



POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

Plan de cours

PHS1102 – Champs électromagnétiques

Département de génie physique

Hiver 2021

3 Crédits

3-3-3

<https://moodle.polymtl.ca/course/view.php?id=838>

Les cours et les travaux dirigés (exercices résolus) auront lieu entièrement à distance.

Les laboratoires pratiques sont prévus en présentiel pour l'instant.

Les examens écrits pourraient avoir lieu en présentiel ou à distance. Plus de détails à venir.

Si vous ne pouvez pas vous présenter à Montréal pour les activités en présentiel, vous pourrez faire ces activités à distance sous présentation d'une autorisation délivrée par le Registrariat.

Responsable du cours

Nom | Jérémie Villeneuve

Coordonnateur du cours (Contacter le coordonnateur par courriel pour toute question relative au cours)

Nom | Francis Torres

Courriel | francis.torres@polymtl.ca

Préalables et corequis

Préalables : aucun.* Corequis : MTH1102.

*Les étudiants concernés doivent avoir réussi le cours préparatoire PHS0102 pour s'inscrire à PHS1102.

Description de l'annuaire

Électrostatique, magnétostatique et champs dynamiques. Lois de Coulomb, de Biot-Savart, de Lenz et de Faraday. Théorèmes de Gauss et d'Ampère, équations de Poisson et de Laplace. Conditions aux frontières. Matériaux diélectriques, conducteurs et magnétiques simples. Équations de Maxwell et ondes électromagnétiques dans un milieu diélectrique. Applications en ingénierie : composantes des circuits électriques et magnétiques, capteurs et actuateurs, conversion de l'énergie électrique, génération, transmission et détection des ondes électromagnétiques.

Qualités du BCAPG

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Connaissance en génie	Analyse de problèmes	Investigation	Conception	Utilisation d'outils d'ing.	Travail ind. et équipe	Communication	Professionnalisme	Impacts environn.	Déontologie	Économie et gestion de projets	Apprentissage continu
CA		IN		CA							

IN : Introduction, AP : Approfondissement, CA : Contrôle d'acquis.

Évaluations ciblées par les contrôles d'acquis

Qualité 1 – Connaissances en génie : note finale du cours

Qualité 5 – Utilisation d'outils d'ingénierie : devoir

Objectifs

À la fin du cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Expliquer la nature des champs électriques et magnétiques observés dans des conditions statiques et dynamiques, ainsi que leur interaction avec la matière ;
2. Résoudre des problèmes d'ingénierie en construisant des modèles incorporant les effets de la géométrie, des matériaux et des champs. Les domaines d'application incluent la génération, la transformation et le transport d'énergie, les composantes des circuits électriques, les capteurs et les télécommunications ;
3. Appliquer les concepts importants décrits par les équations de Maxwell dans différents domaines : force électromotrice, ondes radio, magnétisme, etc. ;
4. Appliquer la méthode des différences finies pour résoudre numériquement l'équation de Laplace pour un problème simple.

Objectifs spécifiques des travaux pratiques :

1. Manipuler des instruments électroniques tels que l'oscilloscope, le multimètre, la source de tension alternative, le bloc d'alimentation et le générateur de fonctions, et expliquer certaines limites de ces instruments (par exemple : l'impédance d'entrée et la précision) ;
2. Calculer les intervalles de confiance pour les paramètres calculés à partir de mesures expérimentales de précision connue ;
3. Mesurer la permittivité et la perméabilité d'un matériau ;
4. Mesurer la génération d'une force électromotrice dans une bobine en rotation (loi de Faraday).

Méthodes d'enseignement

Le cours comportera des activités d'enseignement **synchrones et asynchrones**.

Cours magistraux (3 h par semaine)

Le contenu des cours magistraux correspond aux chapitres du manuel obligatoire, à raison d'environ un chapitre par semaine. À chaque semaine :

- L'étudiant sera invité à visionner des **capsules vidéo** qui présenteront la théorie du chapitre (capsules sur Moodle).
- Après avoir visionné ces capsules, un **cours synchrone** approfondira le contenu des capsules à l'aide d'applications en ingénierie, de quiz formatifs, de discussions et d'exemples résolus. Ces cours seront **enregistrés** afin d'être visionnés ultérieurement¹.

