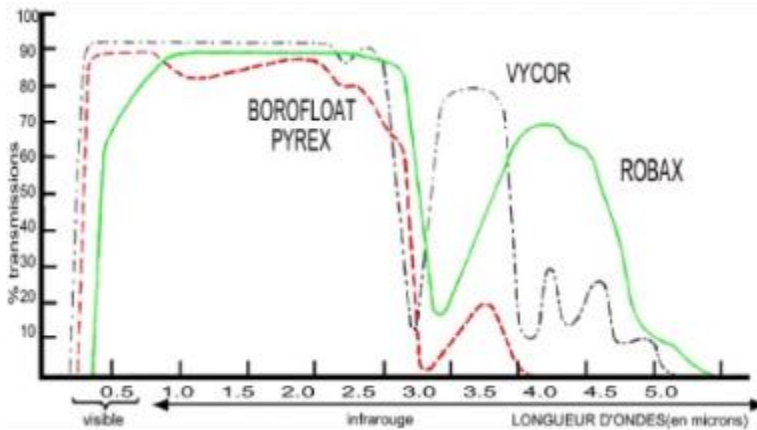


Illustration13 Exemple de courbe de transmission de différents verres

3.2.4. Relation entre absorption et émission : loi de Kirchhoff

Cette loi relie les propriétés émissives et absorbantes d'un corps : $\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$

Pour un corps gris on peut écrire $\varepsilon = \alpha$

Pour un corps noir, $\varepsilon = \alpha = 1$

3.2.5. Explication du phénomène de l'effet de serre

A l'aide de ces différentes définitions et lois nous allons pouvoir expliquer les résultats obtenues lors de notre expérience.

Sur la Illustration 3, nous pouvons remarquer que la loi de Planck dépend de la température du corps. Plus le corps est froid, plus le maximum de la courbe sera atteint pour une longueur d'onde importante. Le décalage de la courbe selon la température a un rôle très important pour l'effet de serre. Pour notre expérience, l'air capturé dans la boîte est assimilé à un corps gris, donc son émittance est proportionnelle à celle du corps noir grâce au coefficient d'émissivité.

Dans un premier temps, les molécules de l'air dans la boîte reçoivent de l'énergie via l'éclairement. Elles vont ensuite rayonner dans le domaine de l'infrarouge car la température est celle ambiante, environ 300K comme nous pouvons le voir sur la courbe. Or une des propriétés du verre est que sa transmissivité est environ égale à 0 pour les longueurs d'onde en infra rouge. Par conséquent, le rayonnement émis par les molécules va être emprisonné dans la boîte, c'est pourquoi, la température va augmenter rapidement dans les premières minutes. Ensuite, du fait de l'augmentation de la température, la courbe de la loi de Planck se « décale » sur la gauche, le maximum est donc atteint pour des longueurs d'onde dans la visible. Or dans ce domaine de longueur d'onde, la transmissivité du verre est environ égale à 0.9 donc le rayonnement peut s'échapper en partie de la boîte. Par conséquent, la température ne va augmenter que très légèrement.

Nous avons pu voir que l'émissivité dépend elle aussi de la loi de Planck. Pour les longueurs d'onde supérieure à 8 micromètre, l'émissivité du verre est environ égale à 0.9



pour les longueurs. Donc le verre va rayonner lorsque sa courbe de Planck est dans le domaine de l'infra rouge. Mais lorsque le verre a une température élevée, sa courbe de Planck atteindra son maximum pour une longueur d'onde petite, dans le visible, alors l'émissivité sera nulle et le verre ne rayonnera pas.



3.3. Modélisation de l'effet de serre

3.3.1. Mise en place de l'équation différentielle

Pour mettre en évidence ce phénomène, nous avons considéré une boîte dans laquelle nous allons étudier la variation de température en fonction des différentes caractéristiques de la boîte. On examinera ainsi l'évolution de la température du couvercle en verre, du gaz à l'intérieur de la boîte, et du fond de la boîte en fonction du temps. On considérera également que l'éclairement E est constant en fonction du temps. S représente la surface de la boîte, Δt représente un aller-retour de l'énergie solaire dans la boîte,

c'est-à-dire : $\Delta t = 2 \cdot h / c$

Avec :

h : la hauteur de la boîte

c : la vitesse de la lumière dans le vide.

