



Cahier des charges

MASTER 1 PHYSIQUE NUMÉRIQUE

PROJET RÉALISÉ À L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER
ANNÉE SCOLAIRE 2022–2023

Diffusion d'une onde électromagnétique au sein d'un milieu bidimensionnel

Membres du projet :

Khalis ATTOU

Pierre AUNAY

Antoine CHARVIN

Tristan GONINET

Lucas JASPARD

Lidia LAPPO

Morgane LENDRIN

Encadrants :

Anne-Muriel ARIGON

Brahim GUIZAL

Hervé PEYRE

21 avril 2023

1 Objectifs et contexte

L'objectif est de développer une application Web qui a pour rôle de simuler la propagation d'ondes électromagnétiques au sein d'un matériau (ici, des **strips** de **graphène**). Le délai prévu pour la conception, le développement et le déploiement de cet outil est de trois mois.

Le phénomène de diffusion se produit lorsqu'une onde rencontre un ou plusieurs obstacles petit par rapport à sa longueur d'onde. Les obstacles dispersent alors l'onde dans différentes directions.

Cette application permettra d'étudier des phénomènes physiques en utilisant la méthode numérique FMM (Fourier Modal Method) et sera accessible à tous. Celle-ci devra donc remplir les conditions nécessaires pour une utilisation internationale et adaptée aux chercheurs.

Pour mieux cerner la problématique physique : Considérons une onde électromagnétique incidente dans un milieu 1 avec un angle d'incidence θ par rapport à la normale au **dioptre** (ici les strips de graphène). Cette onde a une partie réfléchie dans le milieu 1 et une partie transmise dans le milieu 2. Il est possible d'avoir, en même temps, une onde incidente dans le milieu 2 mais ce cas ne sera pas abordé ici. L'objectif est de connaître l'impact des différents facteurs modifiables (pour les matériaux, les milieux et les ondes incidentes) sur la diffusion de cette onde.

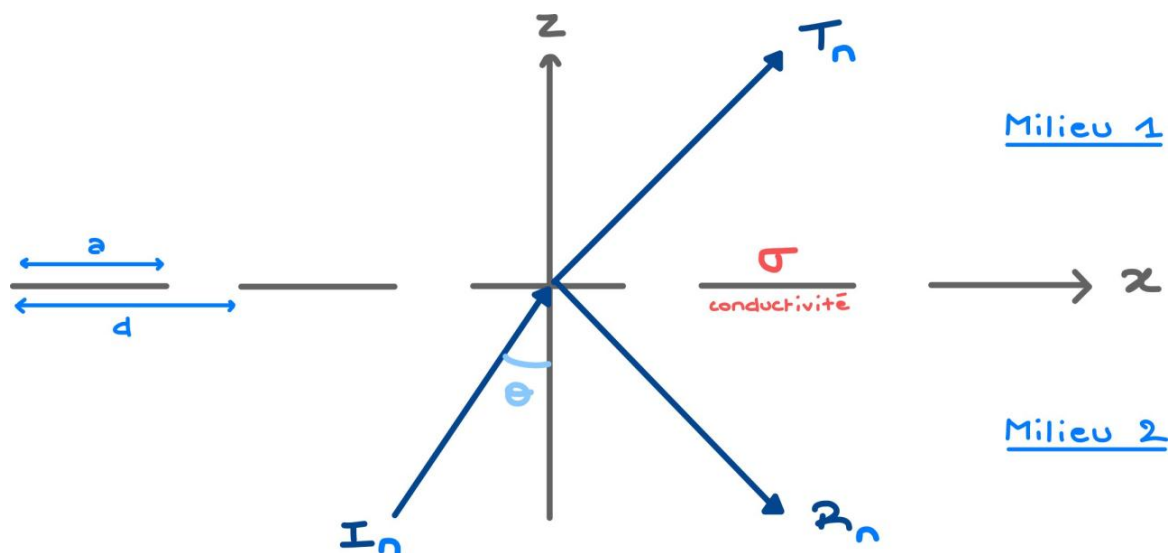


FIGURE 1 – Schéma, vue de coupe, de la diffusion d'une onde électromagnétique traversant un plan constitué de bandes de graphène. Le milieu 1 correspond au milieu d'incidence et le milieu 2 correspond au milieu de transmission. I , R et T correspondent respectivement aux amplitudes de l'onde incidente, réfléchie et transmise.

2 Axes de développement principaux

Nous adopterons une architecture MVC (Modèle Vue Contrôleur) (MVC). Il faudra donc prendre en compte les aspects suivants :

- Le modèle, qui est représenté par le diagramme de classe, doit détailler l'ensemble des objets de la simulation et leurs liens ;
- L'interface utilisateur, ou la vue, réunissant toutes les fonctionnalités proposées à ce dernier et présentant les données du modèle. Il recueille aussi les données de l'utilisateur ;

- Le contrôleur qui doit gérer les modifications des paramètres du modèle effectuées par l'utilisateur.

