

14h session plénière – Productions et usages –  
amphi de Sciences Naturelles

## Module Physique - Ressources en électromagnétisme L2/L3 -

Florent Calvayrac (Le Mans Université)

Tiphaine Galpin (Le Mans Université)

Jessica Benedicto (Université de Bretagne Occidentale)

# Une petite équipe :

## Enseignement :

Jessica Benedicto de l'université de Brest

Florent Calvayrac ; Anne Désert ; Nirina Randrianantoandro de l'université du Mans

## Soutien ingénierie techno-pédagogique :

Tifaine Inguere ; Tiphaine Galpin de l'université du Mans

## Soutien technique sur ScenariChain :

Franck Varet de l'université du Mans

Ayman Itoubane et Hugo Lebreton étudiants de l'université du Mans

(Ghislain Fabre pour Hilisit)

# Suivi du projet : Lot 1 et Lot 2

2021

| Lancement du projet   | Éclaircissement  | Répartition lots  | Pré-production  |
|---|--|---|---|
| <b>06.2021</b>  | <b>09.2021</b>   | <b>10.2021</b>  | <b>12.2021</b>  |
| Cahier des charges : "mise à jour des ressources Numeliphy / UEL + Illustrations + Bdq" | Droits d'accès Arkhé<br>▲ Droits d'accès Scénari Chain<br>Cadrage / scénarisation : <ul style="list-style-type: none"><li>• Apprendre</li><li>• Observer</li><li>• S'exercer</li><li>• S'évaluer</li></ul> |   |   |
|   |  | Structuration des syllabus<br>Identification des ressources à créer |   |
|   |  |   | Réorganisation des ressources et test de production Scenari / Arkhé |

# Suivi du projet : Lot 1 et Lot 2

2022

| Scénarisation   | Prise en main des outils   | Productions  | 2 lots = 2 rythmes   |
|---|--|--|--|
| 01.2022   | 02.2022  | 04.2022  | 10.2022  |
| Mise en place des scénarios pédagogiques<br>Création des groupes de Quizz<br>Suivi des conventions et contraintes des cumuls d'heures |  |  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"><li>Confrontation aux pb techniques :<ul style="list-style-type: none"><li>Editeur Latex scénari et doubles intégrales<ul style="list-style-type: none"><li>Scenari et Mac !</li></ul></li></ul></li><li>Génération de pdf pour relecture et sélection de l'existant</li></ul> |  |  |
|   |  | Saisie de ressources Scenari (Contrat étudiant)<br>Intégration d'illustrations de l'observatoire de Paris ( Mr Malherbe)<br>Création de nouveaux exercices (type TD) |  |
|   |  |  | Lot 2 : en production<br>Lot 1 : Poursuite de la scénarisation / tri ... |

# Suivi du projet :

2023 Lot 2

| Productions   | Livraison du module           |
|---|-------------------------------|
| <b>01.2023</b><br>:<br>:<br>:   | <b>04.2023</b><br>:<br>:<br>: |
| Complétude de la BdQ<br>Génération de pdf avec export.scar sur scénari LMU<br>Relecture |                               |
| :<br>:<br>:<br>:  | :<br>:<br>:<br>:              |

# Suivi du projet :

2022/2023 Lot 1

| Scénarisation   | Production                                    | Livraison   |
|---|---|---|
| 10.2022   | 12.2022                                       | 06.2023   |
| Mise en place journal de bord en // de l'enseignement de la discipline <ul style="list-style-type: none"><li>Finaliser réorganisation des contenus existants</li><li>Compléter avec ressources manquantes (exercices)</li></ul> |   |   |
|   | Saisie de ressources sous scenari (étudiants) |   |
|   |   | Génération de pdf avec export.scar sur scénari LMU<br>Relecture |

# Nos outils collaboratifs:

|  |  |
|--|--|
| Définition du périmètre <ul style="list-style-type: none"><li>- public</li><li>- objectifs pédagogiques</li><li>- chapitrage</li></ul> | Syllabus   |
| Tri des ressources existantes  | Syllabus / Scénario pédagogique                                |
| Réorganisation et identification des ressources à créer  | Scénario pédagogique (lot 1&2)<br>Journal de bord (lot1)       |
| Suivi de progression du projet   | Drive partagé<br>Réunions régulières + comptes rendus partagés |

