

# Laboratoire :

## La loi de Coulomb avec *Excel*



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin\\_Coulomb](https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_Coulomb)

### Table des matières

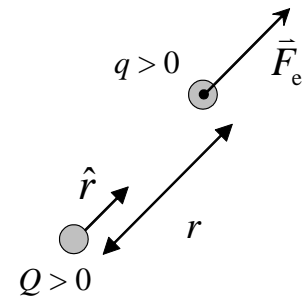
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
1.1 - LE TÉLÉCHARGEMENT DU FICHER EXCEL .....	2
<b>LA VALIDATION DU PRÉLABORATOIRE.....</b>	<b>2</b>
2.1 – LA POSITION DES CHARGES (Q1) .....	3
2.2 – LE VECTEUR DÉPLACEMENT (Q2) .....	3
2.3 – LA FORCE ÉLECTRIQUE (Q3 + Q4) .....	3
2.4 – LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION (Q5).....	3
<b>LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION À PLUSIEURS PARTICULES.....</b>	<b>3</b>
3.1 - LA POSITION DE LA PARTICULE Q .....	3
3.2 - INFORMATIONS SUR LES 10 PARTICULES .....	3
3.3 - LES CALCULS POUR 10 PARTICULES .....	4
<b>LA DISCRÉTISATION DE LA CHARGE .....</b>	<b>4</b>
<b>LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION DE LA TRIUC .....</b>	<b>5</b>
4.1 – LA CHARGE $dQ$ ET L'ESPACEMENT $dx$ .....	5
4.2 – LE PARTICULE Q SUBISSANT LA FORCE ÉLECTRIQUE DE LA TRIUC.....	5
4.3 – LA FORCE APPLIQUÉE PAR LA TRIUC .....	6
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>6</b>
<b>REMISE DU FICHER EXCEL .....</b>	<b>6</b>

## Introduction

Dans ce laboratoire, vous allez implémenter la *loi de Coulomb* afin d'évaluer la superposition des forces électriques d'un très grand nombre de particules chargées afin de valider l'expression du champ électrique généré par une tige rectiligne uniformément chargée (TRIUC). Pour ce faire, vous devrez programmer à l'aide du logiciel **Excel** la loi de Coulomb

$$\vec{F}_e = k q Q \frac{(\vec{r}_q - \vec{r}_Q)}{\|\vec{r}_q - \vec{r}_Q\|^3}$$

où  $\vec{F}_e$  est la force électrique qu'applique la charge  $Q$  sur la charge  $q$  en newton,  $q$  est la charge qui subit la force en coulomb,  $Q$  est la charge qui applique la force en coulomb,  $\vec{r}_q$  est le vecteur position de la charge  $q$  en mètre,  $\vec{r}_Q$  est le vecteur position de la charge  $Q$  en mètre et  $k$  est la constante de la loi de Coulomb tel que  $k \approx 9,00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ .



La force de Coulomb qu'une charge  $Q$  positive applique sur une charge  $q$  positive.

Pour réaliser ce laboratoire, vous devez avoir préalablement complété le prélaboratoire disponible au lien suivant :

[https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyb/laboratoire\\_nyb/Prelaboratoire-Coulomb\\_avec\\_Excel.pdf](https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyb/laboratoire_nyb/Prelaboratoire-Coulomb_avec_Excel.pdf)

### 1.1 - Le téléchargement du fichier Excel

Pour réaliser ce laboratoire, vous avez accès à un fichier **Excel** que vous pouvez télécharger au lien suivant :

[https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyb/laboratoire\\_nyb/Laboratoire-Coulomb\\_avec\\_Excel.xlsx](https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyb/laboratoire_nyb/Laboratoire-Coulomb_avec_Excel.xlsx)

Ouvrez ce fichier et sauvegardez-le adéquatement pour en conserver une copie. Vous constaterez qu'il y a trois onglets accessibles dans le coin inférieur gauche de l'application aux noms suivants :

*Vérification prélaboratoire*, *Validation équation* et *Validation TRIUC*

Ces trois onglets correspondront aux trois tâches que vous devrez accomplir dans ce laboratoire.

Dans les tâches à accomplir, vous devrez remplir deux types de cellule :

- Cellule en **vert** : Case où il y aura un chiffre à inscrire (vos constantes).
- Cellule en **bleu** : Case où il y aura des formules (avec l'opérateur « = ») à inscrire (vos calculs).

À la fin du laboratoire, vous devrez programmer à votre guise un tableau à plusieurs colonnes dans le but d'appliquer la loi de Coulomb à un très grand nombre de particules.

## La validation du prélaboratoire

Dans l'onglet *Vérification prélaboratoire* du fichier **Excel**, vous devrez valider les calculs de votre prélaboratoire en programmant des cellules **Excel** marqué en fond **bleu**.

## 2.1 – La position des charges (Q1)

Dans la section **Question 1 : La position des charges**, déterminez les valeurs des positions des trois charges. Complétez les cases en **vert** adéquatementes.

