

Electrodynamique classique du vide et des milieux continus

Patrick PUZO

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

patrick.puzo@u-psud.fr

- But : maîtrise suffisante de l'électrodynamique pour suivre les cours du M1
- Approche thématique et non historique : je suppose que vous connaissez Gauss, Biot et Savart, Ampère, ...
 - Le seul cours sur L3/M1 dont vous avez déjà vu de grandes parties
- Liens avec les TD : liens thématiques et non journaliers !
- Travaux pratiques :
 - Un seul TP rattaché au module d'électrodynamique : hyperfréquences
 - Evaluation à part, comme tous les TP

Plan du cours

1. Equations de Maxwell dans le vide - Electromagnétisme
 2. Electrostatique
 3. Milieux diélectriques
 4. Magnétostatique
 5. Milieux magnétiques
 6. Systèmes rayonnants
 7. Propagation des ondes électromagnétiques
 8. Induction électromagnétique
- Au contraire de vos autres cours de L3, vous avez une « histoire personnelle » en électromagnétisme
 - Dans tous les cas, vous n'avez pas tout compris en électromagnétisme

Exemple

- L'induction n'est pas un phénomène simple à expliquer, surtout dans le cadre de la physique classique. La théorie de la relativité n'est jamais très loin ...

Article « fondateur » de la
théorie de la relativité
(Einstein - 1905)



SUR
L'ÉLECTRODYNAMIQUE
DES
CORPS EN MOUVEMENT (1)

Introduction.

On sait que l'Électrodynamique de Maxwell, telle qu'elle est conçue aujourd'hui, conduit, quand elle est appliquée aux corps en mouvement, à des asymétries qui ne semblent pas être inhérentes aux phénomènes. Rappelons, par exemple, l'action mutuelle électrodynamique s'exerçant entre un aimant et un conducteur. Le phénomène observé dépend ici uniquement du **mouvement relatif du conducteur et de l'aimant**, tandis que, d'après la conception habituelle, il faudrait établir une distinction rigoureuse entre le cas où le premier de ces corps serait en mouvement et le second au repos, et le cas inverse. En effet, quand l'aimant est en mouvement et le conducteur au repos, il se produit autour du premier

- 2h de cours par semaine (jeudi 8h15-10h15) pendant 6 semaines puis 4h par semaine pendant 6 semaines (lundi 8h15-10h15 + jeudi 8h15-10h15). Même volume horaire en TD
 - En parallèle, il existe une version anglaise du cours et des TD
- Trois types de transparents :
 - 1 Des transparents « **normaux** » (90 %) qu'il faut connaître et comprendre pour les examens
 - 2 Des transparents « **complexes** » réservés à ceux qui veulent faire de la théorie plus tard (cerclé rouge)
 - 3 Une **culture générale en physique** sans équation (cerclé bleu)

▲ Seuls les transparents du 1^{er} type sont exigibles aux examens

Remarque : effet Aharonov-Bohm

- Evidence d'une action du potentiel vectoriel
 - La figure d'interférence de 2 électrons est modifiée près d'un solénoïde où B est nul

A la distance r de l'axe d'un solénoïde de rayon a ($r > a$) :

$$\vec{A} = \frac{a^2}{2r} B_0 \vec{u}_\theta$$

- En fait, c'est un effet qui met en évidence de la quantité de mouvement potentielle (c'est le potentiel vecteur)
- En physique classique, on supposera que les potentiels ne sont pas des observables physiques

Lorsqu'une comète s'approche du Soleil, son noyau se réchauffe, et les glaces superficielles s'évaporent, entraînant l'apparition d'une chevelure gazeuse autour du noyau. Les gaz et poussières expulsés sont repoussés par le vent solaire et la pression de la radiation, composent alors les **queues de la comète**, en direction opposée.

Une première queue bleutée, dite **queue de gaz** (ou **de plasma**), pouvant atteindre plusieurs millions de kilomètres, est engendrée par les ions sous l'effet des vents solaires.

Une seconde queue, composée de **poussières** éjectées, est repoussée par la pression du rayonnement solaire, forme une traînée jaunâtre, plus diffuse et incurvée.