# Pédagogiquement

## Lot 1 : Electrostatique et Magnétostatique

Étudiants L1/L2

- Refonte et réorganisation d'un enseignement présentiel trop "mathématiques" destiné à un profil « Sciences Pour L'ingénieur », en s'appuyant sur des ressources Unisciel existantes (UEL « Electrostatique » et UEL « Magnétostatique ») et en tenant compte des retours étudiants en direct.
- Enrichissement du cours avec l'ajout d'une partie « Introduction à l'électromagnétisme, Auto induction et Induction mutuelle »
- Enrichissement d'un scénario d'usage d'apprentissage à distance avec des exercices d'applications et des tests d'évaluations type QCM.

## Lot 2 : Electromagnétisme

Étudiants L2/L3

- Mise à jour de ressources Unisciel existantes (Numéliphy)
- Enrichissement d'un scénario d'usage d'apprentissage à distance avec des exercices d'entraînements et des évaluations formatives
- Création de cartes de champs électriques et magnétiques en 3 dimensions - > Enrichissement du cours
- Enrichissement d'un scénario d'usage d'apprentissage à distance avec des exercices d'applications et des tests d'évaluations type QCM.

# Lot 1 : Illustration du Journal de Bord

2022 03 16\_ScénarioPeda\_Lot1\_Electrostatique et Magnétostatique\_HilisitEM ☆ 📁 ☁