3 Grandeurs physiques utiles à la simulation

Grandeur	Domaine	Unité	Type de grandeur	Description
T	$[0, 600]$	K	scalaire réel	Température du matériau
μ	$[0.1, 1]$	eV/atome	scalaire réel	Potentiel chimique du matériau
θ	$[0, \pi/2]$	rad	scalaire réel	Angle que fait le vecteur d'onde incident avec l'axe z figure 1
a	$[10^{-9}, 1]$	m	scalaire réel	Largeur des bandes (cf figure 1)
d	$[10^{-9}, 1]$	m	scalaire réel	Période des bandes (cf figure 1)
ϵ_r^{out}	$\Re(\epsilon_r^{out}) \in [1, 100]$	\emptyset	vectorel complexe si dispersif et scalaire complexe sinon	Permittivité relative du milieu de transmission
ϵ_r^{in}	$[1, 100]$	\emptyset	vectorel réel si dispersif et scalaire réel sinon	Permittivité relative du milieu de réflexion
σ	$ \sigma \approx 10^5$	S/m	vectorel complexe	Conductivité du matériau
ω	$[10^{-10}, 10^{20}]$	rad/s	scalaire réel	Pulsation de l'onde incidente
λ_0	\emptyset	m	scalaire réel	Longueur d'onde de l'onde incidente
$\lambda_{min/max}$	\emptyset	m	scalaire réel	Bornes du spectre d'absorption
p	$\{TE, TM\}$	\emptyset	\emptyset	Polarisation de l'OEM. "TE" pour Transversale Électrique et "TM" pour Transversale Magnétique

4 Grandeurs physiques accessibles à partir de la simulation

Grandeur	Type de grandeur	Description
T_N	vectoriel complexe	Amplitudes des ondes transmises. Chaque angle formé entre un des vecteurs d'onde des ondes diffusées et l'axe z de la figure 1 est associé à une composante du vecteur T_N . N correspond aux N composantes du vecteur.
R_N	vectoriel complexe	Amplitudes des ondes réfléchies. Chaque angle formé entre un des vecteurs d'onde des ondes réfléchies et l'axe z de la figure 1 est associé à une composante du vecteur R_N .
A	vectoriel réel	Absorption du matériau. Elle se calcule à partir des vecteurs R_N et T_N et chaque composante correspond à une valeur de λ différente.

5 Fonctionnalités

L'utilisateur doit pouvoir :

- Effectuer une simulation simple en fournissant des paramètres d'entrée fixes ainsi que la forme des résultats souhaités (vecteurs T_N et R_N et/ou carte des champs) ;
- Effectuer une simulation complexe en faisant varier un paramètre d'entrée (ici λ) et en fixant les autres pour obtenir le spectre d'absorption du matériau $A(\lambda)$;
- Consulter la documentation sans passer par une simulation ;
- Choisir de sauvegarder ses résultats.

Il faut également envisager une extension offrant plus d'options à l'utilisateur, lui permettant de :

- Choisir de sauvegarder ses paramètres d'entrée ;
- Fournir un fichier pour les paramètres d'entrée ;
- Lancer la simulation en local (machine utilisateur) ou à distance (sur serveur) ;
- Importer un fichier de résultats pour visualiser un graphique.

6 Contraintes

- Contraintes temporelles : Tous les points mentionnés dans ce document doivent être mis en oeuvre avant le 16 juin 2023. Nous souhaitons laisser deux semaines pour des ajustements avant la soutenance ;
- Contraintes techniques : Nous devons prendre en compte le matériel mis à disposition. Nous devons respecter le paradigme orienté objet et avoir une architecture en Modèle Vue Contrôleur ;
- Contraintes de performance : Nous devons faire une troncature pour les séries de Fourier (il est impossible de travailler sur l'intervalle $]-\infty, +\infty[$) et les matrices à inverser peuvent avoir des dimensions 1000×1000 ;
- Contraintes d'évolution : Nous devons avoir des codes évolutifs. Pour cela, nous devons insérer des commentaires précis pour chaque partie du code, expliquer chaque module et fournir une notice à destination des prochains étudiants et des tuteurs de ce projet. Les objets et les modèles doivent être standardisés (respecter les mêmes normes, conventions et structures). Cela implique que, pour une extension du code, il faudra respecter ce standard.

Glossaire

dioptre Surface séparant deux milieux d'indice de réfraction différents. [1]

graphène Matériau bidimensionnel cristallin composé de carbone dont l'empilement constitue le graphite. [1]

MVC Motif d'architecture logicielle pour les interfaces graphiques d'une application web. [1]

strip Bande sans épaisseur d'un matériau, le graphène dans notre cas. [1]