

# Introduction générale

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Mise en situation .....	2
L'électricité est indispensable, mais dangereuse.....	2
Quelques dangers de l'électricité .....	3
Vue globale du cours d'électricité du bâtiment.....	5
Description d'une chaîne d'utilisation de l'énergie électrique.....	5
Problématiques et place des différents cours durant la session.....	5
Mots clés .....	6
Objectifs du cours.....	7
Organisation du cours .....	7
Théories .....	7
Devoirs.....	8
Laboratoires.....	8
Examens .....	9
Qualités du Bureau Canadien d'Agrément des Programmes de Génie (BCAPG).....	10
Ensemble des intervenants du cours.....	10
Enseignant.....	10
Personnes-ressources au laboratoire.....	10

# Mise en situation

## L'électricité est indispensable, mais dangereuse

Pour faire fonctionner adéquatement la plupart des systèmes de productions automatisés, on a de plus recour à l'expertise des ingénieur.e.s. de plusieurs spécialités différentes (mécanique, électrique, minérale, etc.). D'ailleurs l'équipement de production automatisé inclut à la fois des systèmes mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques et électroniques. D'un autre côté, les équipements de **mécanique du bâtiment** comportent des systèmes de ventilation, de chauffage, de climatisation, de plomberie, de production d'eau chaude, etc. Ainsi pour installer ou assurer la maintenance prédictive ou préventive de ces systèmes, l'ingénieur.e. aura à intervenir sur des moteurs, des valves, des pompes, des consoles hydrauliques, des éléments de transmission, des roulements à billes, etc. Dans cette liste non exhaustive, le **moteur** occupe une place prépondérante puisqu'il sera par exemple utilisé pour actionner le volet de climatisation ou une valve et même encore pour entrainer un broyeur de minerai comme montré sur la **Figure 0. 1** qui représente le diagramme d'entraînement d'un broyeur de minerai de type semi-autogène qui est très utilisé dans les mines de métaux précieux. Le moteur est couplé au réseau via un variateur de vitesse qui permettra d'adapter son alimentation à sa charge mécanique. Un réducteur est ensuite utilisé pour modifier mécaniquement la vitesse de rotation du moteur. À la suite du réducteur est finalement installé le broyeur à proprement dit dans lequel seront déversés les minerais destinés à être concassés.

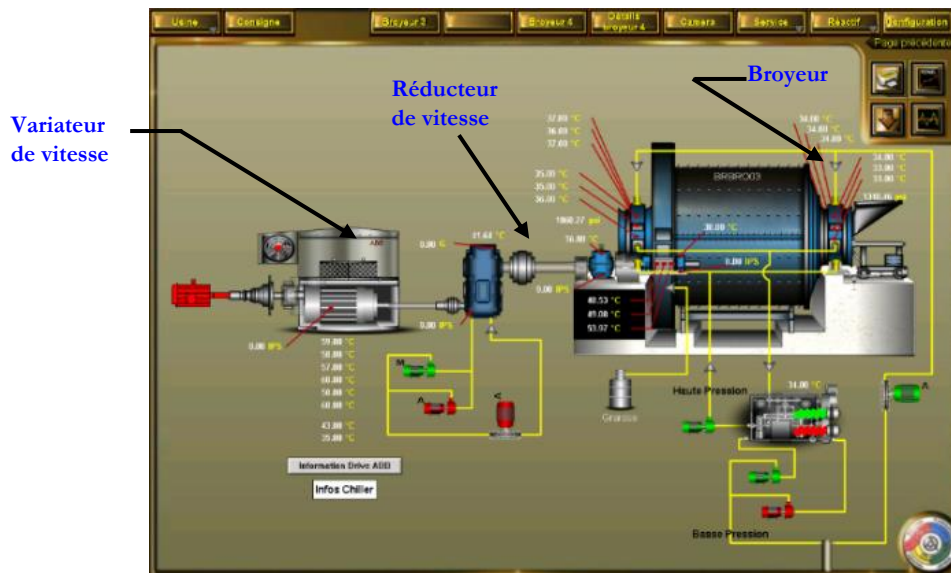


Figure 0. 1. Diagramme d'entraînement d'un broyeur de minerai

Un moteur est un convertisseur électromécanique qui transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique. Ainsi pour par exemple alimenter l'ensemble ci-dessus, de l'**énergie électrique** est utilisée et notons qu'un tel système peut faire recours à des **courants (ampérages)** très élevés. Cette électricité est **potentiellement dangereuse** aussi bien pour les humains que pour le matériel utilisé, car, pour chaque composant, une **limite de courant acceptable** est définie par les constructeurs. Ainsi en cas de défaillance d'un **circuit électrique**, de

