

Laboratoire 2: Mesures des puissances en triphasé et compensation de l'énergie réactive

Notes importantes

- La durée du laboratoire est de 3 heures. **Vous devez présenter au responsable du laboratoire, une copie de vos résultats de mesure signée par tous les coéquipier.e.s avant de quitter le laboratoire.**
- Vous devez faire la démonstration du fonctionnement de votre montage en laboratoire.
- La présence au laboratoire est obligatoire. Une étudiante ou un étudiant absent du laboratoire sans raison valable se verra attribuer la note 0 pour le laboratoire.

Objectifs

Ce laboratoire vous permettra de :

- Mesurer la tension, l'intensité du courant et la puissance en triphasé.
- Distinguer le couplage étoile du couplage triangle.
- Caractériser les impédances en triphasé.
- Faire le bilan de puissance dans un circuit triphasé.
- Mesurer ensuite, corriger ou améliorer le facteur de puissance à l'aide des condensateurs dans les circuits triphasés.

Notions théoriques sur les circuits triphasés

La source de tension triphasée

Description

Une source triphasée est constituée de **3 fils** de ligne et d'un neutre (référence ou potentiel zéro).

- La tension **entre chacun des fils de ligne et le neutre** est appelée **tension de phase**. Si nos trois fils de ligne sont identifiés par les lettres **A, B** et **C** (notons que vous pourriez aussi voir des identifications avec les chiffres 1, 2 et 3), et le neutre par la lettre **N** alors on aura 3 tensions de phase ayant pour valeur efficaces V_{AN} , V_{BN} et V_{CN} .
- La tension **entre deux fils de ligne** est simplement appelée **tension de ligne**. On considère généralement pour les analyses le trio de tensions V_{AB} , V_{BC} et V_{CA} .

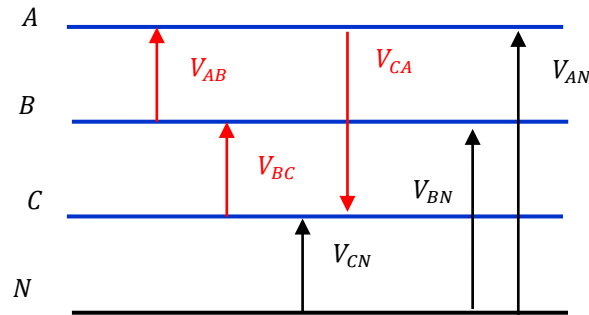


Figure 1. Source triphasée à quatre fils

Lorsque la source est **équilibrée** et ce sera presque le cas alors les valeurs de tensions sont également presque égales ainsi, on adopte les notations et égalités suivantes :

- Tension de phase :

$$V_{AN} \approx V_{BN} \approx V_{CN} \approx V_{ph} \quad (1)$$

- Tension de ligne

$$V_{AB} \approx V_{BC} \approx V_{CA} \approx V_L \quad (2)$$

La relation entre les valeurs efficaces de ces deux niveaux de tension est la suivante :

$$V_L = \sqrt{3}V_{ph} \quad (3)$$

Expressions temporelles et phaseurs

Une source triphasée consiste généralement en un système de trois tensions de même valeur efficace V_{ph} mais déphasées les unes des autres de 120° . Si la tension d'**une phase** (mesurée entre une ligne et le neutre) est prise comme référence, alors on aura les expressions temporelles suivantes :

$$\begin{cases} v_{an}(t) = V_{ph}\sqrt{2} \cos(\omega t) \\ v_{bn}(t) = V_{ph}\sqrt{2} \cos(\omega t - 120^\circ) ; \omega = 2\pi f \\ v_{cn}(t) = V_{ph}\sqrt{2} \cos(\omega t + 120^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

À titre informatif dans le transport de l'énergie se fait généralement sur trois lignes A, B, C (ou L1, L2 et L3). *Il sera vu dans le cours que le neutre peut être réaliser localement.* Ainsi seules les tensions entre les lignes sont accessibles par mesure. Pour cette raison, la ligne triphasée est alors caractérisée par sa **tension de ligne** et sa **fréquence**. Les relations entre les tensions de lignes et les tensions de phase en phaseurs sont définies ci-dessous :

$$\begin{cases} \bar{V}_{AB} = \bar{V}_A - \bar{V}_B \\ \bar{V}_{BC} = \bar{V}_B - \bar{V}_C \\ \bar{V}_{CA} = \bar{V}_C - \bar{V}_A \end{cases} \quad (5)$$

La source triphasée à quatre fils est dite couplée en étoile et elle constituée de 3 sources monophasées reliées comme montré sur la **Figure 2**. Comme on peut le voir, le point commun aux trois sources est le neutre N.

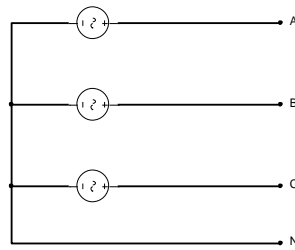


Figure 2. Couplages des sources triphasées

La Charge triphasée équilibrée

Elle est constituée de trois charges monophasées. Lorsque les trois charges sont identiques, on dit que la charge triphasée est **équilibrée**. Comme dans le cas des installations monophasées, les charges électriques triphasées peuvent être résistives, inductives, capacitives ou hybrides (impédances et moteur). Ces différents trios sont montrés sur la **Figure 3**.

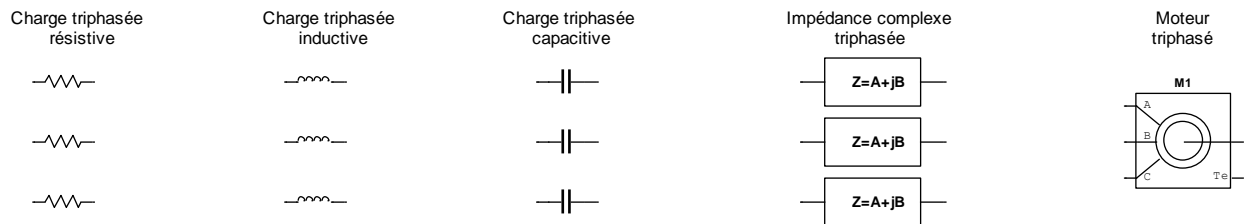


Figure 3. Quelques charges triphasées.

Étant donné que l'on a **deux niveaux** de tension qui sont mis en jeu pour la source triphasée (**tension de phase** et **tension de ligne**) on a également deux possibilités pour raccorder des charges triphasées. Elles sont montrées sur la **Figure 4**.

- Si on alimente chacune des impédances par une tension de phase, alors on réalise le **couplage étoile**.
- Si on alimente chacune des impédances par une tension de ligne; dans ce cas on réalise un **couplage triangle**.