Fichier Édition Affichage Insertion Format Données Outils Extensions Aide

↶ ↷ 🖨 📄 50% | € % .0. .00 123 | Calibri | - 11 + | B I A | 🎨 🏠 📏 📐 | ⌵

| A1  | B  | C   | D | E   | F                   | G   | H                            |
|-----|--|---|---|---|---------------------|---|------------------------------|
| 105 | potentiel :  | simuler_ch06_01 à _05.xml   |   | existante   |                     | compléments de cours interactifs  |                              |
| 106 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 107 | lignes de champs :   | simuler_ch12_01 à _04.xml   |   | existante   |                     | compléments de cours interactifs  |                              |
| 108 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 109 | dipôle   | observer_ch12_01 et _02.xml   |   | existante   |                     |   |                              |
| 110 | Dipôles à grandes distances :  | <a href="http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/dipolegd.html">http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/dipolegd.html</a> |   | existante   |                     |   |                              |
| 111 | Dipôles  | <a href="http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/dipole1.html">http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/dipole1.html</a>   |   | existante   |                     | compléments de cours interactifs  |                              |
| 112 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 113 | <b>APPRENDRE C-Module_Section_2</b>  |   |   |   |                     |   |                              |
| 114 | <b>Section 2 – I) Potentiel électrostatique</b>                            |   |   |   |                     |   |                              |
| 115 | Définition   | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch06/apprendre_ch06/apprendre_ch06_07.xml   |   | existante   |                     |   |                              |
| 116 | Propriétés   | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch06/apprendre_ch06/apprendre_ch06_04.xml   |   | existante   |                     |   |                              |
| 117 | <b>Section 2 – II) Lien entre le champ et le potentiel électrostatique</b> |   |   |   |                     |   |                              |
| 118 | Signification physique – Circulation du champ électrostatique              | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch05/apprendre_ch05/apprendre_ch05_01.xml   |   | existante   |                     |   |                              |
| 119 | Obtenir V à partir du champ électrostatique                                | /J/NSICIEL/Physique/hst_electro_magneto(nouveau)/Grain_HST_EL_C_S02/Grain_HST_EL_C_S02-1-01.x   |   | existante   |                     |   |                              |
| 120 | Obtenir le champ électrostatique à partir de V                             | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch07/apprendre_ch07/apprendre_ch07_01.xml   |   | existante   |                     | cteur E remplacé par "champ électrostatique" dans le ti   |                              |
| 121 | <b>Section 2 – III) Dipôle électrostatique</b>                             |   |   |   |                     |   |                              |
| 122 | <b>OK SUR SCENARI METTRE DOC A JOUR</b>                                    |   |   |   |                     |   |                              |
| 123 | Dipôle électrostatique   | /J/NSICIEL/Physique/hst_electro_magneto(nouveau)/Grain_HST_EL_C_S02/Grain_HST_EL_C_S02-1-03.x   |   | existante   |                     | même nom pour la partie trois et le grain de contenu  | image ne s'affiche pas en lo |
| 124 | <b>S'EXERCER E-Module_Section_2</b>  |   |   |   |                     |   |                              |
| 125 | Potentiel V créé par un ensemble de charges ponctuelles                    | division dans E-Module_Section_2  |   | créer un grain comme un "s'évaluer" pour intégrer tous les exos   |                     |   |                              |
| 126 | Potentiel V créé par deux charges ponctuelles - 1                          | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch06/sexeceer_ch06/sexeceer_ch06_08.xml   |   | existante / à intégrer comme grain dans le s'évaluer à intégrer (les deux grains d'exos) dans le module sur scenari | Web + pdf sur Arkhé | renommer : au lieu de "Potentiel V créé par une distribution discrète : calcul direct du potentiel 1/1", mettre titre colonne B |                              |
| 127 | Potentiel V créé par deux charges ponctuelles - 2 et 3                     | /TRAVAIL Lot 1 - electro et magneto_2023-3-31/TRAVAIL Lot 1 - electro et magneto/uel_electrostatique  |   |   |                     |   |                              |
| 128 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 129 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 130 | <b>Circulation de champs</b>   |   |   |   |                     |   |                              |
| 131 | Circulation de E dans un plan  | division dans E-Module_Section_2  |   | créer un grain comme un "s'évaluer" pour intégrer tous les exos   |                     |   |                              |
| 132 | Exemple d'un champ de vecteurs U sur un cercle                             | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch05/sexeceer_ch05/sexeceer_ch05_03.xml   |   | existante / à intégrer comme grain dans le s'évaluer  |                     |   |                              |
| 133 | Circulation de E sur un arc de cercle                                      | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch05/sexeceer_ch05/sexeceer_ch05_02.xml   |   | existante / à intégrer comme grain dans le s'évaluer  |                     |   |                              |
| 134 | Circulation de E dans l'espace   | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch05/sexeceer_ch05/sexeceer_ch05_04.xml   |   | existante / à intégrer comme grain dans le s'évaluer  | Web + pdf sur Arkhé |   |                              |
| 135 |  | /J/NSICIEL/Physique/uel_electrostatique/ch05/sexeceer_ch05/sexeceer_ch05_05.xml   |   | existante / à intégrer comme grain dans le s'évaluer  |                     |   | image ne s'affiche pas en lo |
| 136 | La circulation d'un vecteur  | /TRAVAIL Lot 1 - electro et magneto_2023-3-31/TRAVAIL Lot 1 - electro et magneto/uel_electrostatique_202  |   | à intégrer dans le module sur scenari   |                     |   |                              |
| 137 |  |   |   |   |                     |   |                              |
| 138 | <b>S'ÉVALUER</b>   |   |   |   |                     |   |                              |
| 139 |  | SU-PES-031  |   |   |                     |   |                              |
| 140 |  | SU-PES-032  |   |   |                     |   |                              |
| 141 |  | SU-PES-033  |   |   |                     |   |                              |
| 142 |  |   |   |   |                     | chapitre 2 ou chapitre 3 (?)  |                              |

# Lot 1 : Illustration de scénario d'usage d'apprentissage



## Section 1 : Interactions, Champs et potentiels électrostatiques

### 1) Charge électrique

- 1) Phénomènes d'électrisation
  - 2) Quantification de la charge
  - 3) Conservation de la charge
  - 4) Description mathématiques / Types de distribution
  - 5) Description mathématiques / Types de densité
  - 6) Comment charger un corps
- ▶ II) Force électrostatique
- ▶ III) Champ électrostatique