mauvaise utilisation, de négligence ou de manipulation inexpérimentée, les effets de l'électricité sur les humains et le matériel peuvent être dévastateurs. Pour réduire ces risques, des **composants de protection** dont les principaux sont des **fusibles** et des **disjoncteurs** (communément appelés breakers) sont insérés à divers endroits d'une installation électrique. Les fusibles sont des composants sacrificiels qui en cas de défaut ouvriront le circuit et devront être remplacés une fois le défaut détecté et résolu. Les disjoncteurs cependant sont réutilisables, car ils déclenchent (ouvre le circuit) et devront être réenclenchés (fermé manuellement) lorsque le défaut a été détecté et résolu.

Pour un fusible ou un disjoncteur, le seuil de déclenchement est appelé **calibre**.

Lorsque l'on déploie une nouvelle installation électrique (ou simplement un circuit électrique), ou encore lorsqu'on procède à l'extension d'une installation existante (ajout d'un moteur ou alimentation d'un nouveau bureau), il est recommandé de procéder à l'évaluation complète (par un **bilan de puissance**). Cette évaluation complète permettra de s'assurer que le circuit peut gérer en toute sécurité le flux de courant nécessaire, que les dispositifs de protection sont ou restent appropriés, que le circuit est **mis à la terre** et qu'il n'y a aucun danger.

## Quelques dangers de l'électricité

Dans les installations industrielles et résidentielles, on distingue les dangers de l'électricité pour le matériel, des dangers sur les personnes. Lorsqu'une installation électrique n'est pas bien sécurisée, le **matériel** est exposé à un défaut de **surintensité** dont on peut distinguer deux types : les courts-circuits et les surcharges. Pour les **personnes** les dangers sont principalement dus aux **défauts d'isolation** qui peuvent donner lieu à un **contact direct** ou **indirect** avec les courants électriques.

### *Dangers pour le matériel*

Comme mentionné plus haut, les surintensités incluent les surcharges et les courts-circuits.

- Un **court-circuit** est la mise en connexion volontaire ou involontaire de deux points d'un circuit électrique entre lesquels il existe une **différence de potentiel**. Cela se traduira par un flux de courant excessif dans la partie concernée de l'installation pouvant entraîner la destruction de la source d'énergie. Dans une installation existante, des courts-circuits involontaires sont généralement causés par la rupture de l'isolation des fils conducteurs ou encore par l'introduction d'un matériau conducteur comme de l'eau ce qui permettra au courant électrique de circuler le long d'un chemin différent que celui prévu. Les dommages causés par les courts-circuits peuvent être réduits ou évités en utilisant des **fusibles** ou des **disjoncteurs** (breaker) qui coupent l'alimentation en réaction à un courant excessif. Comme mentionné plus haut, lorsque le fusible est utilisé, il va fondre en ouvrant le circuit, ce qui arrêtera le flux de courant. Lorsque le disjoncteur est utilisé, il déclenchera en cas de court-circuit.

Une analyse des courts-circuits doit être revue périodiquement pour s'assurer que des modifications apportées dans une installation comme des changements d'équipement au fil du temps n'entraînent pas des courants de défaut potentiels dépassant les valeurs nominales d'interruption des appareils.

- Une **surcharge** se produit lorsque l'appel de courant est légèrement plus élevé que le courant nominal pendant une certaine durée limitée. La surcharge peut être de longue ou de courte durée. Les éléments de protection contre les surcharges doivent être **calibrés** pour ne pas déclencher sur un courant de surcharge momentanée si celui-ci est un événement normal dans l'équipement à protéger. Par exemple, lors du démarrage d'un moteur électrique afin de vaincre l'inertie, une pointe de courant temporaire est souvent observée. Celle-ci peut aller jusqu'à 8 fois la valeur du courant nominal. Il s'agit là d'une situation normale et le dispositif de protection ne devrait pas provoquer un arrêt intempestif du moteur. La protection contre les surcharges est aussi assurée par les disjoncteurs plus spécifiquement des **disjoncteurs thermiques**. Ces disjoncteurs doivent être calibrés pour ne pas déclencher dans des conditions normales de fonctionnement. Toutefois, lorsque la surcharge reste présente plus longtemps que normalement, le disjoncteur doit déclencher pour éviter une surchauffe ou un endommagement des fils conducteurs.

