

Modélisation de l'impact des gaz à effet de serre



Étudiants :

Romane LANÈRES
Anouk PETITGAS
Arthur SARRAU

Clara MÉLINE
Tom PHILIPPE
Nina ZEDDOUN

Enseignant-responsable du projet :
Samuel PAILLAT

Fiche projet

Date de remise du rapport : 13/06/2024

Référence du projet : STPI/P6/2024 - 39

Intitulé du projet : Modélisation de l'impact des gaz à effet de serre

Type de projet : Modélisation numérique

Objectifs du projet :

Ce projet a pour vocation de développer un modèle numérique décrivant les mécanismes de régulation thermique de l'atmosphère terrestre. Premièrement, nous allons réaliser une étude à travers quelques calculs en ordre de grandeurs afin d'identifier les différents paramètres d'influence de notre modèle. L'objectif est de mettre au point un modèle qui soit modulable en termes de paramètres et de complexité. Cette dernière est ajustée par le traitement de différents gaz à effet de serre et de divers modèles de température et de pression. L'ensemble des modélisations numériques aspire à proposer une version améliorée du travail réalisé par le vulgarisateur scientifique David Louapre. À travers ce projet, nous cherchons à reproduire au mieux le phénomène d'équilibre thermique de la Terre en considérant les flux principaux et en quantifiant précisément l'impact des gaz à effet de serre dans le système atmosphérique.

Mots-clefs du projet : Transfert thermique, Corps noir, Effet de serre, Bilan radiatif

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE ROUEN
DÉPARTEMENT SCIENCES ET TECHNIQUES POUR L'INGÉNIEUR
685 AVENUE DE L'UNIVERSITÉ BP 08- 76801 SAINT-ETIENNE-DU-ROUVRAY
TÉL : 33 2 32 95 66 21 - FAX : 33 2 32 95 66 31

Remerciements

Nous souhaiterions avant tout remercier Samuel PAILLAT, notre coordinateur et enseignant encadrant, qui a su nous aiguiller et nous apporter son aide et ses connaissances tout au long de ce projet.

Aussi nous aimerions nous porter reconnaissants envers le physicien médaillé de la médiation scientifique du CNRS : David Louapre. Ces travaux sur l'effet de serre ont été une grande source d'inspiration en tant que point de départ pour notre recherche ¹.

Nous saluons également les divers organismes ayant mis à disposition des bases de données en open source. Nous en avons extrait des paramètres physiques sans lesquels nos modèles auraient manqué de fiabilité.

Enfin, nous aimerions remercier l'organisation de l'INSA plus généralement pour nous avoir implémenté l'EC de P6 qui nous a permis de réaliser notre premier projet scientifique appliqué dans des conditions de collaboration collective proches de celle milieu de l'ingénierie. En effet depuis le début de ce semestre nous avons tous commencé à nous pré-spécialiser dans un domaine de l'ingénierie. À travers ce projet chacun est amené à mettre en commun ses savoirs et compétences acquis pendant ces derniers mois, ce qui s'avère est enrichissant pour tout le groupe.

Table des matières

Fiche projet	2
Remerciements	3
Notations	5
Introduction	6
1 Méthodologie, organisation du travail	7
2 Travail réalisé et résultats	8
2.1 L'effet de serre	8
2.1.1 Explication du phénomène de l'effet de serre	8
2.1.2 Définition des GES	8
2.2 Bilan radiatif terrestre	8
2.2.1 Définitions du corps noir et de l'émittance	8
2.2.2 Bilan radiatif sans effet de serre	9
Conclusion et perspectives	10
Bibliographie	11
Annexes	12
A Documentation technique	12
B Listings des programmes réalisés	13
C Schémas de montages, plans de conception...	14
D Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)	15
E Mettre du code en annexe	16

Notations

Acronymes

GES : Gaz à Effet de Serre

CN : Corps Noir

Grandeurs ¹

Φ : Flux ou débit ² ($W.m^{-2}$)

M^0 : Emittance totale d'un corps noir, ($W.m^{-2}$)

$M_{\lambda,T}^0$: Emittance d'un corps noir ($W.m^{-3}$)

ϵ : Emissivité (sans unité)

τ_{CO_2} : Coefficient de transmission du CO_2 (sans unité)

λ : longueur d'onde (m)

P : Pression (Pa)

V : Volume (m^3)

n : Quantité de matière (mol)