On appellera :

α : l'absorptivité du milieu

ε : l'émissivité du milieu

τ : la transmissivité

ρ : la réflectivité

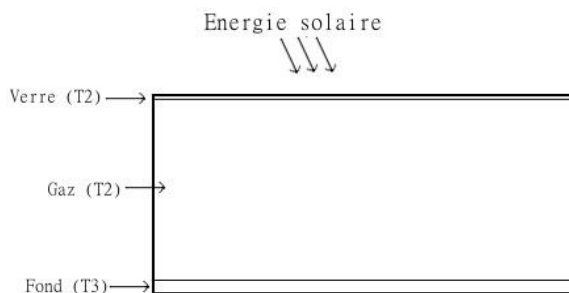


Illustration 14 Représentation la boîte étudiée

Nous avons associé à chaque constante : α , ε , τ , ρ un indice qui correspond au milieu étudié : v pour le verre, g pour le gaz et f pour le fond.

Ainsi, si l'on étudie la température du verre, on remarque qu'il reçoit :

- l'énergie du soleil absorbée par la surface du verre pendant le temps Δt : $\alpha v * E * S * \Delta t$.
- l'énergie solaire absorbée après réflexion sur le fond de la boîte :

$$\tau v * E * S * \tau g * \rho f * \tau g * \alpha v$$



L'énergie du soleil doit être transmise par le verre puis par le gaz, ensuite elle est réfléchiée par le fond, de nouveau transmise par le gaz puis enfin absorbée par le verre.

- l'énergie rayonnée par les molécules de gaz puis absorbée par le verre: $\varepsilon_g * \sigma * T_2^4 * S * \Delta t * \alpha_v$
($\sigma * T^4$ représente le rayonnement des molécules de gaz selon la loi de Stefan Boltzman)
- l'énergie rayonnée par le fond : $\varepsilon_f * \sigma * T_3^4 * \tau_g * S * \Delta t * \alpha_v$
Cette énergie est donc rayonnée par le fond puis transmise par le gaz et enfin absorbée par le verre.

et perd l'énergie qu'il émet (on considère la différence de température entre le milieu extérieur et celui du système) : $2 * \varepsilon_v * \sigma * (T_1^4 - T_{ambi}^4) * S * \Delta t$

On sait que le bilan d'énergie thermique d'un matériau se calcule grâce à la formule

$$Q = m * C_v * \Delta T$$

Donc d'après les variations d'énergie que nous avons trouvées, nous pouvons en déduire l'équation bilan suivante :

$$m_v C_v \Delta T_1 = \alpha_v E S \Delta t + \tau_v E S \tau_g \rho_f \tau_g \alpha_v + \varepsilon_g \sigma T_2^4 S \Delta t \alpha_v + \varepsilon_f \sigma T_3^4 \tau_g S \Delta t \alpha_v - 2 \varepsilon_v \sigma (T_1^4 - T_{ambi}^4) S \Delta t$$

Nous obtenons l'équation différentielle :

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{S}{m_v c_v} (\alpha_v E + \tau_v E \rho_f \tau_g^2 \alpha_v + \varepsilon_g \sigma T_2^4 \alpha_v + \varepsilon_f \sigma T_3^4 \tau_g \alpha_v - 2 \varepsilon_v \sigma (T_1^4 - T_{ambi}^4))$$

De la même façon, en étudiant les changements de température sur le gaz et le fond on obtient :

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{S}{m_g c_g} (\tau_v \alpha_g E + \tau_v E \alpha_g^2 \rho_f + \varepsilon_v \sigma T_1^4 \alpha_g + \varepsilon_f \sigma T_3^4 \alpha_g - 2 \varepsilon_g \sigma (T_2^4 - T_{ambi}^4))$$

$$\frac{dT_3}{dt} = \frac{S}{m_f c_f} (\tau_v \tau_g \alpha_f E + \varepsilon_v \sigma T_1^4 \tau_g \alpha_f + \varepsilon_g \alpha_f \sigma T_2^4 - \varepsilon_f \sigma (T_3^4 - T_{ambi}^4))$$

On a ainsi un système d'équations différentielles que nous pouvons résoudre informatiquement.



3.3.2. Résolution

1 Modélisation sous Scilab

Pour résoudre ce système, nous avons utilisé le logiciel Scilab, qui est un logiciel de calcul matriciel.