## 2.2 – Le vecteur déplacement (Q2)

Dans la section **Question 2 : Le vecteur déplacement**, déterminez les valeurs des vecteurs déplacement entre la particule 1 et 3 ainsi que la particule 2 et 3. Complétez les cases en **bleu** adéquatementes en utilisant les cases de la section précédente.

## 2.3 – La force électrique (Q3 + Q4)

Dans les sections **Question 3 : La force électrique 1 sur 3** et **Question 4 : La force électrique 2 sur 3**, déterminez les deux forces électriques des interactions 1-3 et 2-3. Complétez les cases en **bleu** adéquatementes en utilisant les cases des sections précédentes ainsi que celle de la section **Constante** et **Mise en situation**.

## 2.4 – Le principe de superposition (Q5)

Dans les sections **Question 5 : Le principe de superposition**, déterminez la force électrique résultante qu'applique les particules 1 et 2 sur la particule 3. Complétez les cases en **bleu** adéquatementes en utilisant les cases des sections précédentes.

Par la suite, évaluez le module de la force électrique  $F_e$  dans la cases en **bleu** adéquatement.

## Le principe de superposition à plusieurs particules

Dans l'onglet *Superposition 10 particules* du fichier *Excel*, vous devrez appliquer le principe de superposition de la force électrique qu'applique 10 particules sur une autre particule.

### 3.1 - La position de la particule q

Dans la section **Particule q**, définissez la position  $\vec{r} = (2\vec{i} + 3\vec{j})$  m dans les cases  $r_x$  et  $r_y$  et définissez la charge  $q = 2 \mu\text{C}$  dans la case  $q$ . Complétez les cases en **vert** adéquatementes.

### 3.2 - Informations sur les 10 particules

Dans la section **Informations sur les 10 particules**, remarquez qu'il y a 2 séries de particule : *Série de vérification* et *Série à évaluation*. Ces informations serviront à effectuer le calcul de la force électrique que 10 particules appliqueront sur la particule A. Afin de valider les nombreux calculs de vous devrez réaliser, la réponse associée à la *Série de vérification* est disponible : Module de la force étant de  $F_e = 0,0085293 \text{ N}$ . Vous devrez copier les informations des 10 particules dans la section **Espace des calculs** où vous pourrez effectuer l'ensemble de vos calculs.

Si vous obtenez la réponse attendue pour la *Série de vérification*, vous pourrez affirmer que l'ensemble de vos calculs sont adéquats et vous devrez utiliser la *Série à évaluation* pour obtenir la réponse à déterminer.

### 3.3 - Les calculs pour 10 particules

Dans la section **Espace des calculs**, copiez une série de donnée de la section **Informations sur les 10 particules** dans les colonnes  $x(m)$ ,  $y(m)$  et  $Q(C)$ .

Par la suite, utilisez les 5 autres colonnes de calcul en vous inspirant de vos calculs dans l'onglet **Vérification prélaboratoire** dans le but de déterminer les composantes  $F_{exiq}$  et  $F_{eyiq}$  de la force électrique qu'appliquer une particule  $i$  ( $i \in [1, N]$ ) sur la particule  $q$ . Ensuite, réalisez une superposition sur vos 10 composantes de forces  $F_{ex}$  et  $F_{ey}$  pour obtenir votre force résultante sous forme vectorielle. Finalement, évaluez le module de la force électrique.

Vérifiez que vous obtenez la réponse de la *Série de vérification* et calculez par la suite la réponse à la Série à évaluation en copiant votre réponse dans la case en **bleu** adéquatement.

### La discrétisation de la charge

En physique, il est possible d'utiliser l'intégrale pour évaluer la force électrique  $\vec{F}_e$  qu'une distribution de particules chargées applique sur une charge  $q$ . L'expression à résoudre correspond à

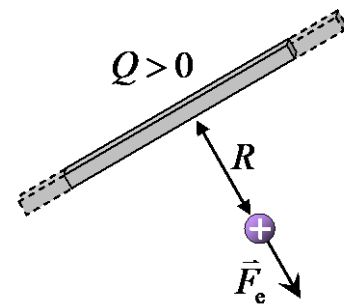
$$\vec{F}_e = \int k q \frac{(\vec{r}_q - \vec{r}_Q)}{\|\vec{r}_q - \vec{r}_Q\|^3} dQ$$

et le résultat dépend principalement de la géométrie sur laquelle la distribution des charges  $dQ$  est réalisée.

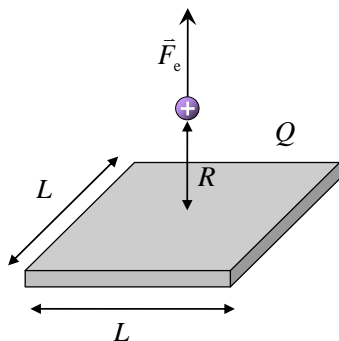
Dans le cadre de ce laboratoire, vous organiser votre feuille de calcul Excel dans le but de calculer cette intégrale à l'aide d'une approche discrète et obtenir les résultat de la géométrie de la TRIUC (voir schéma ci-contre).