T : Température (K)

M : Masse molaire ($kg.mol^{-1}$)

Constantes ³

R : Constante universelle des gaz parfaits = $8,314 \text{ kg.m}^2.mol^{-1}.K^{-1}.s^{-2}$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.K^4$

h : Constante de Plank = $6,63.10^{-34} \text{ kg.m}^2.s^{-1}$

k_B : Constante de Boltzmann = $1,38.10^{-23} \text{ kg.m}^2.s^{-2}.K^{-1}$

g : Constante gravitationnelle terrestre = $9,81 \text{ m.s}^{-2}$

c_0 : Célérité de la lumière = $2,998 \text{ m.s}^{-1}$

C_1 : Constante de Planck 1 = $1,19.10^{-16} \text{ kg.s}^{-3}.m^{-4}$

C_2 : Constante de Planck 2 = $1,44.10^{-2} \text{ m.K}$

T_s : Température moyenne du Soleil = $5,772.10^3 \text{ K}$

T_s : Température moyenne de la Terre = $288,15 \text{ K}$

$\bar{\alpha}_T$: Albédo terrestre moyen = $0,31$

1. En unités usuelles

2. Dans ce rapport il décrira exclusivement la puissance rayonnée par unité de surface

3. En Unités du Système International (USI) à 3 CS près

Introduction

Le réchauffement climatique est sans aucun doute la plus grande problématique scientifique du siècle actuel. Elle regroupe une multitude d'enjeux mêlant environnement, climat, industries et sociétés humaines. Cependant s'il y a un point en particulier qui fait parler de lui, il s'agit bien de l'effet de serre.

Cependant, il semblerait que ce phénomène physique, vraisemblablement assez simple en apparence, s'avère bien plus complexe en réalité. Si l'on se penche dans un premier temps sur l'éthymologie de ce terme, inventé par le scientifique français Joseph Fourier ², on rencontre déjà une première confusion notable. En effet l'effet de serre tel qu'il opère dans les couches atmosphériques est majoritairement lié au jeu d'absorption, d'émission et de transmission de rayonnements. Tandis que les serres misent plutôt sur l'utilisation d'une enceinte fermée hermétique qui supprime l'effet de convection de l'air, ce qui a pour conséquence une élévation de température. En bref, il faut garder en tête que cette analogie comporte des limites.

De ce fait, c'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet, qui a pour but de quantifier et d'étudier l'impact des gaz à effet de serre avec des outils de deuxième année de cursus ingénieur. L'objectif est de construire petit à petit un modèle, avec de plus en plus de paramètres, et qui tende à se rapprocher d'une description fidèle de l'impact des gaz à effet de serre.

Tout d'abord nous réaliserons quelques calculs initiaux de flux sans aucun GES. Ensuite nous introduirons le dioxyde de carbone CO_2 et étudierons son impact avec une température de système uniforme. Puis nous tenterons de considérer d'autres GES et de faire évoluer leur caractéristiques en fonction de modèles atmosphériques de température, altitude et pression.

Dans l'ensemble, ce projet se base sur la physique des transferts thermiques, mais fait également appel à des compétences en informatique et mathématiques. En effet notre modèle se fonde sur plusieurs paramètres qu'il sera nécessaire d'ajuster selon nos besoins, ce qui requiert d'implémenter tous ces calculs numériquement.

Pour ce qui est des outils, nous avons codé l'ensemble de nos algorithmes en Python 3.12 et avons misé la popularité de ce langage pour utiliser des bibliothèques de physique et de mathématiques libres d'accès permettant d'avoir accès à des outils absolument fondamentaux : calcul intégral numérique, base de donnée de taux d'absorptions de gaz à effet de serre, graphiques... Sinon, nous avons utilisé du \LaTeX pour la rédaction de ce rapport, qui est un logiciel parfaitement adapté aux études dans le milieu scientifique. La prise en main s'est faite progressivement pour chaque membre du groupe, mais au final, nous sommes tous parvenus à maîtriser les bases fondamentales et rudiments de cet outil de traitement de texte à première vue bien complexe.