Nous avons tout d'abord considéré que le rapport ϵ_v qui définit l'émissivité du verre était constant quelle que soit la température; ainsi que son absorptivité, puisque $\epsilon = \alpha$ (d'après la loi de Kirchoff),

Nous avons défini les différentes constantes en fonction de données moyennes trouvées lors de nos recherches. Nous avons également considéré que le fond était totalement adiabatique (c'est-à-dire $\epsilon_f = \alpha_f = 0$ et $\rho_f = 1$). Nous avons ensuite utilisé la commande fode de Scilab pour résoudre le système d'équation.

Grâce aux résultats, nous avons pu tracer l'évolution de la température du verre, du gaz et du fond en fonction du temps.

Nous obtenons ainsi la Illustration suivante :

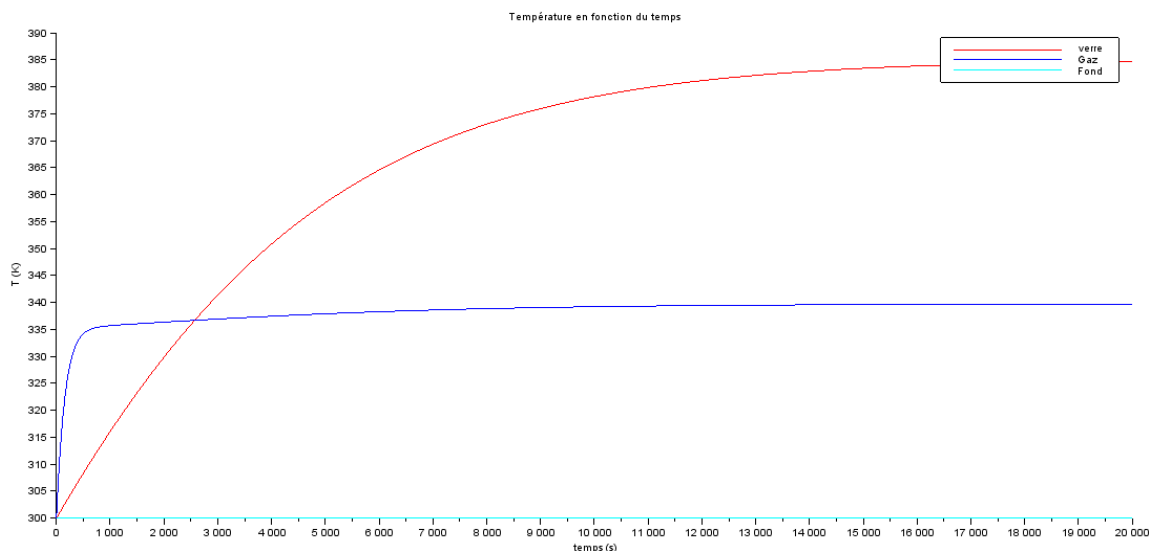


Illustration 5 Premiers résultats

Nous avons donc bien des courbes qui convergent vers une température constante. Cependant, nous avons remarqué que l'augmentation de température du verre était très importante. De plus, lorsque nous modifiions la valeur de l'éclairement E à une valeur trop faible, cette courbe devenait négative. Ceci est impossible, puisque nous apportons toujours de l'énergie, et donc il ne devrait pas y avoir de diminution de la température. Il s'agissait donc du terme négatif qui était trop important ($2\epsilon_v\sigma(T_1^4 - T_{ambi}^4)$). Nous en avons déduit que le terme ϵ_v était trop important.

Nous avons donc revu les équations différentielles pour obtenir un résultat plus cohérent.



2 Modifications apportées

Nous avons donc considéré une variation de la valeur de ϵ_v . En effet, le verre émet (et absorbe) différemment les ondes suivant la température qu'il a. Nous savons que $L^\circ = \epsilon \cdot L$ et que L° est représenté par l'intégrale de la loi de Planck et L correspond à la luminance d'un corps gris. Nous avons considéré qu'en dessous d'une longueur d'onde de 800 nm, la luminance du corps était nulle. Nous pouvons en déduire la valeur d' ϵ_v en divisant l'intégrale de L° par l'intégrale de L . Nous avons aussi ajouté un terme à l'équation différentielle de la température du verre, il s'agit d'un terme de convection : $a * S * (T_1 - T_{ambi})$ avec a la constante de convection du verre.