### ***Danger pour les personnes***

Dans les installations électriques, les défauts d'isolation sont principalement dus à la détérioration de l'isolant d'un ou de plusieurs **conducteurs actifs** c'est-à-dire des conducteurs affectés au transport de l'énergie électrique. On a un **contact direct** lorsqu'une personne est parcourue par le courant électrique suite au contact avec un conducteur actif dont l'isolant a été détérioré. Notons que le défaut d'isolation peut également être causé par l'humidité naturelle ou encore celle provoquée par un dégât des eaux. Lorsque le conducteur non isolé touche un boîtier en métal, les appareils et équipements peuvent à leur tour transmettre du courant électrique en cas de contact avec une personne; on n'a dans ce cas, un **contact indirect**. Dans l'un ou l'autre des types de contact, on dit que le corps humain subit un **choc électrique**.

Le corps humain est un récepteur électrique pour lequel, la gravité des dommages corporels provoqués par le courant électrique résultera de la conjugaison de plusieurs facteurs que sont :

- La valeur de l'**intensité du courant** parcourant le corps humain : elle dépend de la **source d'énergie électrique (puissance ou tension)** et de la **résistance** du corps humain, elle-même déterminée par le milieu dans lequel se trouve la personne.
- Le **trajet du courant** dans l'organisme selon que le contact est établi entre une main et les pieds ou entre deux mains.
- La **durée de passage** du courant électrique à travers le corps humain.

Par exemple, dans certaines conditions, un courant de 30 mA seulement peut suffire à donner la mort. On définit les termes suivants s'agissant de l'effet du courant sur le corps humain.

- ✓ **Électrisation** : tout accident d'origine électrique n'ayant pas entraîné la mort.
- ✓ **Électrocution** : tout accident d'origine électrique ayant entraîné la mort.
- ✓ **Masse** : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension, mais qui peut le devenir en cas de défaut.

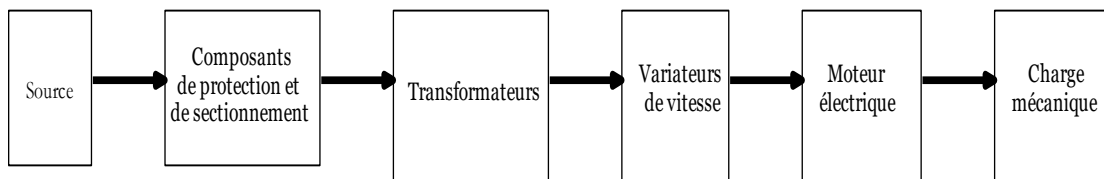
Dans l'organisme, le courant suivra des trajets préférentiels qui passent par des organes offrant la moindre résistance. On dit que le courant électrique choisit le **chemin le plus court**. Pour alors assurer la protection des personnes contre les dangers évoqués ci-dessus, on utilise des dispositifs de **coupure automatique différentiel** ou encore des disjoncteurs différentiels et la **mise à la terre** ou encore **MALT**. La MALT permettra d'offrir au courant électrique en cas de contact indirect un chemin plus court que le corps humain.

## Vue globale du cours d'électricité du bâtiment

Dans la section précédente, un aperçu de quelques dangers du courant électrique et de quelques moyens de protections a été présenté. Dans cette section, une vue globale du cours d'électricité du bâtiment est offerte; ceci à travers quelques problématiques auxquelles sont confrontées l'ingénieur.e., les différents cours et les mots clés. Pour mettre en évidence ces problématiques, une description de la chaîne d'utilisation de l'énergie électrique est préalablement présentée.