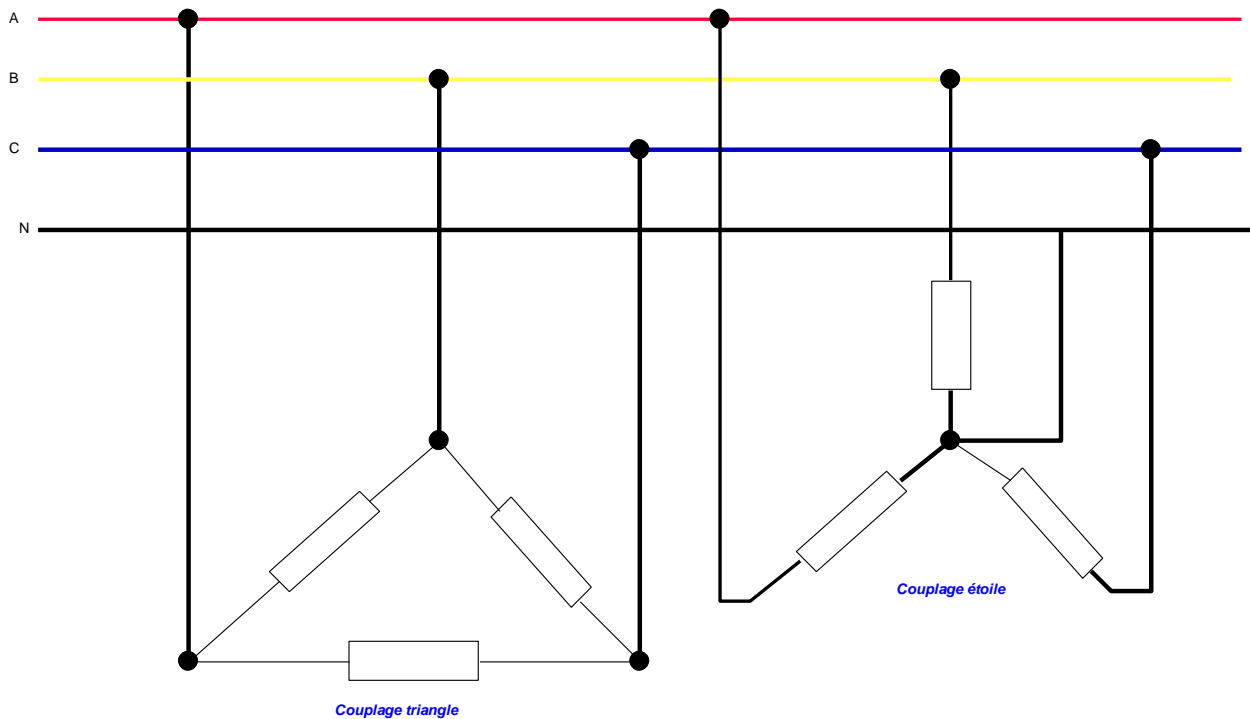


Figure 4. Couplages triangle et étoile des charges triphasées

Remarque : le neutre n'est pas utilisé dans le couplage triangle.

Dès lors que des charges seront raccordées sur le réseau, on aura des courants qui vont circuler dans celles-ci. Comme pour les tensions, on distinguera deux types de courants que sont :

- Les courants parcourant les fils de lignes sont appelés **courants de ligne** que l'on note en valeur efficace I_L
- Les courants parcourant chaque impédance de phase sont appelés **courant de phase** et la valeur efficace sera notée I_{ph} .

La **Figure 5** permet de visualiser les relations entre les courants de phase et ligne selon le couplage. On remarquera alors que :

- **les courants de lignes sont identiques aux courants de phases dans un couplage étoile.**
- Dans le cas d'un couplage triangle on peut appliquer la loi des nœuds en phaseurs. Cela permettra d'obtenir que **le courant de ligne sera $\sqrt{3}$ fois plus élevée que le courant de phase.**

Le **Tableau 1** reporte une synthèse des relations entre les tensions/courants de ligne et les tensions/courants de phase selon les couplages adoptés.

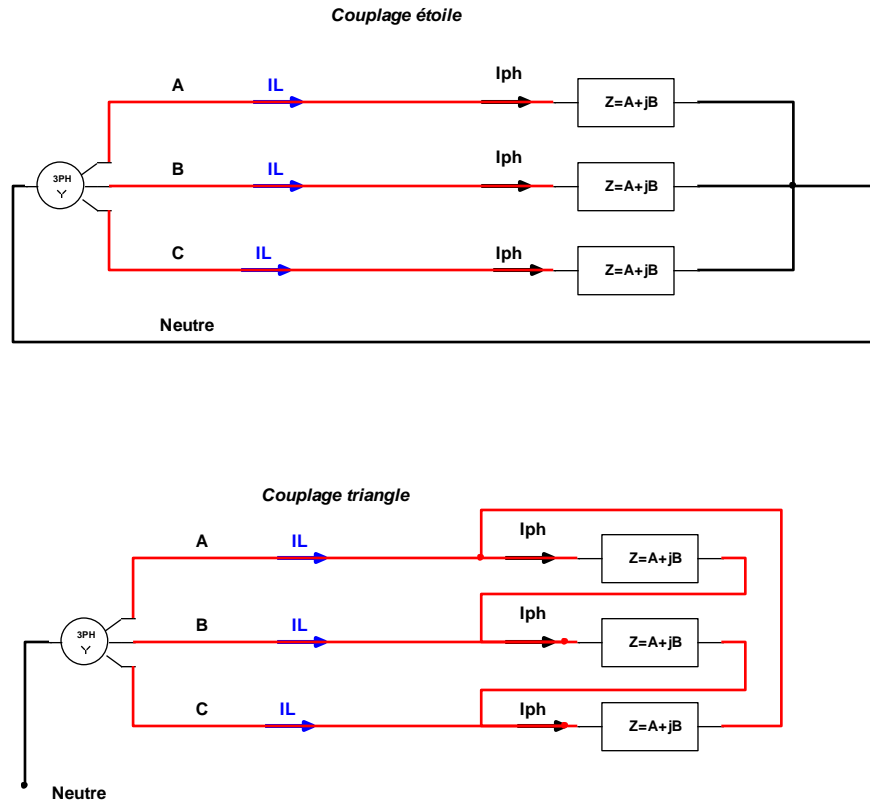


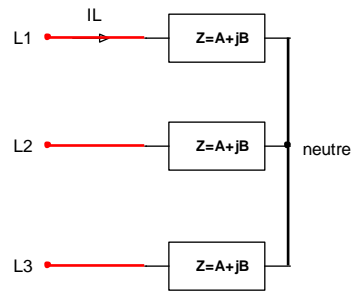
Figure 5. Courant de phase et de ligne dans selon le couplage.

Tableau 1. Synthèse des relations entre courants et tensions (efficaces) dans les couplages étoile-triangle équilibrés.

Couplages	Étoile 3 fils équilibré	Triangle équilibré
Courants	$I_{ph} = I_L$	$I_L = I_{ph} \times \sqrt{3}$
Tension de phase (tension aux bornes d'une impédance)	$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$	$V_{ph} = E_L$
Déphasage	$\varphi = \theta_{v_{ph_i}} - \theta_{i_{L_i}}$	$\varphi = \theta_{v_{L_{i,j}}} - \theta_{i_{ph_{i,j}}}$
Facteur de puissance	$\cos \varphi$	$\cos \varphi$
Neutre	Potentiel du point étoile	Indisponible

Puissances dans les récepteurs triphasés équilibrés

Charge couplée en étoile



Chaque élément est parcouru par le courant de ligne et soumis à la tension de phase.

- Loi d'ohm

$$I_L = \frac{V_{ph}}{Z} ; \bar{Z} = R + jX \quad (6)$$

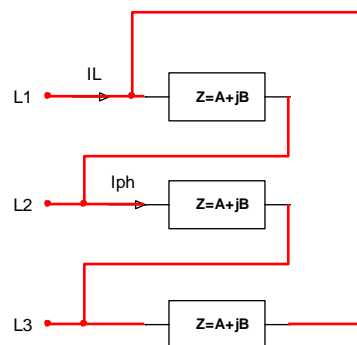
- Puissance active

$$P = 3RI_L^2 \quad (7)$$

- Puissance réactive

$$Q = 3XI_L^2 \quad (8)$$

Charge couplée en triangle



Chaque élément est parcouru par le courant de phase et soumis à la tension de ligne.