Nous avons ensuite comparé les résultats de la modélisation avec les résultats de l'expérience. Nous obtenons la courbe suivante :

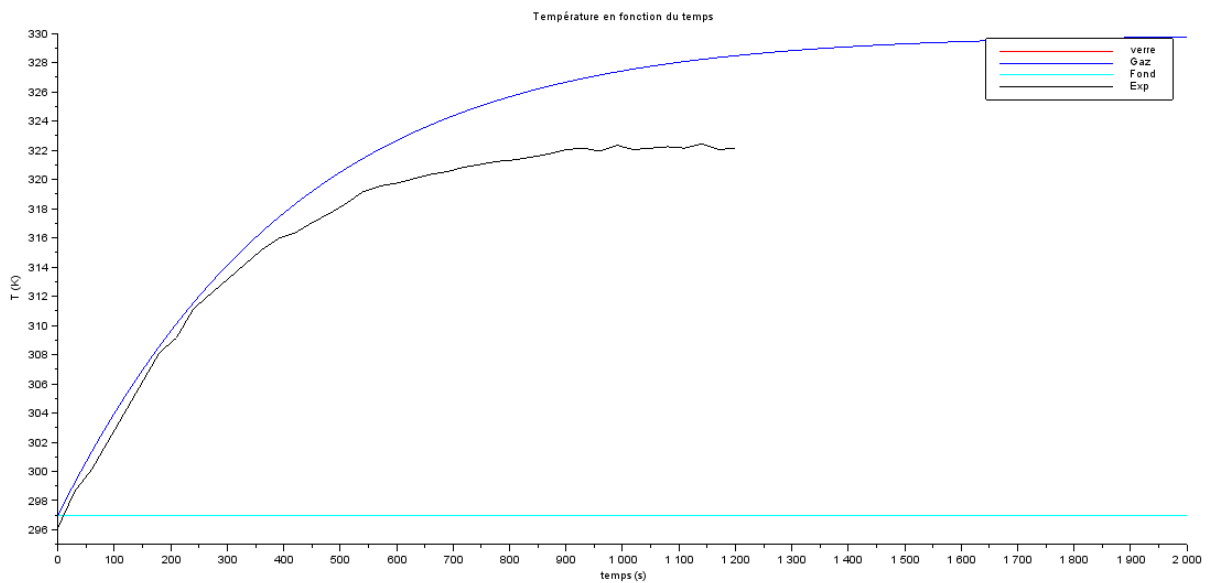


Illustration 6 Comparaison avec l'expérience

Etant donné que les valeurs de nos constantes étaient le résultat de recherches, nous avons ainsi pu trouver les valeurs réelles applicables dans le cadre de notre expérience. Nous trouvons ainsi :

- Un éclairage de 550 en W/m^2
- $\epsilon_g = 0.175$

Nous pouvons voir que la courbe du verre n'apparaît pas sur le graphique. En effet, elle est quasiment constante et donc se situe sous la courbe du fond, constante elle aussi.

Cependant, nous pouvons remarquer que les résultats de l'expérience ne sont pas exactement identiques à ceux de la modélisation, bien que proches. On peut attribuer cette différence au fait que nous n'avons pas considéré les mouvements de convection, qui diminuent la température finale. De plus le coefficient de convection lors de l'expérience n'a pas pu être mesuré et pouvait être plus important. Et enfin, ceci peut aussi être dû à la boîte qui, bien que considérée adiabatique, ne pouvait l'être totalement.



4. CONCLUSION

Georgiana

Personnellement ce projet m'a permis de découvrir l'aspect scientifique et physique de l'effet de serre. Même si j'étais la seule étrangère dans ce groupe, les autres m'ont aidé à comprendre et ils ont eu la patience de répondre à mes questions. Nous avons dû faire beaucoup de recherches et apprendre à utiliser un logiciel que je ne connaissais pas. Grâce à ce projet, je pense que le travail en équipe est indispensable pour optimiser et approfondir un sujet. De plus cela m'a permis d'apprendre à gérer une échéance.

Jade

Ce projet m'a tout d'abord apporté la compréhension du phénomène de l'effet de serre, et des notions de physiques qui l'accompagnent, et qui m'étaient totalement inconnues. De plus, j'ai appris à maîtriser Scilab, un logiciel de calcul matriciel. Ensuite, j'ai appris à travailler dans un groupe assez large, et de manière autonome. En effet, il nous a fallu faire beaucoup de recherches et partager les tâches, compétence qui nous seront indispensables en tant que futurs ingénieurs. J'ai également beaucoup appris de la difficulté d'une date limite, et donc de la gestion du temps, ce qui nous a posé problème lors de ce projet.