### Description d'une chaîne d'utilisation de l'énergie électrique

Dans la plupart des installations industrielles, des convoyeurs (**charge mécanique**) seront utilisés pour transporter des produits ou du matériel. Pour ces convoyeurs, il est nécessaire de disposer d'un système d'entraînement qui est généralement constitué du duo **moteur** et **variateur de vitesse** (communément appelé **drive**). Un variateur de vitesse permettra d'adapter le couple (torque) ou la vitesse du moteur en lui donnant plus de courant ou de tension selon les caractéristiques de la charge mécanique. Dans la réalité une seule source sera utilisée pour alimenter plusieurs charges et donc pour adapter les niveaux de tensions et de courant pour la drive et le moteur, on utilise un autre composant électrique appelé **transformateur** qui sera intercalé comme montré ci-dessous (**Figure 0. 2**) entre la source et le reste de la chaîne d'utilisation. Finalement, comme mentionné plus haut, des **composants de protection** dimensionnés de façon appropriée doivent être utilisés pour interrompent le circuit en cas de défauts. Les composants de protection sont souvent associés aux composants de sectionnement qui ont pour fonction d'isoler manuellement la partie de l'installation de la source lors des opérations de maintenance par exemple.



**Figure 0. 2.** Exemple de chaîne d'utilisation de l'énergie électrique

### Problématiques et place des différents cours durant la session

La plupart des problématiques liées à l'utilisation de l'électricité dans les bâtiments seront traitées tout au long de la session à travers dix cours dont les thèmes principaux sont décrits dans ce qui suit.

Premièrement, comme montré sur la **Figure 0. 2**, l'énergie électrique de la source transite entre plusieurs composants avant d'être convertie en énergie mécanique par le moteur pour son utilisation. Au départ de la

source, nous avons besoin de dimensionner des dispositifs de protection des circuits, pour cela, il est important de pouvoir **effectuer les calculs dans les circuits simples et complexes**. Ces circuits peuvent être **monophasés** (cas des installations résidentielles) ou **triphasés** (cas le plus fréquents dans les installations industrielles). Il sera alors important d'étudier les principales grandeurs électriques (courant, tension, puissance et énergie électrique), de distinguer les sources électriques des charges électriques, de connaître les caractéristiques des sources (tension, fréquence) et celles du type de charge (relation courant-tension). Toutes ces notions seront étudiées dans les **cours 1, 2, 3 et 4**.

Les **transformateurs** qui ont pour fonction d'adapter les niveaux de tensions et de courants sont à inclure dans le système comme on peut le voir sur la **Figure 0.2**. Cette problématique sera traitée dans le **Cours 5** par l'étude des transformateurs **monophasés** et des transformateurs **triphasés**.

Les **moteurs électriques** qui sont des convertisseurs électromécaniques utilisés dans les installations pour effectuer le travail seront étudiés dans le **cours 6** ceci à travers les puissances mises en jeu ainsi que les appels de courant. Il sera étudié dans le cours 6 les principales techniques de variation de la vitesse des moteurs. Nous verrons que les moteurs dont le principe de fonctionnement repose sur les lois de l'électromagnétisme consomment une certaine puissance pour leur **magnétisation**. La puissance magnétisante **ne fait pas de travail**, mais elle contribue à **augmenter le courant** et le **dimensionnement de l'installation**. La compagnie d'électricité (Hydro-Québec) définit une limite acceptable de puissance de magnétisation à ne pas dépasser. Comparée à la puissance de travail, cette limite est caractérisée à travers le concept de **facteur de puissance** qui sera étudié dans la plupart des cours à partir du **cours 2**.

En plus des moteurs, la plupart des bâtiments industriels et domestiques doivent être convenablement éclairés. La problématique du **système d'éclairage** des bâtiments sera alors traitée dans le **cours 7**.

Après avoir analysé les principales charges dans une installation électrique, il sera étudié les **principaux tarifs appliqués** pour facturer l'énergie électrique par Hydro-Québec au **cours 8**. Dans ce cours, nous verrons comment l'**amélioration du facteur de puissance** permet de réaliser des économies dans les factures d'électricité.

Dans le **cours 9**, il sera présenté le **réseau électrique industriel** dans lequel le parcours de l'électricité de sa production à son utilisation est décrit.

Finalement le **cours 10** fournira une description plus exhaustive des **installations électriques industrielles**. Des composants et systèmes autres que les indispensables évoqués plus haut seront présentés. À titre indicatif il sera par exemple présenté la salle de contrôle des machines des installations industrielles ou encore des composants comme les automates programmables.

## Mots clés

Il ressort de la description précédente ces quelques mots clés pour le cours ELE 1409 : Circuits électriques, Monophasé, Triphasé, Transformateurs, Moteurs électriques, Facteur de puissance, système d'éclairage, Facturation de l'énergie électrique, Réseaux électriques et Installations électriques.