Travaux pratiques (3 h par semaine)

Les travaux pratiques (TP) se divisent en :

- **Dix (10) séances synchrones de travaux dirigés (TD)** lors desquelles des problèmes types seront résolus afin d'appliquer les notions des cours magistraux et de préparer l'étudiant aux examens. Les TD seront **enregistrés** afin d'être visionnés ultérieurement.
- **Deux (2) laboratoires pratiques** lors desquels l'étudiant vérifiera certaines lois de l'électromagnétisme et mesurera les propriétés électromagnétiques de certains matériaux.

Périodes de consultation sans rendez-vous

Des périodes de consultation sans rendez-vous auront lieu à chaque semaine. L'horaire des périodes est disponible dans la section « Équipe d'enseignement ».

¹ Nous recommandons fortement à l'étudiant d'assister aux cours synchrones au cas où un problème technique nous empêcherait de rendre l'enregistrement disponible après le cours (enregistrement incomplet ou corrompu, erreur humaine, etc.).

Matériel requis et plateformes de communication

Matériel requis

L'étudiant aura besoin d'un ordinateur avec une connexion internet fiable.

Dans le cadre des évaluations, l'étudiant devra :

- Créer et remettre un fichier PDF avec ses réponses écrites à la main (contrôle périodique). Deux possibilités s'offrent à l'étudiant :
 - Écrire ses réponses sur des feuilles papier, puis les **numériser** ou les **prendre en photo** pour créer un fichier PDF.
 - Utiliser un ordinateur avec écran tactile ou une tablette avec stylet.
- Produire et remettre une capsule vidéo (projet radio). **Il faudra donc obligatoirement que l'étudiant ait accès à un micro et une caméra.**

Dans le cas où les examens écrits seraient effectués à distance, l'étudiant aura aussi besoin d'un microphone et d'une caméra pour fins de surveillance.

N.B. Le micro et la caméra ne sont pas obligatoires pour les activités synchrones, mais sont tout de même recommandés si l'étudiant désire interagir de vive voix avec les enseignants.

Plateformes de communication

- Cours magistraux synchrones et périodes de consultation : [Webex Meetings](#).
- TD synchrones : Activités [Via](#) sur Moodle.

Site Moodle

Consulter le [site Moodle](#) régulièrement. Le site contient notamment :

- Des consignes pour le déroulement du cours (TD, laboratoires, devoir, projet radio, examens) ;
- Les dépôts pour la remise électronique des différents livrables ;
- Les capsules vidéo sur la matière du cours ;
- Les enregistrements des cours magistraux et des TD synchrones ;
- Des forums pour que les étudiants puissent poser des questions sur le contenu du cours ;
- La liste des problèmes à préparer pour les TD ;
- Une liste d'*errata* pour le manuel obligatoire ;
- Un fichier d'indices pour les problèmes non résolus du manuel obligatoire ;
- Des questions conceptuelles et des problèmes résolus en détail pour chaque chapitre ;
- Des anciens examens solutionnés pour appuyer l'étudiant dans sa préparation aux examens ;
- Les résultats aux évaluations lorsqu'ils seront disponibles.

Évaluations

Les pondérations des évaluations sont les suivantes :

Évaluation	Pondération
Devoir	10 %
Laboratoires (2)	15 %
Contrôle périodique	25 %
Projet radio	15 %
Examen final	35 %

Étudiants qui reprennent le cours

Un étudiant qui reprend le cours a la possibilité de conserver vos notes pour :

1. tous les laboratoires s'il a eu une moyenne égale ou supérieure à 75 %
2. le projet radio s'il a eu une note égale ou supérieure à 75 %

s'il en fait la demande par courriel au coordonnateur du cours, avant la date limite indiquée dans la section « Calendrier du cours ». Dans son courriel, l'étudiant doit indiquer ses nom, prénom, matricule, groupe de travaux pratiques ainsi que le trimestre où il a déjà suivi le cours.