- Loi d'ohm

$$I_{ph} = \frac{V_L}{Z} ; \bar{Z} = R + jX ; I_L = \sqrt{3}I_{ph} \quad (9)$$

- Puissance active

$$P = 3RI_{ph}^2 \quad (10)$$

- Puissance réactive

$$Q = 3XI_{ph}^2 \quad (11)$$

Puissances quel que soit le couplage

$$\begin{cases} P = \sqrt{3}V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \\ Q = \sqrt{3}V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \end{cases} ; S = \sqrt{3}V_L \cdot I_L = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (12)$$

Correction du facteur de puissance

Les condensateurs de compensation en triphasé sont dimensionnés par les formules suivantes :

$$\begin{cases} X_{C_Y} = \frac{V_L^2}{Q_C} \\ X_{C_\Delta} = 3 \frac{V_L^2}{Q_C} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_Y = -\frac{Q_C}{\omega V_L^2} \\ C_\Delta = -\frac{Q_C}{3\omega V_L^2} \end{cases} ; Q_C = Q_{apc} - Q_{avc} \quad (13)$$

Considérations pratiques

Imperfection des composants et incertitudes de mesures

Imperfection des composants

Comme dans le cas du laboratoire 1, on devra lors de l'analyse des résultats expérimentaux, également prendre en considération l'**imperfection des composants**. Par exemple la résistance interne d'une bobine ou alors la résistance de fuite d'un condensateur. Les boîtiers des résistances, condensateurs et inductances sont montrés ci-dessous. On rappelle que :

- le banc de résistances comporte 3 blocs constitués de quatre résistances de 600Ω ; 300Ω ; 300Ω et 150Ω pouvant être connectés en parallèle en utilisant les interrupteurs appropriés.

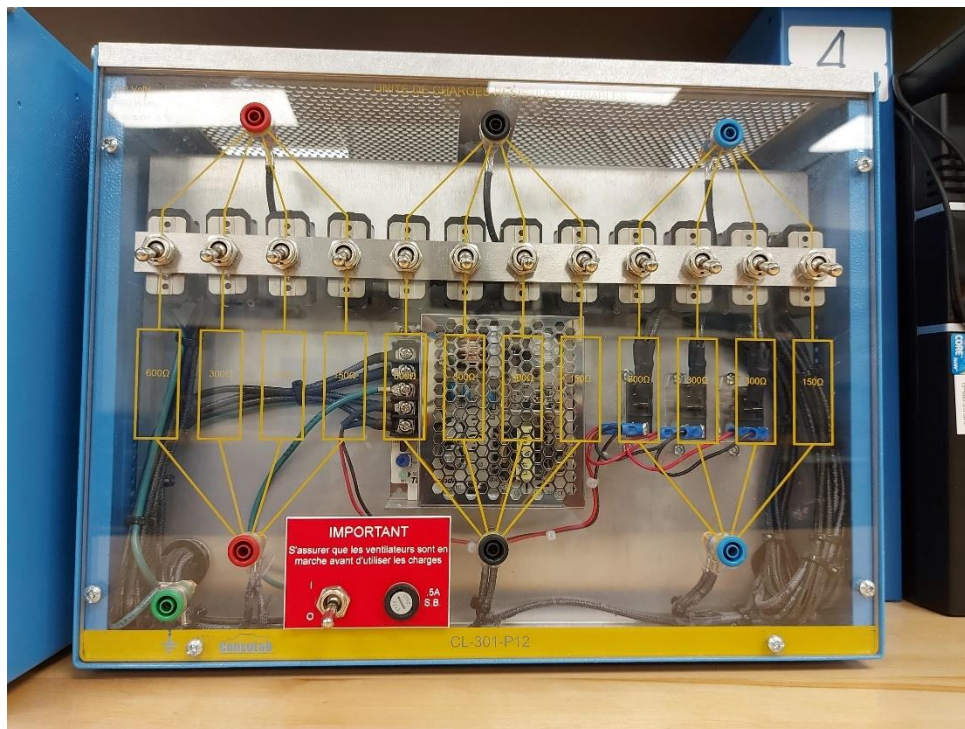


Figure 6. Boîtier de résistance

- Le banc de condensateur comporte trois condensateurs indépendants de $38 \mu F$ chacun.

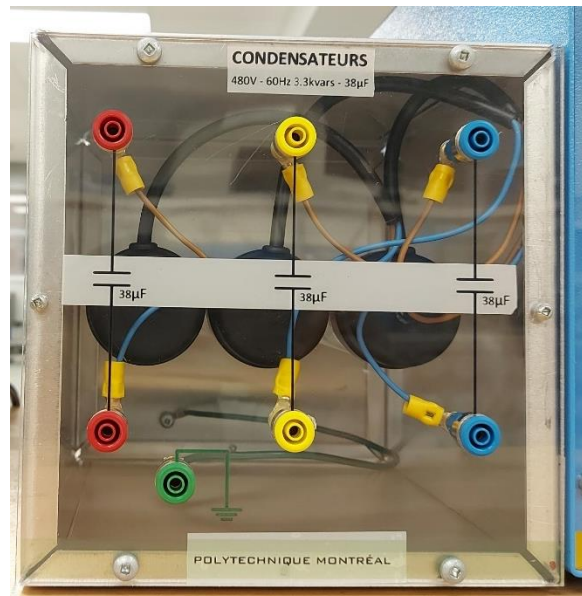


Figure 7. Boîtier de condensateurs

- Finalement, le boîtier d'inductances comporte trois bobines indépendantes de $55 mH$ chacune.



Figure 8. Boîtier d'inductances

Incertitudes de mesure

Contrairement au laboratoire précédent, dans ce laboratoire, vous utiliserez pour la mesure des grandeurs (courant, tension et puissance) l'**analyseur de puissance triphasé Xitron technologies**. La **Figure 9** montre une image des faces avant et arrière de l'analyseur. Comme on peut le voir sur la figure, *les bornes de raccordements sont en arrière de l'analyseur*. Vous pouvez accéder si besoin est au guide d'utilisation l'analyseur [ici](#).



Figure 9. Analyseur de puissance XiTron technologies 2553

Rappel sur le panneau d'alimentation du laboratoire

Contrairement au laboratoire précédent, il sera utilisé les **trois phases** de la source triphasée disponible au laboratoire A-236. La **Figure 10** ci-dessous rappelle l'image de la source du laboratoire lorsqu'elle est **éteinte (disjoncteur à OFF et lumière de sortie éteinte)**. Lorsque le disjoncteur est mis à ON (la lumière de sortie brille) et :

- Entre chaque phase et le neutre (tension de phase) la tension vaut théoriquement **120 V**.
- Entre deux phases quelconques (tension de ligne), on mesurerait théoriquement **208 V**.