## Objectifs du cours

Le thème central du cours ELE 1409 est l'application de l'électricité dans les bâtiments; ainsi dans ce cours il sera :

- expliquer les concepts fondamentaux en électricité industrielle et les appliquer à des systèmes d'ingénierie;
- évaluer la charge électrique d'un réseau d'alimentation et faire un calcul et un choix préliminaire des conducteurs et des équipements de protection;
- utiliser des notions fondamentales en électromagnétisme afin de les relier aux applications industrielles (moteurs et transformateurs);
- dimensionner et choisir les composants de certains systèmes simples d'éclairage, de protection et de correction du facteur de puissance;
- expliquer la tarification industrielle de l'énergie électrique;
- évaluer et recommander des solutions pour mettre à niveau les réseaux et équipements électriques et réduire la consommation électrique

## Organisation du cours

Pour atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus tout en les évaluant, les activités d'apprentissage comporteront des cours théoriques, des laboratoires, des devoirs et des examens.

### Théories

La théorie comportera 11 cours intitulés comme suit :

- Cours 1 : **Introduction générale**
- Cours 2 : **Notions fondamentales de circuits électriques**
- Cours 3 : **Installations électriques monophasées**
- Cours 4 : **Puissances en courant alternatif**
- Cours 5 : **Installations électriques triphasées**
- Cours 6 : **Transformateurs monophasés et triphasés**
- Cours 7 : **Moteurs électriques et variateurs de vitesse**
- Cours 8 : **Systèmes d'éclairage**
- Cours 9 : **Énergie électrique, mesurage et facturation**
- Cours 10 : **Réseaux électriques de distribution BT et MT**
- Cours 11 : **Installations électriques industrielles**

Pour chacun de ces cours, la méthode pédagogique sera la suivante :

- Une **synthèse écrite** du cours sera proposée au début de chaque séance; il est recommandé de prendre des notes pour cette partie.
- **PowerPoint** du cours en version PDF imprimable.
- Une **fiche d'exercices**

- **Capsules vidéo** des certaines sections des PowerPoint de chacun des cours.
- **Capsules vidéo** du corrigé de certains exercices du cours.
- Quelquefois des **notes de cours** seront conçues afin de fournir plus d'informations sur les concepts.

## Devoirs

Afin de soutenir des notions étudiées durant les séances théoriques, des devoirs en ligne (un par semaine) sont proposés. 10 devoirs sont prévus tout au long de la session et l'ensemble des devoirs comptera pour **10 %** de la note finale. Le calendrier détaillé de leur disponibilité sur le site est fourni dans le plan de cours. Pour chacun des devoirs :

- Une **seule tentative** est autorisée durant la période de disponibilité, ce qui exige alors une certaine préparation avant la validation de la tentative.
- La validation de la tentative n'est pas automatique, elle est de la responsabilité de l'étudiant(e). **Aucune justification n'est acceptée en cas de non-validation de la tentative.**
- Les notes de tous les devoirs, qui ne seront affichées qu'une fois la période d'activation terminée, seront compilées pour former la note de devoir servant à l'évaluation.
- Tous les devoirs sont importants. L'évaluation des devoirs vise à encourager les étudiant(e)s à faire les devoirs et à valoriser leurs efforts dans la résolution des exercices proposés.
- Un soutien, sur le forum du site, sera offert au besoin.
- Un corrigé détaillé de chaque devoir est publié sur le site du cours après la fin de la période de son activation.

## Laboratoires

Durant la session, des séances de laboratoires permettront de valider expérimentalement la plupart des notions théoriques vues dans le cours. Les laboratoires proposés sont conçus pour couvrir les grandes lignes du cours. De façon plus spécifique, cinq laboratoires intitulés comme ci-dessous seront réalisés :

Laboratoire 1 : Mesures en courant alternatif monophasé

Laboratoire 2 : Mesure de puissance en triphasé et compensation de l'énergie réactive.

Laboratoire 3 : Les transformateurs monophasé et triphasé

Laboratoire 4 : Le moteur asynchrone triphasé.