Typiquement 100000 km

Formules sur les transparents

$$F_{ik} = - F_{ki}$$

Formule
« normale »

$$F_{ik} = - F_{ki}$$

Formule déjà présente sur les
transparents précédents
(ne cherchez pas à la recopier)

Polycopiés

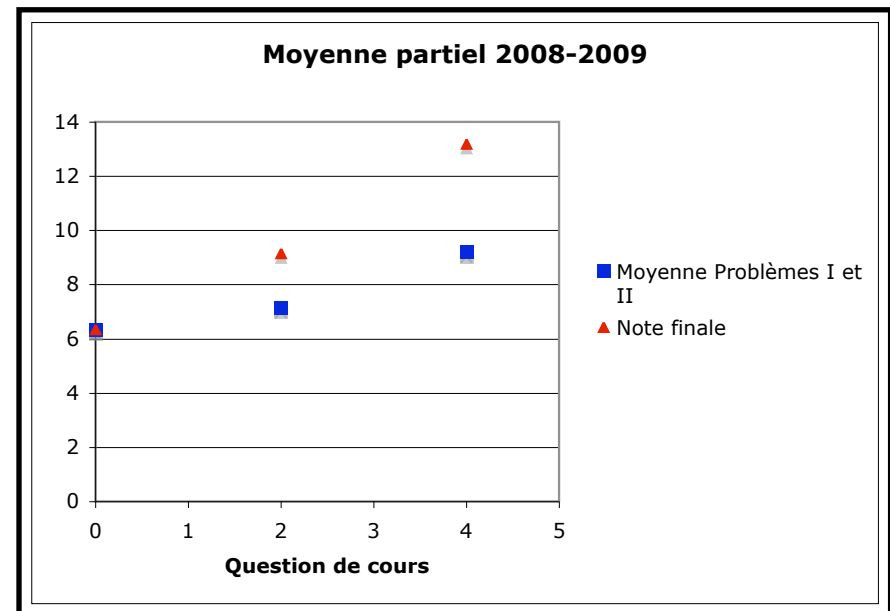
- Notes de cours :
 - ❑ Très inégales, certains chapitres plus développés que d'autres
 - ❑ Contient très certainement des fautes/erreurs. N'hésitez pas à les signaler
 - ❑ Les transparents suivent l'ordre du polycopié. Certains points ne sont développés que sur les transparents, d'autres également en amphi
 - ❑ Disponible en version papier et sur DOKEOS
- Le polycopié de TD est disponible. On ne le fera pas dans son intégralité
 - ❑ Utilisation des compétences acquises en cours d'informatique dans certains TD
- Les transparents sont disponibles sur DOKEOS

Comment travailler ?

- Régulièrement
- Il faut refaire chaque cours et chaque TD avant d'aller au cours ou au TD suivant
- Refaire un cours/TD :
 - Refaire les démonstrations sans l'aide du cours
 - Refaire les exercices sans regarder la correction
 - Une lecture de la correction donne bonne conscience, mais garantit généralement une mauvaise note à l'examen
- Faire les devoirs à la maison, et les annales (au moment des révisions uniquement)

Evaluations

- 6 ECTS
- Présence (active) en TD, devoirs à la maison, assiduité aux cours : pas de notation
- Partiel/examen :
 - 1 ou 2 problèmes/exercices
 - Un calcul fait en cours à refaire intégralement
 - Une explication donnée en cours à redonner correctement



Bibliographie

■ Livres « utilitaires »

1. J.P. Faroux et J. Renault, *Electromagnétisme 1 - Cours et exercices corrigés*, Dunod, Paris, 1996
2. J.P. Faroux et J. Renault, *Electromagnétisme 2 - Cours et exercices corrigés*, Dunod, Paris, 1998
3. J.P. Perez, R. Carles et R. Fleckinger, *Electromagnétisme*, 3^{ème} édition, Masson, 1997

■ Ouvrages de niveau plus élevé - N'en prendre que quelques passages

1. E. Purcell, *Electricité et magnétisme - Cours de Physique de Berkeley, volume 2* (version française), Armand Colin, Paris, 1973
2. R. Feynman, R. Leighton et M. Sands, *Cours de Physique - Electromagnétisme* (version française), InterEditions, Paris, 1979
3. J.D. Jackson, *Electrodynamique classique* (version française), 3^{ème} édition, Dunod, Paris, 2001

Licence 3 et Magistère de Physique
(2016-2017)

- Cours en français : P. Puzo
- Cours en anglais : E. Khan
- TD1 : B. Van Tent (en anglais)
- TD2 : S. Guilbaud
- TD3 : X. Garrido
- TD4 : X. Garrido

- I would like to see after this lecture all english students
- Ich bitte alle deutschen Studenten/Studentinnen zu mir zu kommen
- Vorrei vedere alla fine del corso tutti gli studenti italiani
- Me gustaria ver a los estudiantes españoles despues del curso
- Eu gostaria de ver, ao final deste curso, todos os alunos falando português
- 亲爱的学生们, 请你们来见我!