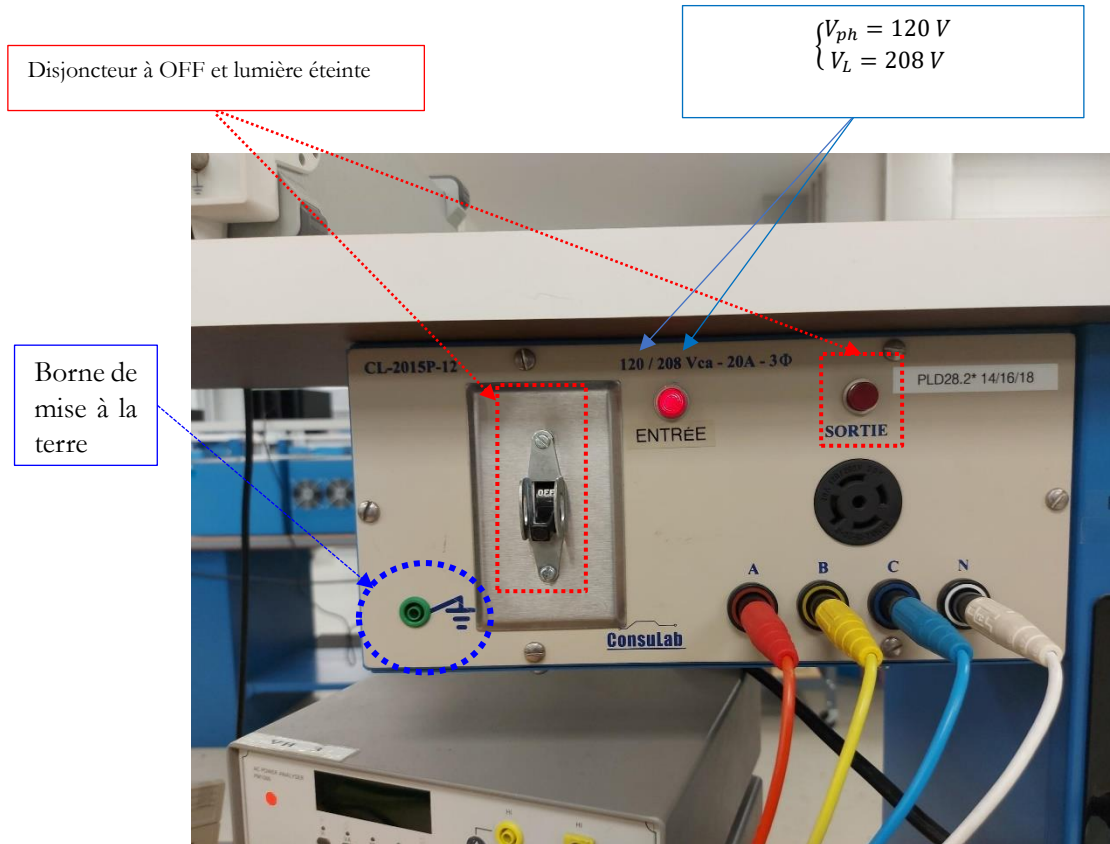


Figure 10. Source d'alimentation triphasée du lab A-236 lorsqu'elle est éteinte

Préparation

- Lire les sections précédentes du laboratoire et d'autres documents du cours.
- Regarder la capsule suivante :
<https://www.loom.com/share/e0c7f5c88ff24a9898035aafaebdd63e?sid=e1504dc7-3e4d-42e2-8147-041e5d512a0b>

Expérimentations

Note : le personnel du laboratoire aura déjà aménagé les tables de travail avant votre arrivée au laboratoire.

Consignes de sécurité générale



DANGER : Ce laboratoire fait appel à des tensions élevées et des courants intenses. Soyez attentifs aux consignes et coupez toujours l'alimentation avant de travailler sur vos montages.



DANGER : Porter des lunettes de sécurité durant toutes les manipulations.



DANGER : Assurez-vous d'avoir réalisé la mise à la terre en reliant ensemble toutes les bornes vertes (GND) des composants.



ATTENTION : À chaque fois que vous préparez un nouveau montage, il est recommandé que chaque membre de l'équipe vérifie indépendamment le circuit, de façon à minimiser les risques de mauvais branchements.

Expérience 1 : Configuration de l'analyseur de puissance et charge purement résistive couplée en triangle.

Schémas

Dans cette expérience vous allez raccorder les quatre fils de la source à l'analyseur de puissance comme montré sur la **Figure 11**. Ensuite, vous alimenterez un trio de résistances couplées en **triangle**. Chaque résistance R est constituée des résistances de $600\ \Omega$; $300\ \Omega$; $300\ \Omega$ et $150\ \Omega$ en parallèle. Cela suppose que vous allez mettre tous les interrupteurs du boîtier de résistances à ON correspondants alors à une résistance de $66,667\ \Omega$ par bloc.

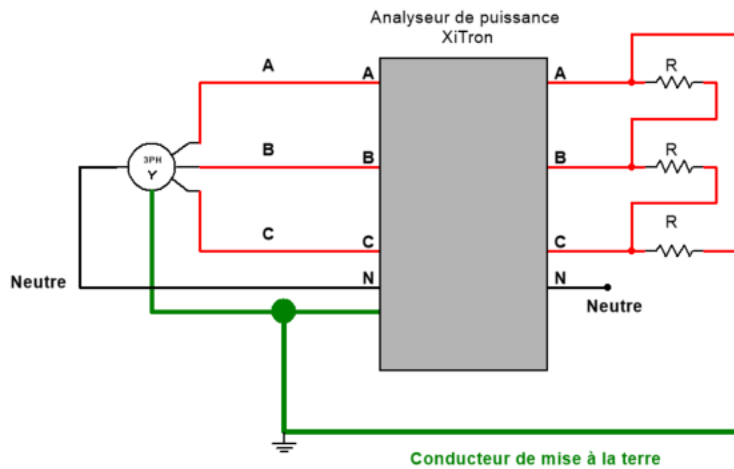


Figure 11. Diagramme de raccordement pour l'expérience 1.



DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF » avant de réaliser le schéma de montage qui est montré sur la **Figure 12**. La légende utilisée est la suivante :

- Les **trois fils de phase** (A, B et C) : **couleur rouge**.
- Le **fil de neutre** qui dans ce cas n'est pas connecté à la charge : **en pointillé noir**.
- Le **conducteur de protection** de mise à la terre : **en pointillé vert**.
- Des points dans avec des couleurs appropriées sont utilisés pour indiquer des jonctions lorsqu'elles existent.