### I) Charge électrique

- 1) Phénomènes d'électrisation
- 2) Quantification de la charge
- 3) Conservation de la charge
- 4) Description mathématiques / Types de distribution
- 5) Description mathématiques / Types de densité
- 6) Comment charger un corps

# Lot 1 : Illustration de scénario d'usage d'apprentissage



## Section 7 : Introduction à l'électromagnétisme

### Section 7 - I) Bilan du cas stationnaire

Equations intégrales et locales des champs magnétostatique et électrostatique et des potentiels vecteur et scalaire

Méthodes de calcul du champ magnétostatique

Méthodes de calcul du potentiel vecteur

Équation de conservation de la charge

Opérateurs - Rappel

Cas des régimes stationnaires

Circulation du champ électrostatique

Circulation du champ magnétostatique : traduction mathématique locale

Flux du champ électrostatique

Flux du champ magnétostatique : traduction mathématique locale

Potentiel scalaire et équation de Poisson

### Section 7 - II) Notion d'introduction

Introduction

Section 7 - II) 1) Approche expérimentale

Section 7 - II) 2) Loi de Faraday

Section 7 - II) 3) Auto-induction et inductance d'une bobine

Section 7 - II) 4) Induction

## Section 7 - I) Bilan du cas stationnaire



Equations intégrales et locales des champs magnétostatique et électrostatique et des potentiels vecteur et scalaire

Méthodes de calcul du champ magnétostatique

Méthodes de calcul du potentiel vecteur

Équation de conservation de la charge

Opérateurs - Rappel

Cas des régimes stationnaires

Circulation du champ électrostatique

Circulation du champ magnétostatique : traduction mathématique locale

Flux du champ électrostatique

Flux du champ magnétostatique : traduction mathématique locale

Potentiel scalaire et équation de Poisson



# Lot 1 : Tests d'évaluations type QCM

Question **6**

Pas encore  
répondu

Noté sur 1,00

🚩 Marquer la  
question

⚙️ Modifier la  
question

On considère une sphère conductrice avec une densité surfacique de charge  $\sigma$  positive. Quelles sont les affirmations qui sont correctes à propos du champ électrique au voisinage de la surface extérieure de la sphère ?

Veuillez choisir au moins une réponse.

- a. Le champ électrique est normal à la surface et sortant.
- b. Le champ électrique vaut  $\sigma/\epsilon_0$ .
- c. Le champ électrique vaut  $\sigma/2\epsilon_0$ .
- d. Les lignes de champ sont tangentes à la surface.

Question **7**

Pas encore  
répondu

Noté sur 1,00

🚩 Marquer la  
question

⚙️ Modifier la  
question

On considère une sphère conductrice de rayon  $R$  chargée avec une charge  $Q$  à l'équilibre, loin de toute autre charge. Quelles sont les affirmations qui sont correctes ?

Veuillez choisir au moins une réponse.

- a. La densité volumique de charge vaut  $\rho = 0$ .
- b. La charge surfacique vaut  $\frac{Q}{4\pi R^2}$ .
- c. La densité volumique de charge vaut  $\rho = \frac{3Q}{4\pi R^3}$ .
- d. La charge surfacique vaut 0.