Le devoir et les laboratoires doivent être faits en équipe de deux étudiants du même groupe de TP. Vous devez conserver les mêmes équipes pendant tout le trimestre.

Devoir

Nous recommandons le logiciel Excel (accès gratuit à Office 365 pour les étudiants : [cliquer ici](#)), mais l'étudiant pourrait aussi écrire un code dans le langage de programmation de son choix afin d'exécuter les calculs demandés.

Nom du fichier : **gX_matricule1_matricule2.pdf** où **X** est le groupe de TP. Taille max. : **10 Mo**

Laboratoires

Pour chaque laboratoire, l'étudiant :

- Fait les lectures préparatoires dans le manuel de laboratoire et sur Moodle ;
- Fait un **mini-quiz individuel sur Moodle le mardi** de la semaine du laboratoire. Le mini-quiz porte sur les lectures préparatoires ;
- Se présente au C-537 le jour du laboratoire (voir calendrier du cours) avec son coéquipier afin de prendre les mesures expérimentales ;
- Rédige un rapport avec son coéquipier et le remet dans une boîte de dépôt Moodle.

Nom du fichier : **gX_matricule1_matricule2.pdf** où **X** est le groupe de TP. Taille max. : **10 Mo**

Projet radio

Le projet radio consiste à construire un radiorécepteur qui permet de capter les stations de radio AM. Il s'agit d'un projet individuel à faire à la maison. L'étudiant aura à :

- Lire l'énoncé du projet afin de comprendre le fonctionnement du radiorécepteur ;
- Acheter un ensemble de composants chez COOPOLY et construire le radiorécepteur ;
- Enregistrer une capsule vidéo dans laquelle il explique le fonctionnement de son radiorécepteur, justifie ses choix de conception et démontre que son radiorécepteur capte certaines stations AM. Le fichier remis contiendra un lien vers la vidéo (ex. : YouTube).

Nom du fichier : **gX_matricule.pdf** où **X** est le groupe de TP.

Taille max. : **5 Mo**

Contrôle périodique et examen final

Les examens seront faits individuellement et à livre fermé (sans documentation). Des formulaires aide-mémoire seront intégrés aux énoncés des examens. Ces formulaires seront disponibles sur le site Moodle afin que l'étudiant puisse se familiariser avec leur utilisation.

- Le contrôle périodique portera sur les chapitres 1 à 4 et durera 110 minutes (1h50) ;
- L'examen final portera sur les chapitres 7 à 11 et durera 150 minutes (2h30).

Dans le cas où les examens seraient effectués à distance, le déroulement des examens sera le suivant :

- Remplir une attestation sur l'honneur rappelant les consignes de l'examen ;
- Récupérer le questionnaire en PDF à l'heure de début de l'examen ;
- Écrire ses réponses à la main (écriture manuscrite) soit sur des feuilles de papier, soit sur l'écran tactile d'un ordinateur ou d'une tablette ;
- Remettre un seul fichier PDF avec les réponses aux questions dans l'ordre du questionnaire. Si l'étudiant a fait l'examen en format papier, il devra numériser ou photographier ses réponses. Du temps supplémentaire à la durée de l'examen sera alloué pour remettre le fichier de réponses PDF.

Absence motivée au contrôle périodique

Aucune reprise ne sera offerte. La pondération du contrôle sera transférée à l'examen final.

Équipe d'enseignement

Cours magistraux

Groupes 1 et 2 : **Francis Torres** (francis.torres@polymtl.ca)

Lien Webex Meetings : <https://polymtl.webex.com/meet/francis.torres>

Disponibilité : sur rendez-vous (contacter par courriel)

Travaux pratiques (travaux dirigés et laboratoires)

Groupes 1 et 3 : **Julien Tétreault** (julien.tetreault@polymtl.ca)

Groupes 2 et 4 : **Akila Hidouche** (akila.hidouche@polymtl.ca)

Groupes 5 et 6 : **Patrick Delafontaine-Martel** (patrick.delafontaine-martel@polymtl.ca)

Technicien de laboratoire

Yves Leblanc, A-580.3 (yves.leblanc@polymtl.ca)

Disponible par courriel pour répondre à vos questions sur les laboratoires et le projet radio.