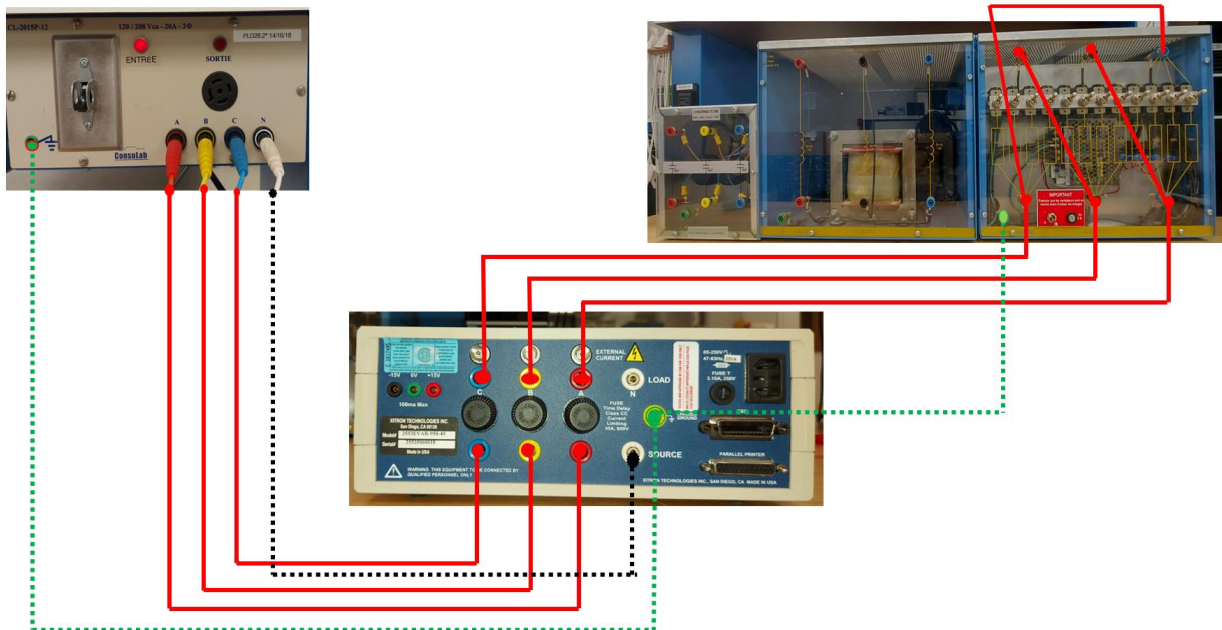


Figure 12. Schéma de montage pour l'expérience 1.

Consignes de sécurité pour cette expérience



DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF ».



ATTENTION : Mettre tous les interrupteurs du boîtier de résistance à ON (tous les interrupteurs doivent être tous vers le haut).



ATTENTION : Faites inspecter votre montage par le responsable du laboratoire (avant de mettre le circuit sous tension).



ATTENTION : Mettez le ventilateur du boîtier de résistance en marche. **Vous le laisserez tourner tout au long du laboratoire (même lorsque le circuit n'est pas sous tension).** Vous l'arrêterez avant de quitter la salle de laboratoire.

Mesures

Une fois votre **montage approuvé**, mettre la source à ON de même que l'analyseur de puissance (voir bouton sur la face avant) et compléter le **Tableau 2**. Pour changer le mode de configuration, suivre les étapes ci-dessous (au besoin, faites-vous aider par le responsable du laboratoire).

- ✓ Étape 1 : Appuyer sur **NEXT** lorsque les mesures s'affichent sur l'écran LCD.

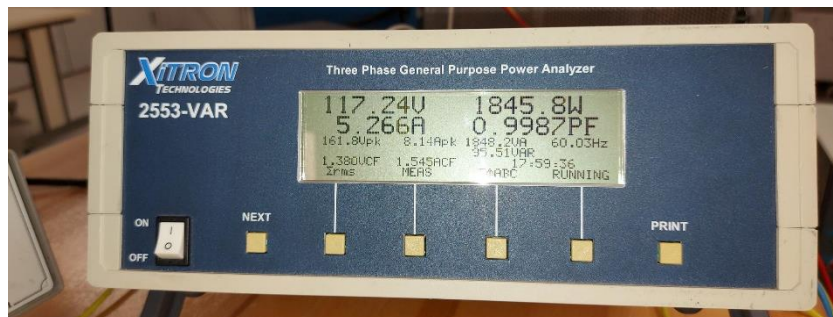


Figure 13. Étape 1 pour la configuration de l'analyseur de puissance XiTron.

- ✓ Étape 2 : Utiliser **CURSEUR** pour choisir MEASUREMENTS and WIRING.

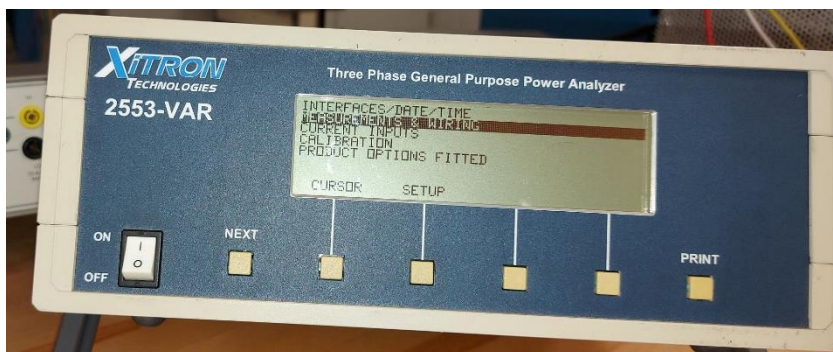


Figure 14. Étape 2 pour la configuration de l'analyseur de puissance XiTron.

- ✓ Étape 3 : Utiliser **CHANGE** pour changer le WIRING puis faire DONE et NEXT ensuite pour revenir aux mesures.

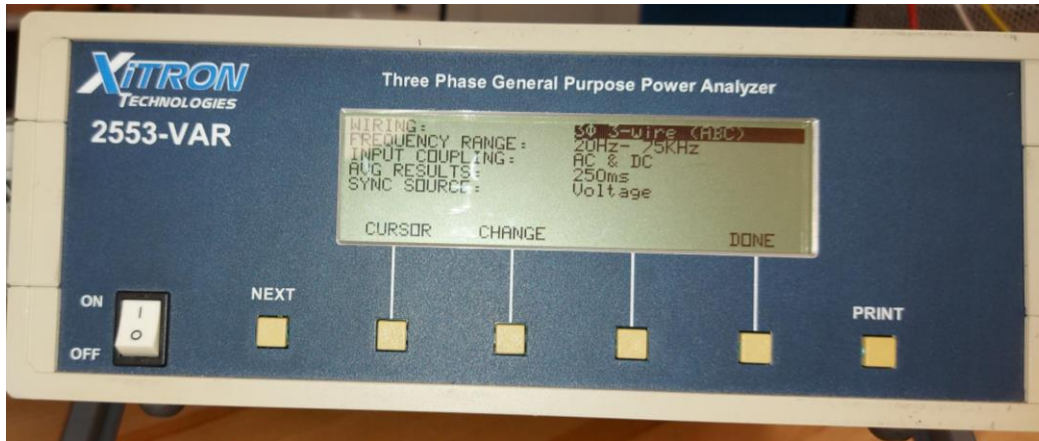


Figure 15. Étape 3 pour la configuration de l'analyseur de puissance XITron.

Compléter à présent le **Tableau 2** selon la configuration.

Tableau 2. Analyse d'une charge purement résistive couplée en triangle

Mode	Tension Sur $\Sigma \phi_{ABC} (V)$	Courant (A)	Puissance active (W)	Puissance apparente (VA)	Puissance réactive Q (var)	Facteur de puissance
3φ -4 wire (ABCN)						
3φ -3 wire (ABC)						

Laisser l'analyseur dans le mode : 3φ – 3 wire (ABC) pour toutes les autres expériences qui vont suivre.



DANGER : mettre le disjoncteur du panneau à la position « OFF » et commencer l'expérience 2.

Expérience 2 : Charge purement résistive couplée en étoile

Schémas

La **Figure 16** montre le diagramme de raccordement sur lequel on peut voir que le neutre est cette fois-ci relié à la charge.