Florent

Le projet que nous avons réalisé nous a permis de découvrir un phénomène de notre vie de tous les jours mais dont nous ne soupçonnions pas l'importance ni sa complexité. Il nous a fait développer nos méthodes de travail et de recherches en autonomie sur un sujet dont nous ne connaissions rien à l'origine. Enfin le projet nous a permis d'améliorer notre travail en équipe. Nous n'avions pas l'habitude de travailler à si nombreux. Il nous a donc fallu une bonne cohésion de groupe et de la collaboration. J'ai trouvé ce projet très intéressant malgré sa complexité et cela m'a permis de m'ouvrir sur un domaine de physique que je ne connaissais pas.

Pauline

Personnellement, ce projet m'a apporté de nombreuses compétences. Tout d'abord, je n'avais jamais travaillé avec cinq personnes. Nous avons donc pu nous aider à cerner le sujet et aussi séparer les tâches pour avancer le plus rapidement possible. Notre principale difficulté fut la gestion du temps, ce qui nous a mis dans une situation que nous connaissons sûrement en tant qu'ingénieur. Ensuite ce projet m'a fait découvrir de nombreuses notions de physique. Nous avons pu approfondir les notions de transfert thermique et d'énergie vue lors de nos deux premières années. Cela m'a donc permis d'appréhender des concepts de départements de spécialités.

Pierre

Ce projet de P6 fut très intéressant. Tout d'abord le sujet pouvait sembler simple mais nous avons découvert sa complexité au fur et à mesure de nos recherches. Le fait de travailler en groupe m'a permis d'appréhender rapidement les notions spécifiques et bien comprendre le sujet. De plus, nous avons pu répartir les tâches à effectuer pour pouvoir travailler plus efficacement et se consacrer pleinement à notre travail. J'ai pu me rendre



compte de la difficulté de travailler à plusieurs mais aussi des nombreux avantages que cela a. Malgré quelques difficultés au niveau de la gestion du temps, nous avons réussi à bien nous organiser.

Ce sujet m'a donc permis de découvrir des notions de physique spécifiques que j'espère pouvoir approfondir dans le département Energétique et Propulsion que j'aimerais faire.

Simon

Ce projet fut très intéressant pour ma part car je ne pensais pas découvrir tant de choses. Au premier abord je pensais que ce sujet serait assez facile à aborder mais ce ne fut pas le cas. Nous avons dû effectuer de nombreuses recherches pour cerner le sujet. La complexité du phénomène m'a fait appréhender des notions que nous pouvons aborder dans différents départements de spécialité. De plus, ce projet a été d'un fort intérêt personnel car il m'a permis de découvrir le travail de groupe. Nous avons déjà effectué des travaux en groupe mais il était plus restreint. Lors que ce projet, je me suis attelée à la construction de l'expérience avec Pierre et Florent. Nous avons dû collaborer pour faire avancer le projet mais aussi se tenir au courant des résultats de la modélisation. J'ai donc pu me rendre compte de l'importance de la coordination dans un groupe et du soutien entre nous.

En conclusion, ce cours de P6 nous a permis d'apprendre à gérer un projet sur une durée imposée avec des personnes que l'on ne connaît pas forcément. De plus, nous avons dû nous confronter à une contrainte budgétaire que nous avons facilement contournée en utilisant des matériaux et des matériels déjà présents à l'INSA. Cette situation nous a permis de nous rendre compte des contraintes que beaucoup d'ingénieur rencontre au cours de leur carrière et qu'il est important de maîtriser. En effet nous avons dû répartir les tâches à effectuer au sein de groupe en fonction de nos capacités, ce qui nous a demandé une organisation minutieuse.

De plus, nous avons pu approfondir nos connaissances en physique et surtout acquérir de nouvelles connaissances en transfert thermique et rayonnement des milieux. Par ailleurs, la modélisation informatique du phénomène d'effet de serre et sa mise en évidence par une expérience nous a permis d'avoir un résultat concret.

Enfin les problèmes rencontrés lors ce projet nous ont aidés à travailler en autonomie et appris à savoir faire faces à des situations qui semblaient alarmante.



5. BIBLIOGRAPHIE

[1] J.F SACADURA, "Initiation aux transferts thermiques", *Editions TEC & DOC*, 2004.