Question **8**

Pas encore  
répondu

Noté sur 1,00

🚩 Marquer la  
question

⚙️ Modifier la  
question

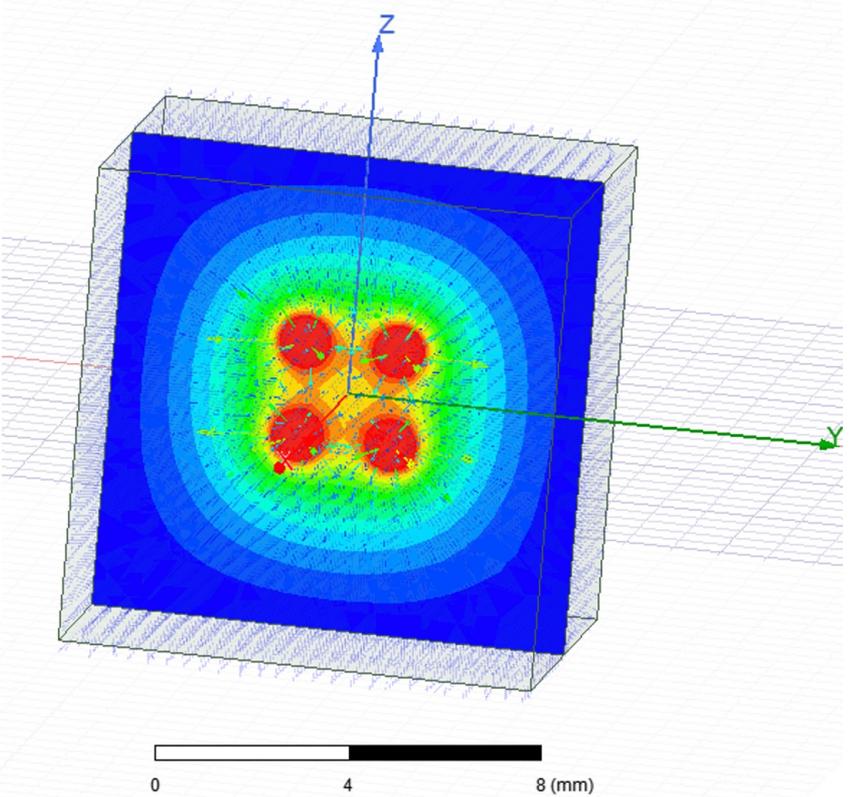
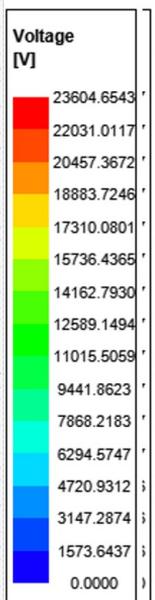
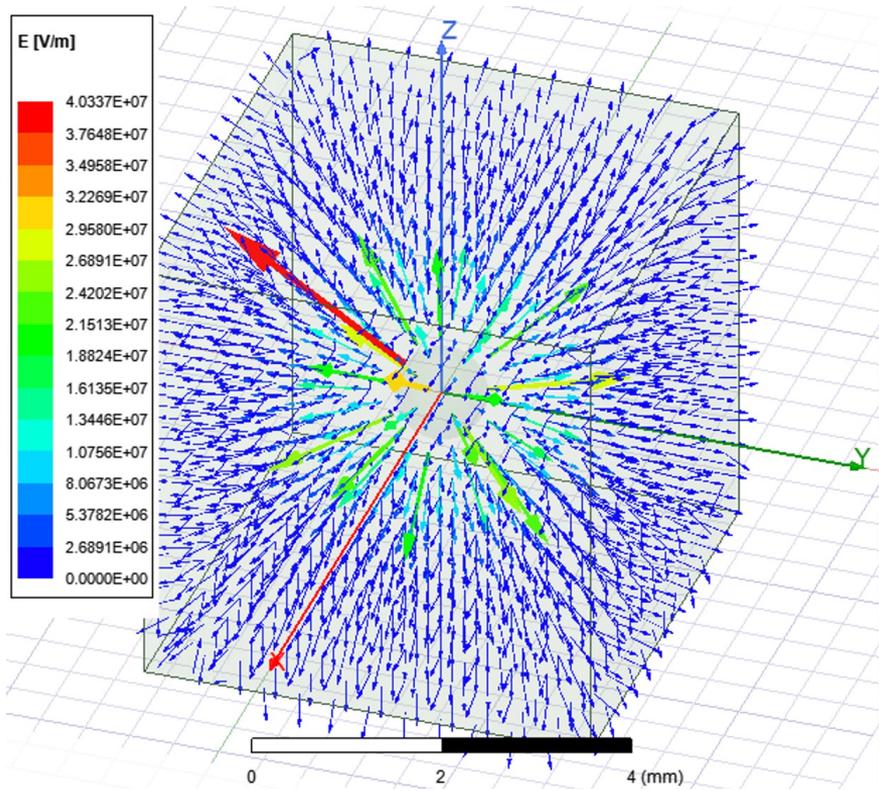
On considère un condensateur cylindrique dont les armatures sont deux cylindres coaxiaux de rayon intérieur  $R_1$  et extérieur  $R_2$  et de hauteur  $h$ .