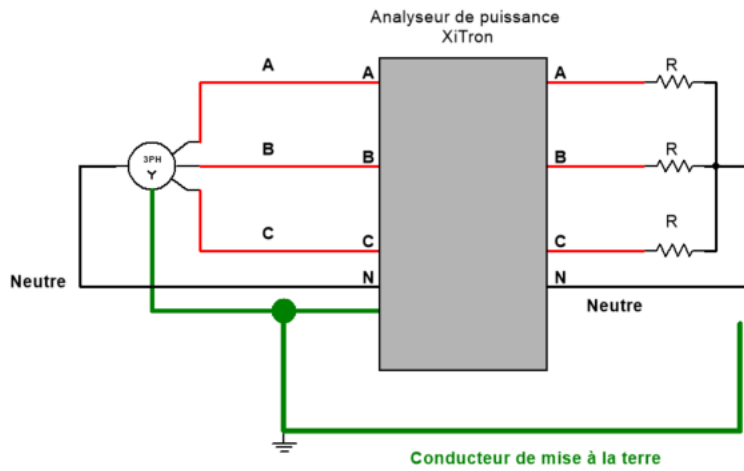


Figure 16. Diagramme de raccordement pour l'expérience 2.

Le schéma de montage est montré sur la **Figure 17**. Les trois autres bornes du bloc de résistance ne recevant pas les fils de phase sont reliées ensemble et raccordées au neutre.

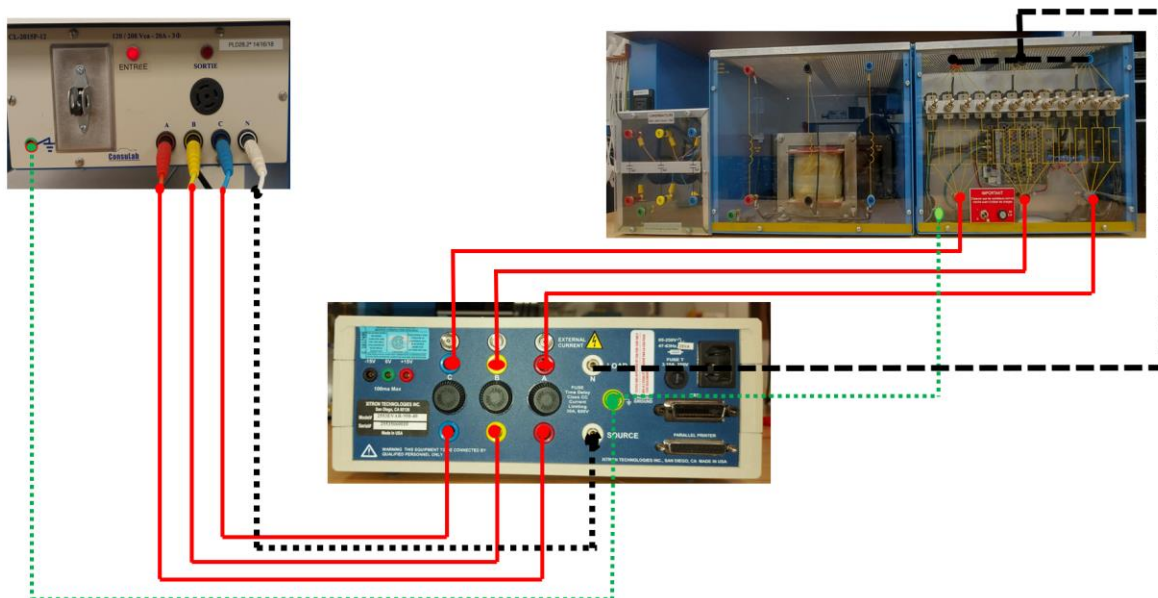


Figure 17. Schéma de montage pour l'expérience 2.

Consignes de sécurité pour cette expérience



DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF ».



ATTENTION : Faites inspecter votre montage par le responsable du laboratoire (avant de mettre le circuit sous tension).

Mesures

Une fois votre **montage approuvé**, mettre la source à ON de même que l'analyseur de puissance (si vous l'avez éteint après l'expérience précédente) et compléter le **Tableau 3**.

Tableau 3. Analyse d'une charge purement résistive en étoile

Tension Sur $\sum \phi ABC$ (V)	Courant (A)	Puissance active (W)	Puissance apparente (VA)	Puissance réactive Q (var)	Facteur de puissance



DANGER : mettre le disjoncteur du panneau à la position « OFF » et commencer l'expérience 3.

NE PAS DÉFAIRE VOTRE MONTAGE, car vous allez simplement rajouter des éléments.

Expérience 3 : Charge triphasée inductive (R et L)

Schémas

Vous allez rajouter les trois bobines de 55 mH couplées en étoile comme montré sur la **Figure 18**.

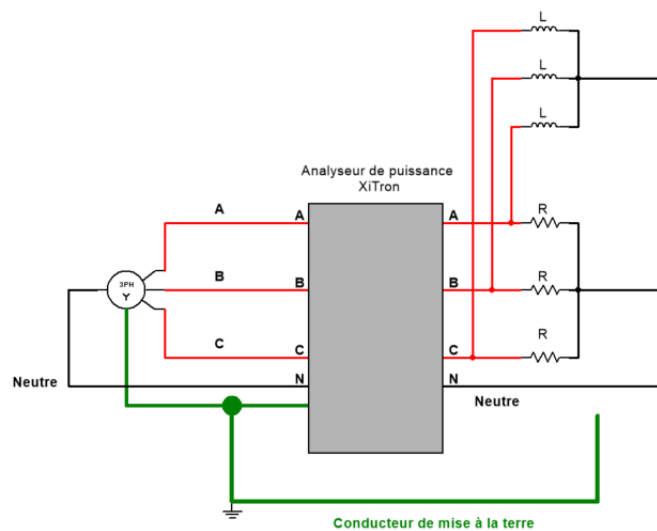


Figure 18. Diagramme de raccordement pour l'expérience 3.

Un schéma de montage correspondant est montré sur la **Figure 19**. Les trois fils de phase pour l'inductance sont en pointillés rouges. Ne pas oublier de raccorder son conducteur de protection comme montré sur la figure.

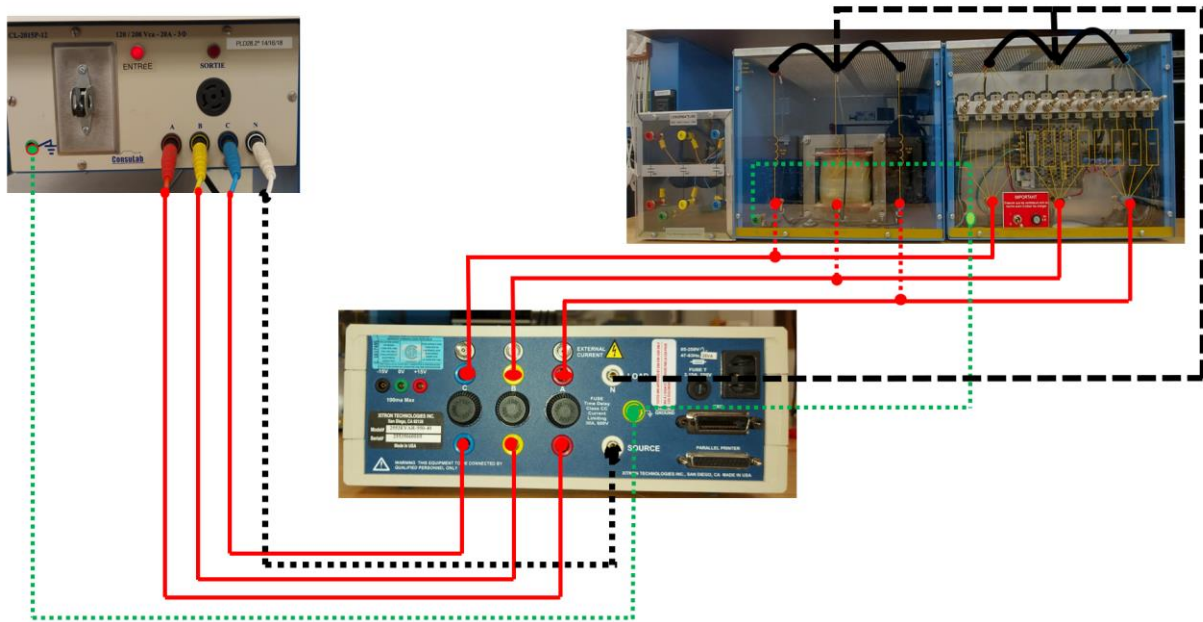


Figure 19. Schéma de montage pour l'expérience 3.