Puisque nous n'allons pas utiliser une représentation analytique de nos géométries, nous allons les fractionner en plusieurs éléments (méthode discrète) ce qui correspond à discrétiser nos charges.

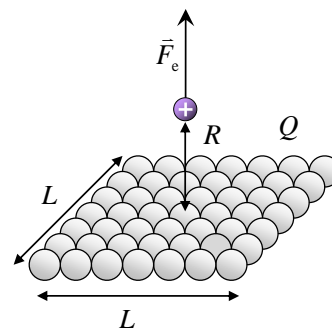
À titre d'exemple, une plaque uniformément chargée (voir schéma ci-dessous) prendra la forme d'un très grand nombre de particules ponctuelles de charge  $Q/N$  où  $N$  sera le nombre de particules utilisées pour représenter la plaque.



La tige infinie uniformément chargée (TRIUC)



Plaque en distribution de charge continue



Plaque en distribution de charge discrète

## Le principe de superposition de la TRIUC

Dans l'onglet **Validation TRIUC** du fichier **Excel**, vous devrez appliquer le principe de superposition de la force électrique qu'applique  $N$  particules sur une autre particule où les  $N$  particules sont alignées horizontalement le long de l'axe  $x$  formant une approximation d'une tige rectiligne uniformément chargée (TRIUC).

### 4.1 - La charge $dQ$ et l'espacement $dx$

Dans la section **La TRIUC**, pour une tige de longueur  $L = 2$  m et pour une charge totale  $Q = 3 \mu\text{C}$ , vous devrez fractionner cette tige en  $N = 1000$  particules dans le but d'évaluer une force électrique sur une particule ponctuelle.

Voici un exemple de fractionnement d'une tige pour  $N = 2$  à  $N = 5$  :

Exemple : $N = 2$	Exemple : $N = 3$
Exemple : $N = 4$	Exemple : $N = 5$

Déterminez la charge  $dQ$  de chaque particule et la distance  $\Delta x$  qui sépare deux particules consécutives. Complétez les cases en **bleu** adéquatementes.

Vous remarquerez l'information permettant de définir où sera située la particule #1 de votre fractionnement de charges de votre TRIUC. Dans le cadre de ce calcul, vous utiliserez la coordonnée  $(0,0)$  comme étant la position de la particule #1 et la coordonnée  $(L,0)$  comme étant la position de votre particule #N.

### 4.2 - Le particule $q$ subissant la force électrique de la TRIUC

Dans la section **Particule  $q$** , vous allez définir les caractéristiques de votre particule  $q$  subissant la force de la TRIUC. Dans le cadre de ce laboratoire, vous devrez positionner la particule  $q$  au centre de la TRIUC à une distance  $d$  qui seront égale à 1 cm, 2 cm, 4 cm et 8 cm. Puisque la TRIUC sera situé sur l'axe  $x$  débutant à la coordonnée  $(0,0)$ , alors la position  $(x, y)$  de votre particule  $q$  sera égale à  $\vec{r}_q = (L/2, d)$ .

Complétez les cases en **bleu** adéquatemente en débutant par fixer la valeur de  $d$  à 1 cm.

### 4.3 – La force appliquée par la TRIUC

Dans la section **Espace de calcul**, formez des colonnes de calcul inspirées de l'onglet *Superposition 10 particules* à la section **Espace de calcul** pour évaluer la force électrique appliquée par la TRIUC sur votre particule  $q$  situé en  $\vec{r}_q = (L/2, d)$ .

Lorsque votre feuille de calcul est adéquate pour  $N = 1000$  particules, évaluez la force pour les distances  $d = 1\text{cm}$ ,  $d = 2\text{cm}$ ,  $d = 4\text{cm}$  et  $d = 8\text{cm}$ . Notez vos réponses dans la section **Espace des réponses** et déterminer à quelle relation de proportionnalité la force que la TRIUC applique sur la particule  $q$  correspond parmi les choix suivants :

Choix des relations de proportionnalité				
$F_e \propto \frac{1}{R^2}$	$F_e \propto \frac{1}{R}$	$F_e \propto 1$ (constant)	$F_e \propto R$	$F_e \propto R^2$

### Conclusion

Félicitations ! Vous avez implémenté avec succès sur **Excel** le calcul vectoriel à deux dimensions requis pour évaluer des forces électrique et vous avez appliqué ce principe à un très grand nombre de particules représentant une TRIUC.

### Remise du fichier Excel

Pour effectuer la remise électronique de votre fichier **Excel**, envoyer le fichier

*Laboratoire-Coulomb\_avec\_Excel.xls*

dans l'espace de dépôt exigé par votre enseignant (exemple : OMNIVOX/LÉA).