Chapitre 1

Méthodologie, organisation du travail

- Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail
- Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés

Chapitre 2

Travail réalisé et résultats

2.1 L'effet de serre

2.1.1 Explication du phénomène de l'effet de serre

L'effet de serre est un processus naturel qui se produit avec le rayonnement entre la Terre et le Soleil. Tout d'abord, le Soleil émet un rayonnement vers la Terre, l'atmosphère laisse passer une partie de ce rayonnement solaire. Réchauffé, le corps terrestre, étant un corps noir, émet un flux rayonné identique à celui reçu par soleil. Ce flux est alors renvoyé vers l'atmosphère et une partie est absorbée par les gaz présents, appelés gaz à effet de serre. Le reste du flux est soit envoyé dans l'espace, soit renvoyé vers la Terre. De plus, nous avons pu constater que ce phénomène n'existe que lorsque que la température varie dans l'atmosphère en fonction de l'altitude. Ainsi si la température était uniforme dans l'atmosphère ce phénomène n'existerait pas.

C'est l'absorbction du rayonnement par les GES qui va provoqué un rechauffement terrestre. Ainsi, ce phénomène créé un réchauffement global de la Terre permettant à la température moyenne de s'élever à 15°C au lieu de -18°C (sans GES).

2.1.2 Définition des GES

Gaz à effet de serre est gaz présent dans l'atmosphère qui absorbe une partie des rayonnements (rayons infrarouges) reçue par le soleil. Ces gaz sont d'origine naturelle (vapeur d'eau) et/ou anthropique (issues des activités humaines) comme par exemple le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et les gaz fluorés (HFC) ³.

2.2 Bilan radiatif terrestre

2.2.1 Définitions du corps noir et de l'émittance

Le corps noir

Un corps noir est un objet idéal qui permet d'évaluer le flux thermique maximum que peut rayonner un corps, en fonction de sa température. Ainsi un corps noir va émettre autant de rayonnement qu'il en absorbe. On peut donc dire que son emittance ϵ est égale à 1.

L'émittance

La luminance d'un corps noir est évalué grace à la loi de Planck (en $W.m^{-3}$) :

$$M_{\lambda,T}^0 = \frac{\pi C_1}{\lambda^5} \left(\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right)^{-1}$$

$$C_1 = 1,19 \cdot 10^8 \text{ W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1} \quad C_2 = 14400 \mu\text{m.K}$$

Et ainsi l'exittance totale d'un corps noir (en $W.m^{-2}$) est obtenue avec la formule suivante :

$$M^0 = \int_0^\infty M_\lambda^0 d\lambda = \sigma T^4$$

2.2.2 Bilan radiatif sans effet de serre

A température constante

A température variable en fonction de l'altitude

Le Soleil émet des rayonnements dans le domaine visible et dans le domaine infrarouge. C'est un corps noir, c'est à dire qu'il absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit et le réémet parfaitement. De plus , on peut dire que son émissivité est égale à 1 d'après les hypothèses du corps noir. Il suit donc la loi de Planck et son spectre d'émission en fonction de la longueur d'onde est le suivant :

On peut alors calculer ce qu'il émet en rayonnant de 2 manières :

1. Avec le flux radiatif

$$\Phi_{ray} = \int \epsilon \sigma T^4 dS$$

2. Numériquement En effet évaluer le flux émit revient à calculer l'aire sous la courbe de son spectre d'émission. (voir Figure "mettre nombre figure" et inserer le code pour faire l'intégrale sous la courbe)

Ainsi avec ces deux méthodes, on trouve que le rayonnement émis par le Soleil est de 174 PW soit $1,74 \cdot 10^{17} \text{ W}$

Conclusion et perspectives

- Conclusions sur le travail réalisé
- Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet
- Perspectives pour la poursuite de ce projet

Bibliographie

- [1] DAVID LOUAPRE, Article et vidéo, *"La saturation de l'effet de serre (ou pas)"*, 06/10/2023 :
<https://scienceetonnante.com/2023/10/06/la-saturation-de-leffet-de-serre/>
- [2] JOSEPH FOURIER, Article, *"Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires"*, Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France, vol.7, p.569-604, 1827 :
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k32227/f814.item>
- [3] JEAN-MARC JANCOVICI, Article, *"Quels sont les gaz à effet de serre ?"*, 01/08/2007 :
<https://jancovici.com/changement-climatique/gaz-a-effet-de-serre-et-cycle-du-carbone/quels-sont-les-gaz-a-effet-de-serre-quels-sont-leurs-contribution-a-leffet-de-serre/>

Annexes

A Documentation technique

B Listings des programmes réalisés

C Schémas de montages, plans de conception...

D Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)

E Mettre du code en annexe