Consignes de sécurité pour cette expérience

⚡ DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF ».

⚠ ATTENTION : Faites inspecter votre montage par le responsable du laboratoire (avant de mettre le circuit sous tension).

Mesures

Une fois votre **montage approuvé**, mettez la source à ON de même que l'analyseur de puissance (si vous l'avez éteint après l'expérience précédente) et compléter le **Tableau 4**.

Tableau 4. Analyse d'une charge triphasée R, L.

Tension Sur $\sum \phi ABC$ (V)	Courant (A)	Puissance active (W)	Puissance apparente (VA)	Puissance réactive Q (var)	Facteur de puissance

⚡ DANGER : mettez le disjoncteur du panneau à la position « OFF » et commencer l'expérience 4.

NE PAS DÉFAIRE VOTRE MONTAGE, car vous allez simplement rajouter des éléments.

Expérience 4 : Ajout du condensateur en étoile

Schémas

Vous allez rajouter les trois condensateurs de $38 \mu F$ couplés en étoile comme montré sur la **Figure 20**. Les condensateurs fournissant à un circuit de la puissance réactive, cela contribuera à améliorer le facteur de puissance.

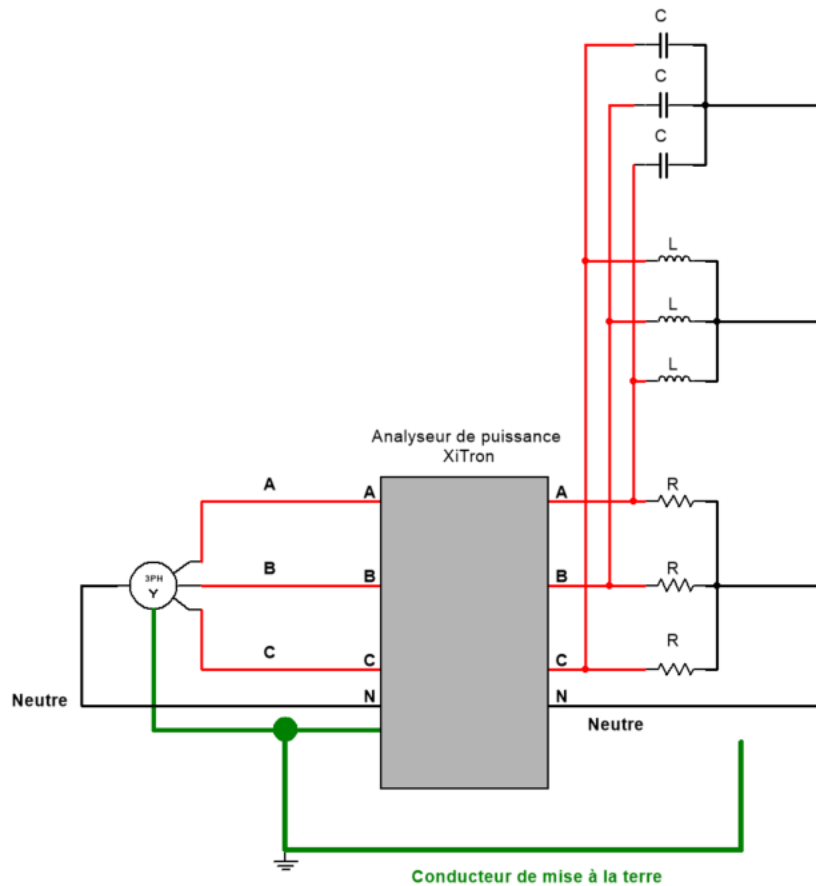


Figure 20. Diagramme de raccordement pour l'expérience 4.

Un schéma de montage correspondant est montré sur la **Figure 20**. Les trois fils de phase pour le condensateur ont également été rajoutés et représentés sont en pointillés rouges. Ne pas oublier de raccorder son conducteur de protection du boîtier de condensateur.

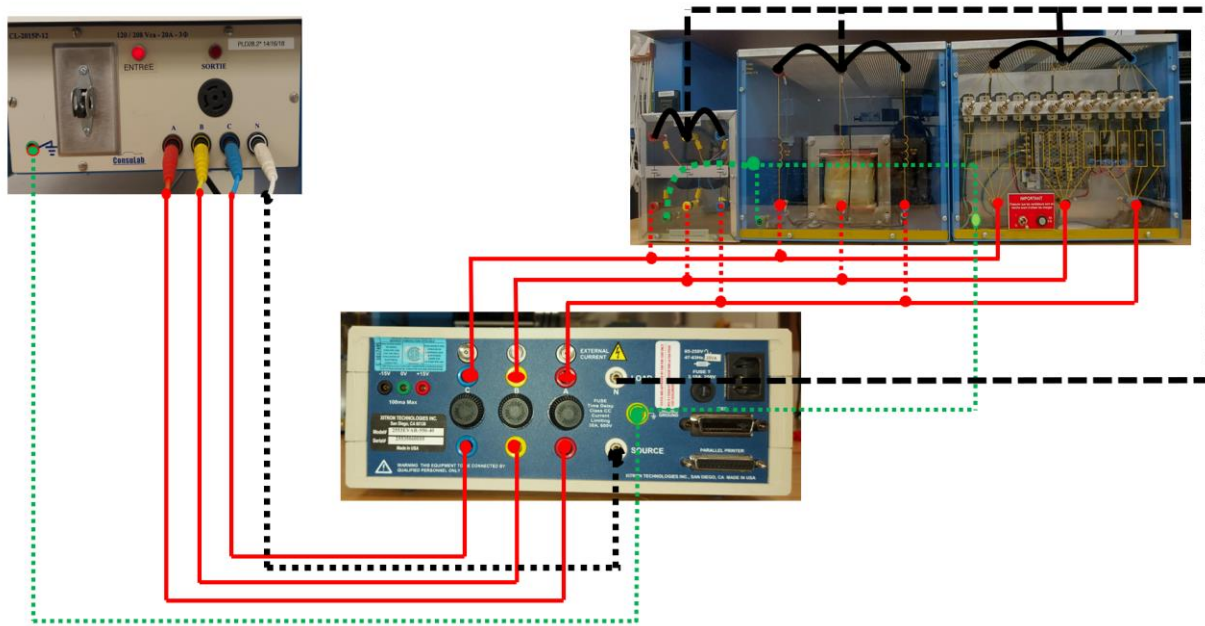


Figure 21. Schéma de montage pour l'expérience 4.

Consignes de sécurité pour cette expérience

⚡ DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF ».

⚠ ATTENTION : Faites inspecter votre montage par le responsable du laboratoire (avant de mettre le circuit sous tension).