Sa capacité vaut :

Veuillez choisir une réponse.

- a.  $\frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \frac{R_1}{R_2}}$
- b.  $\frac{2 \pi \epsilon_0 h}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$
- c.  $\frac{2 \pi \epsilon_0 h}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$
- d.  $\frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$

# Lot 1 : Illustration d'animation (champs en 2D, 3D)



# Lot 2 : Illustration de scénario d'usage d'apprentissage



Exercices sur des rappels mathématiques, électrostatique et magnétostatique

Effet Hall

Champs et opérateurs (1)

Champs et opérateurs (2)

Champs et opérateurs vectoriels (1)

Champs et opérateurs vectoriels (2)

## Champs et opérateurs vectoriels (2)



On considère le champ de vectoriel :

$$\vec{A}(\vec{r}) = y\vec{e}_x - x\vec{e}_y + a\vec{e}_z \text{ où } a \text{ est une constante.}$$

### Question



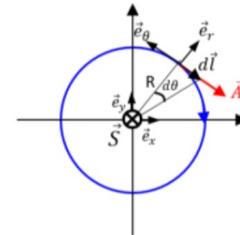
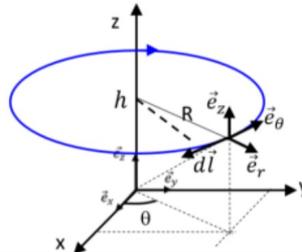
Calculer la circulation de  $\vec{A}$  le long d'un cercle défini par l'équation  $x^2 + y^2 = R^2$ ,  $z = h > 0$  et orienté dans le sens horaire.

Effectuer le calcul directement puis utiliser le théorème de Stokes pour retrouver le résultat.

### Solution

On considère le champ de vectoriel,  $\vec{A}(\vec{r}) = y\vec{e}_x - x\vec{e}_y + a\vec{e}_z$

Calcul dans la base polaire  $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$



# Lot 2 : Illustration de partie de cours



## Rappels mathématiques, électrostatique et magnétostatique

Objectifs

Introduction

- ▶ Intégrales linéiques, surfaciques, et volumiques : circulation, flux, éléments de volume
- ▶ Systèmes de coordonnées
- ▶ Analyse vectorielle
- ▶ Formule de Green-Ostrogradski
- ▶ Formule de Stokes
- ▶ Rappels d'électrostatique et magnéto-statique

Forme locale des théorèmes de Gauss et Ampère

Équation de Poisson

Flux du champ magnétique

Potentiel vecteur

Forme locale de la loi d'Ohm

Conditions de passage et conducteurs parfaits

### Forme locale des théorèmes de Gauss et Ampère



Vous aurez peut-être remarqué que jusqu'à présent nous n'avons fait qu'un usage modéré des outils mathématiques présentés dans la première partie du cours. Nous allons y remédier en reprenant les théorèmes de Gauss et d'Ampère et en introduisant les densités de charges et de courants : ainsi pour le théorème de Gauss

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum_i q_i^{\text{intérieures}}}{\epsilon_0}$$

se transforme en

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho(\vec{r}) dV$$

en remplaçant encore une fois les charges ponctuelles par leur densité moyenne sur un élément de volume  $dV$  et en sommant sur le volume  $V$  enserré par la surface  $S$  et contenant les charges (strictement, sans charges sur la surface).