[2] lien internet : http://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_noir (valide à la date du 12/06/14).

[3] lien internet : http://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_noir (valide à la date du 12/06/14).



6. ANNEXES

6.1. Résumé du déroulé des séances

Date	Résumé	Conclusions
Séance 1 3/02/2014	<ul style="list-style-type: none">• Connaissance avec les membres du groupe• Brain-storming sur le sujet de l'effet de serre	<ul style="list-style-type: none">• Recherches pour apprendre les mots clés et les principales lois physiques pour décrire le phénomène
Séance 2 10/02/2014	<ul style="list-style-type: none">• Approche du sujet• Vision générale du projet	<ul style="list-style-type: none">• Création d'un groupe facebook pour faciliter la communication
Séance 3 17/02/2014	<ul style="list-style-type: none">• Décision d'avoir une partie théorique et une autre pratique• Modélisation d'une boîte• Logiciel choisi : Scilab	<ul style="list-style-type: none">• Recherche des matériaux pour construire la boîte• Renseignement sur Scilab
Séance 4 10/03/2014	<ul style="list-style-type: none">• Mise en commun de toutes les théories pour décrire les équations de l'effet de serre	<ul style="list-style-type: none">• Recherches sur internet• Rendez-vous avec le groupe pour l'écriture des équations et organisation du projet
Séance 5 17/03/2014	<ul style="list-style-type: none">• Nouvelles équations en prenant en compte le volume	<ul style="list-style-type: none">• Trois équations : gaz, fond, verre
Séance 6 24/03/2014	<ul style="list-style-type: none">• Initialisation Scilab• Boîte trouvée	<ul style="list-style-type: none">• Isolation de la boîte
Séance 7 7/04/2014	<ul style="list-style-type: none">• Écriture des équations en Scilab	<ul style="list-style-type: none">• Recherche des constantes
Séance 8 14/04/2014	<ul style="list-style-type: none">• Changement des données• Recherche d'un moyen de calculer la température interne de la boîte	<ul style="list-style-type: none">• Vu le graphique le verre tend à exploser, voir si on n'a pas négligé des phénomènes importants
Séance 9 5/05/2014	<ul style="list-style-type: none">• On a placé le thermocouple sous une coupe de d'aluminium	<ul style="list-style-type: none">• Expérience• Courbe avec les données
Séance 10 12/05/2014	<ul style="list-style-type: none">• Deuxième partie théorique en Scilab, ajout d'une variable	<ul style="list-style-type: none">• Répartition des parties pour la rédaction du rapport
Séance 11	<ul style="list-style-type: none">• Deuxième expérience	<ul style="list-style-type: none">• Comparaison des données

19/05/2014		<ul style="list-style-type: none">• Rédaction du rapport
Séance 12 26/05/2014		<ul style="list-style-type: none">• Rédaction du rapport
Séance 13 2/06/2014		<ul style="list-style-type: none">• Finalisation du rapport et préparation de la soutenance



6.2. Valeurs de la première expérience

t(s)	T(°C)
0	18
30	19,4
60	19,8
90	20,4
120	20,7
150	21
180	21,4
210	21,7
240	22
270	22,3
300	22,7
330	23
360	23,4
390	23,9
420	24,2
450	24,6
480	24,9
510	25
540	25,3
570	25,6
600	25,9
630	26,1
660	26,3
690	26,5

720	26,7
750	26,9
780	27,1
810	27,3
840	27,5
870	27,7
900	27,9
930	28
960	28,1
990	28,2
1020	28,3
1050	28,4
1080	28,5
1110	28,6
1140	28,7
1170	28,8
1200	28,9

1230	29
1260	29
1290	29,1
1320	29,1
1350	29,1
1380	29,2
1410	29,2
1440	29,2
1470	29,2
1500	29,3



6.3. Valeurs de la seconde expérience (Annexe 2)

t	T °K	T °C
0	296,15	23
30	298,65	25,5
60	300,15	27
90	302,15	29
120	304,15	31
150	306,15	33
180	308,15	35
210	309,15	36
240	311,15	38
270	312,15	39
300	313,15	40
330	314,15	41
360	315,15	42
390	315,95	42,8
420	316,35	43,2
450	317,05	43,9
480	317,65	44,5
510	318,35	45,2
540	319,15	46
570	319,55	46,4
600	319,75	46,6