Mesures

Une fois votre **montage approuvé**, mettre la source à ON de même que l'analyseur de puissance (si vous l'avez éteint après l'expérience précédente) et compléter le **Tableau 5**.

Tableau 5. Analyse d'une charge triphasée R, L et C_y.

Tension Sur $\sum \phi_{ABC}$ (V)	Courant (A)	Puissance active (W)	Puissance apparente (VA)	Puissance réactive Q (var)	Facteur de puissance

⚡ DANGER : mettre le disjoncteur du panneau à la position « OFF » et commencer l'expérience 5.

Vous allez simplement modifier le couplage du condensateur pour améliorer davantage le facteur de puissance.

Expérience 5 : Ajout du condensateur en triangle

Schémas

Vous allez cette fois coupler les 3 condensateurs de $38 \mu F$ plutôt en triangle comme montré sur la **Figure 22**. Cela devrait contribuer à davantage améliorer le facteur de puissance.

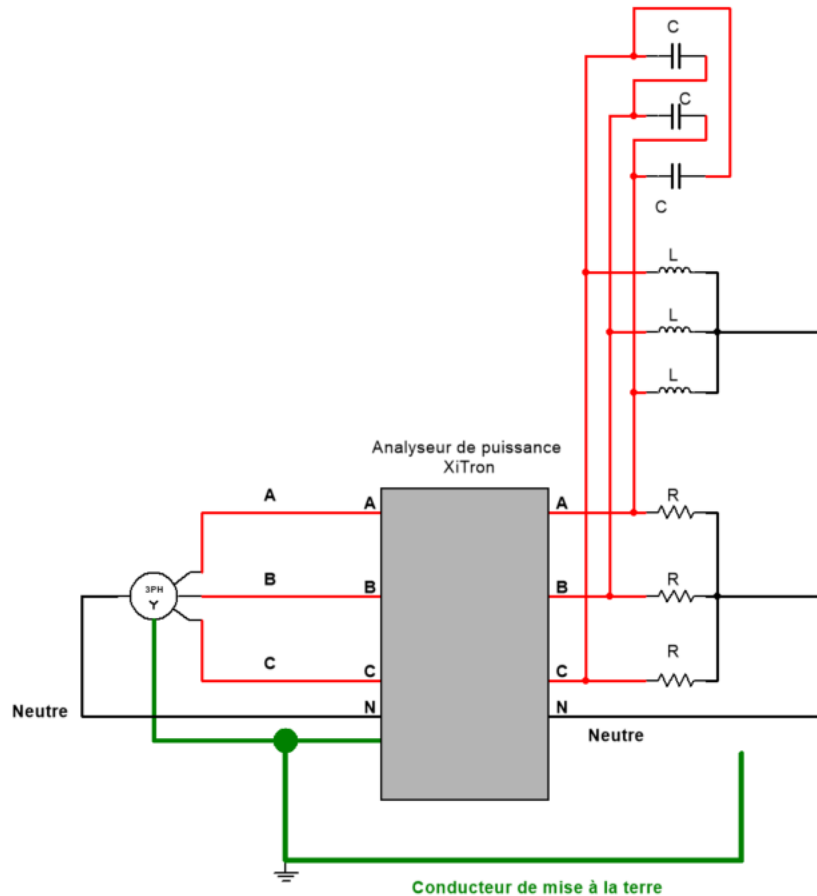


Figure 22. Diagramme de raccordement pour l'expérience 5.

Un schéma de montage correspondant au raccordement ci-dessus est montré sur la **Figure 23**. La différence réside seulement sur les fils raccordés aux condensateurs qui ne sont plus reliés au neutre comme c'est le cas dans un couplage étoile.

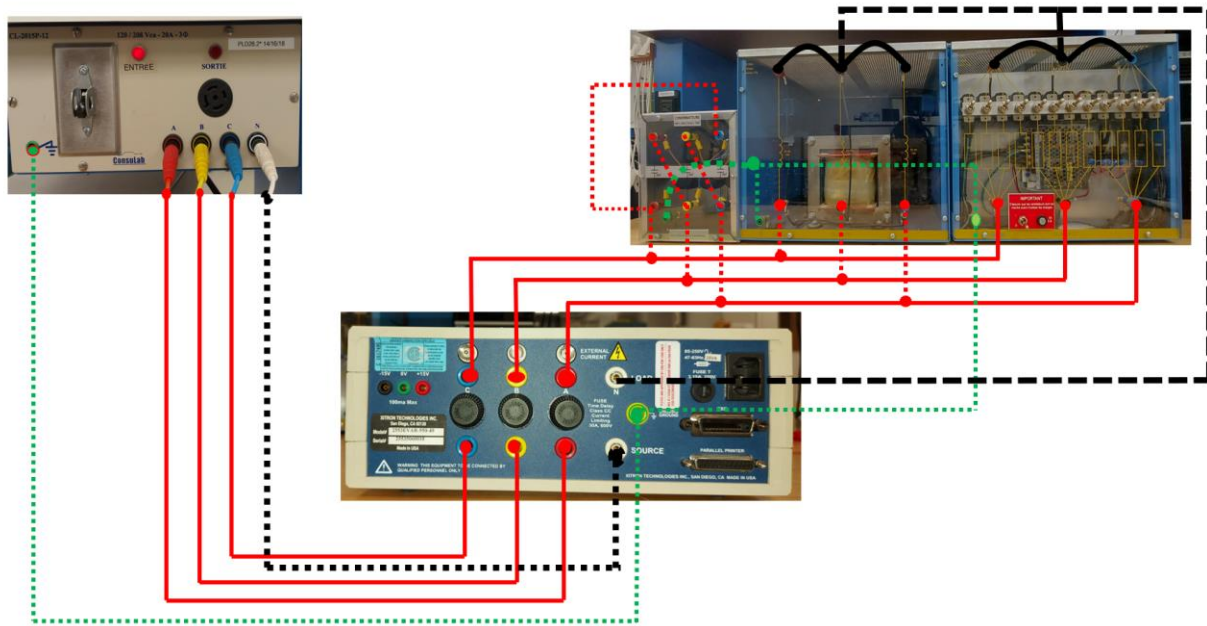


Figure 23. Schéma de montage pour l'expérience 4.

Consignes de sécurité pour cette expérience

⚡ DANGER : Assurez-vous que le disjoncteur du panneau est à la position « OFF ».

⚠ ATTENTION : Faites inspecter votre montage par le responsable du laboratoire (avant de mettre le circuit sous tension.

Mesures

Une fois votre **montage approuvé**, mettre la source à ON de même que l'analyseur de puissance (si vous l'avez éteint après l'expérience précédente) et compléter le **Tableau 6**.

Tableau 6. Analyse d'une charge triphasée R, L et C_Δ.

Tension Sur $\sum \phi_{ABC}$ (V)	Courant (A)	Puissance active (W)	Puissance apparente (VA)	Puissance réactive Q (var)	Facteur de puissance

⚡ DANGER : mettre le disjoncteur du panneau à la position « OFF » avant toute chose.

- Mettre à OFF l'interrupteur du ventilateur du boîtier de résistances de même que tous les interrupteurs de mise en parallèle des résistances.
- Défaire votre montage et ranger les fils conducteurs à leurs emplacements.

Fin du lab. ici avant de partir : Présenter vos tableaux de mesures complétés au responsable du LAB et rassurez-vous d'avoir signer la feuille de présence.

Le rapport de test sera disponible sur Moodle à partir du vendredi 14 février à 18 h 30.