Documentation

Ouvrages obligatoires :

- *Champs électromagnétiques* (polycopié N° 6654),
P. Savard et L. Martinu, École Polytechnique de Montréal, ISBN 978-2-553-01532-8
- *Champs électromagnétiques – Manuel de laboratoire* (polycopié N° 6542),
L. Martinu, J. Cerny et D. Simon, École Polytechnique de Montréal

Les ouvrages obligatoires sont disponibles chez COOPOLY. Un service de livraison est disponible pour les étudiants qui ne peuvent pas récupérer les ouvrages sur place.

Ouvrages facultatifs (ouvrages de référence plus avancés en électromagnétisme) :

- *Modern Electrodynamics*,
A. Zangwill, Cambridge University Press, 2013, ISBN 978-0-521-89697-9

Contenu du cours et répartition des heures de cours

SUJETS	HEURES DE COURS
1. Électrostatique : les champs vectoriels E et D . Loi de Coulomb, expérience de Cavendish, flux électrique, théorème de Gauss.	3
2. Potentiel et énergie électrique. Relation champ/potentiel, intégrale de ligne, gradient, énergie.	3
3. Matériaux diélectriques. Polarisation, permittivité, capacité, claquage.	3
4. Matériaux conducteurs. Continuité du courant, mécanismes du courant, conductivité, résistance, loi de Joule.	3
5. Interfaces et cartographie des champs. Conditions aux frontières, images, cartographie, estimation de la capacité et de la résistance.	3
6. Équation de Laplace. Divergence, solution de l'équation de Laplace par intégration (1D) et par différences finies.	3
7. Magnétostatique : les champs vectoriels H et B . Loi de Biot-Savart, théorème d'Ampère, équations de Maxwell en statique.	3
8. Forces et couples magnétiques. Équation de Lorentz, force sur un courant, couple d'un dipôle, génération de force électromotrice.	3
9. Matériaux magnétiques. Aimantation, types de matériaux, conditions aux frontières, énergie, réluctance, circuits magnétiques.	3
10. Champs quasistatiques. Loi de Faraday, induction, inductance, courants de Foucault, courants de déplacement.	3
11. Équations de Maxwell. Équation d'onde et ondes électromagnétiques. Ondes planes harmoniques et polarisation.	3
Révisions pour le contrôle périodique et pour l'examen final	3
Total des heures	36

Calendrier du cours

Chaque livrable doit être remis **dans le dépôt Moodle prévu à cet effet avant 23h59 le jour de la remise**. Utiliser les pages couvertures obligatoires disponibles sur le site Moodle du cours. Une page couverture mal remplie (ex : mauvais numéro de groupe) entraînera une pénalité de 5 % sur la note du livrable. Si la page couverture officielle est absente, une pénalité de 10 % sera appliquée sur la note du livrable.

Important : un livrable remis en retard ne sera pas corrigé et recevra la note zéro.

DIMANCHE	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI	SAMEDI
JANVIER						
10	11	12	13	14	15 Début des cours	16
17	18	19	20	21	22 Pas de TD (G4-5)	23
24	25	26	27	28	29 Date limite - Demande conservation des notes (labos et/ou projet radio)	30
FÉVRIER	1	2	3	4	5	6
7	8	9 Quiz Moodle LABO 1 Équipes 1 à 9	10 LABO 1 - G1-6 Équipes 1 à 9	11 LABO 1 - G2-3 Équipes 1 à 9	12 LABO 1 - G4-5 Équipes 1 à 9	13
14	15 Affichage DEVOIR	16	17	18	19	20
21	22 Remise LABO 1 Équipes 1 à 9	23	24	25	26	27
28	29 Remise LABO 1 Équipes 10 à 18	30	31	1	2	3
MARS	4	5	6	7	8	9
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21