Laboratoire 5 : Les systèmes d'éclairage

Tous les laboratoires 1, 2 et 5 auront lieu au **A-236 (Laboratoire d'électrotechnique)**. Les énoncés des laboratoires seront disponibles sur le site du cours. L'ensemble des règles des laboratoires sont les suivantes :

- La présentation de chaque TP aura lieu durant la séance de TP. Toutefois la préparation du laboratoire devrait avoir été préalablement faite avant le début de la phase des manipulations.
- La présence aux séances de travaux pratiques est obligatoire et aucun retard n'est toléré. L'étudiant(e) qui n'assiste pas à une séance de travaux pratiques reçoit la note zéro à ce TP.
- Chacune des cinq séances de TP dure trois heures et sera donnée aux dates spécifiées (voir calendrier détaillé des activités dans le plan de cours).



- Les travaux pratiques sont réalisés par équipe de 2 ou 3 étudiant(e)s . La formation des équipes sera complétée selon une procédure qui sera expliquée sur le site du cours.
- Les étudiant(e)s doivent préparer les séances avant de se présenter au laboratoire. Entre autres, elles ou ils doivent avoir amorcé le remplissage des tableaux nécessaires pour recueillir les résultats expérimentaux.
- Les étudiant(e)s doivent utiliser un cahier de laboratoire où sont notées les mesures et les observations recueillies durant la séance.
- À partir des données recueillies, chaque étudiant(e), individuellement, répond à un questionnaire servant de rapport individuel de laboratoire. L'étudiant(e) qui ne répond pas au questionnaire sur Moodle dans les délais fixés reçoit **la note zéro** pour ce laboratoire.
- La validation de la tentative n'est pas automatique, elle est de la responsabilité de l'étudiant(e). Aucune justification n'est acceptée en cas de non-validation de la tentative.
- Une évaluation individuelle supplémentaire est faite durant les examens (intra et final) qui comportent des questions liées aux différentes séances de laboratoire.
- L'étudiant(e) qui est absent(e) à une séance de laboratoire, pour un motif accepté, doit communiquer avec le coordonnateur du cours et le chargé du laboratoire le plus rapidement possible. Ceux-ci détermineront alors une date où le laboratoire pourra être repris. L'étudiant(e) qui ne reprend pas la séance reçoit la note zéro pour ce laboratoire.
- **Le port des lunettes de sécurité est obligatoire durant toutes les séances de laboratoire. L'accès au A-236 sera refusé à tout(e) étudiant(e) sans lunette de sécurité.**

## Examens

### Examen de mi-session

- Matière couverte : cours 1 à 5
- Date : Jeudi 20 février 2025 de 18 h 30 à 21 h 00.
- Documentation permise : une (1) feuille (recto-verso) et une calculatrice non programmable. Des formules utiles pour l'examen seront fournies avec l'énoncé.

### Examen final

- Matière couverte : Cours 5 à 11 avec toute la matière couverte par l'intra considérée comme acquise.
- Date : Périodes d'examen de fin de session.
- Documentation permise : une (1) feuille (recto-verso) et une calculatrice non programmable. Une feuille de formules utiles pour l'examen sera fournie avec l'énoncé.

### Absences motivées aux examens

- Pour l'intra, la note de l'examen final servira aussi de note d'intra.
- Pour l'examen final, l'épreuve différée sera écrite.

Le tableau ci-dessous donne une pondération de chaque évaluation susmentionnée.

**Tableau 1.** Évaluation des apprentissages

Nature de l'évaluation	Pondération
Devoirs	10 %
Laboratoires	20 %
Examen de mi-session (Intra)	35 %
Examen final	35%

## Qualités du Bureau Canadien d'Agrément des Programmes de Génie (BCAPG)

Ce cours est concerné par **quatre** des 12 qualités du BCAPG (Bureau Canadien d'Agrément des Programmes de Génie). Ces qualités sont montrées ci-dessous.

**Tableau 2.** Qualités du BCAPG

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

## Ensemble des intervenants du cours

### Enseignant

Nom : **Alex Mouapi**

Bureau : M 5013

Tel : 514-340-4711- poste 4369

Courriel : [alex.mouapi@polymtl.ca](mailto:alex.mouapi@polymtl.ca)

### Personnes-ressources au laboratoire

Chargé de laboratoire : **Kouamé N'Zi**

Courriel : [kouame.nzi@polymtl.ca](mailto:kouame.nzi@polymtl.ca)

Technicienne : **Marie-Paule Bombardier**

Courriel : [marie-paule.bombardier@polymtl.ca](mailto:marie-paule.bombardier@polymtl.ca)

*Fin du de l'introduction ici !*

*Bonne année 2025 et bon succès pour la session d'hiver 2025*