630	320,05	46,9
660	320,35	47,2
690	320,55	47,4
720	320,85	47,7
750	321,05	47,9

780	321,25	48,1
810	321,35	48,2
840	321,55	48,4
870	321,75	48,6
900	322,05	48,9
930	322,15	49
960	321,95	48,8
990	322,35	49,2
1020	322,05	48,9
1050	322,15	49
1080	322,25	49,1
1110	322,15	49
1140	322,45	49,3
1170	322,05	48,9
1200	322,15	49



6.4. Code informatique de notre modélisation

```
//Definition des constantes
clear
cd 'C:\Users\labphys\Desktop\P6 G47\P6 simon'
DataExp=fscanfMat('Valeurs.txt');
h=6.6255*10^(-34); //constante de Planck
c=2.8*10^8; //vitesse de propagation de la lumière
k=1.3805*10^(-23); //constante de Boltzmann
S=0.295*0.215; //surface de la boite (en m^2)
eV=0.4*1E-2; //epaisseur du verre
eG=10.7*1E-2; //epaisseur du gaz
eF=4*1E-2; //epaisseur du fond
cv=720; //capacité thermique massique du verre (J/(kg.K))
cg=815;
cf=1500;
E=950; //test

toF=0;
epsilonG=0.025; //test //epsilon=alpha
epsilonF=0;
toV=0.9;
//epsilonV=0.5; //
sigma=5.67*1E-8;
a=150;
Tambi=297;

//Calculs
mv=eV*S*2530; //2530 : masse volumique du verre
mg=eG*S*1.2; //1.2 : masse volumique de l'air
mf=eF*S*1040; //1040 : masse volumique du fond (polystyrène)
alphaG=epsilonG;
alphaF=epsilonF;
roF=1-alphaF-toF;

toG=1-alphaG; //test
```



//Definition des fonctions

```
function L=Luminance(lambda,T)
```

```
    L=(2*h*c^2)*((lambda.^5).*exp(h*c*(k*lambda*T).^(-1))-lambda.^5).^(-1);
```

```
endfunction
```

```
function L=LuminanceGrisMorceaux(lambda,T)
```

```
if lambda<8E-6 then
```

```
    L=0
```

```
else
```

```
    L=(2*h*c^2)*((lambda.^5).*exp(h*c*(k*lambda*T).^(-1))-lambda.^5).^(-1);
```

```
end
```

```
endfunction
```

```
function dXdt=Fode(t,X)
```

```
T=X(1);
```

```
IntLum=intg(0,1E-4,Luminance);
```

```
IntLumGris=intg(0,1E-4,LuminanceGrisMorceaux);
```

```
epsilonV=IntLumGris/IntLum;
```

```
alphaV=epsilonV;
```

```
toV=1-alphaV;
```

```
dXdt(1)=(S/(mv*cv))*(alphaV*E + toV*toG^2*roF*alphaV*E + alphaV*epsilonG*X(2)^4*sigma  
+ alphaV*epsilonF*sigma*toG*X(3)^4 - 2*epsilonV*(X(1)^4-Tambi^4)*sigma)-a*S*(X(1)-  
Tambi)
```

```
dXdt(2)=(S/(mg*cg))*(alphaG*E*toV + toV*alphaG^2*roF*E +  
epsilonV*(X(1)^4)*sigma*alphaG + alphaG*epsilonF*sigma*X(3)^4-2*epsilonG*(X(2)^4-  
Tambi^4)*sigma);
```

```
dXdt(3)=(S/(mf*cf))*(alphaF*E*toV*toG + epsilonV*X(1)^4*sigma*toG*alphaF +  
epsilonG*X(2)^4*alphaF*sigma-epsilonF*sigma*(X(3)^4));
```

```
endfunction
```

//Résolution

```
X0=[297;297;297];
```

```
Tabtemps=linspace(0,2000,100);
```

```
TabX=ode(X0,0,Tabtemps,Fode);
```

//Traçage sur une courbe



```
clf
```

```
plot2d(Tabtemps,[TabX(1,:) TabX(2,:) TabX(3,:)],[5,2,4])
```

```
xtitle('Température en fonction du temps','temps (s)','T (K)')
```

```
plot2d(DataExp(:,1),DataExp(:,2))
```

```
legend(['verre','Gaz','Fond','Exp'])
```

```
Export=[Tabtemps' TabX(1,:) TabX(2,:) TabX(3,:)];
```

```
fprintfMat('ExportCalcul.txt',Export)
```