De même pour le théorème d'Ampère

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_s$$



# Lot 2 : Illustration de partie de cours



## Ondes électromagnétiques

Objectifs

Introduction du chapitre

Équation d'onde dans le vide

Solutions générales

Fréquence et longueur d'onde

Structure des ondes électromagnétiques dans le vide

Ondes planes ; expression de nabra

Ondes sphériques

▼ Énergie électrostatique et magnéto-statique

Introduction

Travail d'établissement d'une distribution de charges

Travail d'établissement d'une distribution de courants statique

Puissance du champ électromagnétique ; vecteur de Poynting

Énergie transportée par une onde plane

Énergie transportée par une onde sphérique

il vient par substitution

$$P = \iiint_V (-\operatorname{div}(\vec{E} \wedge \frac{\vec{B}}{\mu_0}) + \frac{\vec{B}}{\mu_0} \cdot \operatorname{rot} \vec{E} - \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot \vec{E}) dV$$

En employant l'équation de Maxwell-Faraday

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

il apparaît

$$P = \iiint_V (-\operatorname{div}(\vec{E} \wedge \frac{\vec{B}}{\mu_0}) - \frac{\vec{B}}{\mu_0} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot \vec{E}) dV$$

Si nous introduisons la densité totale d'énergie électromagnétique  $u$  somme des contributions électrostatiques et magnéto-statiques vues dans les paragraphes précédents

$$u = \epsilon_0 \frac{\|\vec{E}\|^2}{2} + \frac{\|\vec{B}\|^2}{2\mu_0}$$

ainsi que le vecteur  $\vec{\Pi}$  dit de Poynting tel que

$$\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$$

nous remarquons dans l'expression de  $P$  après application de la formule de Green- Ostrogradski pour transformer le premier terme en intégrale de surface sur la surface  $S$  du volume  $V$  que

$$P = - \iint_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S} - \iiint_V \frac{\partial u}{\partial t} dV$$

ce qui signifie que la puissance électromagnétique déposée dans une distribution de charge est égale à l'opposé de la variation d'énergie du champ électromagnétique moins le flux du vecteur de Poynting représentant ainsi la puissance sortante du champ.

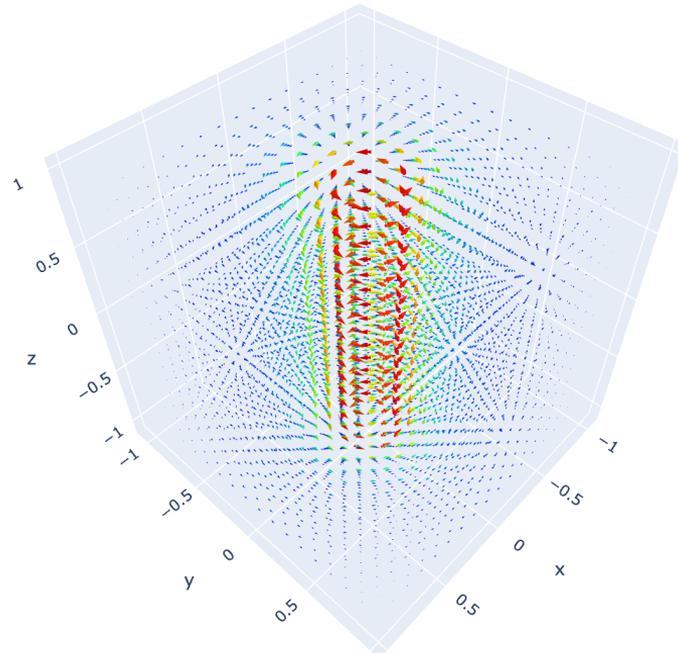
Remarquons que si le volume considéré est vide de charges alors  $P = 0$  et le flux du vecteur de Poynting représente la perte d'énergie du champ électromagnétique contenu dans ce volume.



# Lot 2 : Illustration d'animation (carte de champs en 3D)

 perso.univ-lemans.fr/~fcalvay/WebPoisson/web/B.html

<http://perso.univ-lemans.fr/~fcalvay/WebPoisson/web/B.html>



## • Partenaires réseau



## ▪ Partenaires Etablissements



Financé par



**GOVERNEMENT**

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Financé par  
l'Union européenne  
NextGenerationEU