

Laboratoire 3: Comparaison des sources lumineuses

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.
- Vous devez avoir complété l'exercice de préparation sur Moodle avant de vous présenter au laboratoire.

Objectifs

Ce laboratoire vous permettra de :

- Analyser différentes sources lumineuses.
- Se familiariser avec les différents indicateurs et unités caractérisant les sources lumineuses.
- Déterminer l'efficacité lumineuse de différentes sources lumineuses.
- Mesurer les harmoniques générées par les différentes sources lumineuses

Quelques notions théoriques et pratiques sur les systèmes d'éclairages

Les grandeurs photométriques

La **photométrie** est la science qui étudie le rayonnement lumineux du point de vue de la perception par l'œil humain. Le tableau ci-dessous synthétise les principales grandeurs photométriques.

Tableau 1. Définition, symboles et unités des principales grandeurs photométriques

Grandeurs	Définitions	Symboles	Unités
Flux lumineux	Quantité d'énergie lumineuse rayonnée par seconde	ϕ	Lumen (lm)
Efficacité lumineuse	Quotient du flux lumineux par quantité d'énergie électrique consommée	K	lm/W
Intensité lumineuse	Énergie lumineuse rayonnée par seconde dans une direction donnée	I	Candela (cd)
Éclairement	Quantité de lumière (flux lumineux) reçue sur une surface	E	Lux(lx) ou Foot-candle (fc)
Luminance	Intensité lumineuse produite (ou réfléchi) par une surface et vue d'une direction donnée	L	candelas par m^2 (cd/m^2)

Quelques formules de base

Flux lumineux et efficacité lumineuse

$$K = \frac{\phi}{P} \begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ P : \text{puissance en watts (W)} \\ K : \text{intensité lumineuse en (lm/W)} \end{cases} \quad (1)$$

Flux lumineux et intensité lumineuse

$$\phi = I \times \Omega \begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ I : \text{intensité lumineuse en cd} \\ \Omega : \text{angle solide en stéradian (sr)} \end{cases} \quad (2)$$

L'angle solide Ω est l'angle sous lequel est vu un objet depuis un point d'observation.

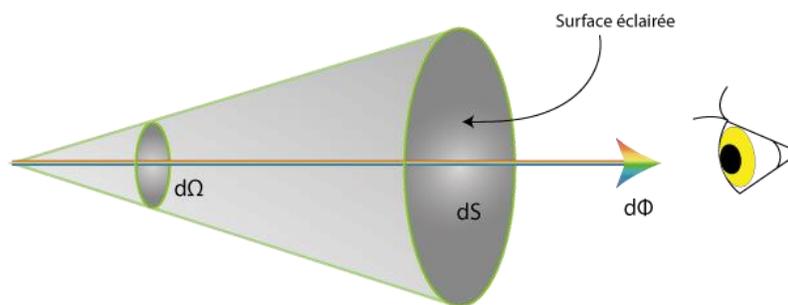


Figure 1. Définition de l'angle solide ([source](#))

Quelques cas particuliers

- Pour un demi-espace $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\Omega_{1/2} = 2\pi \text{ sr} \tag{3}$$

- Pour un espace entier $\alpha = \pi$

$$\Omega_{\text{espace}} = 4\pi \text{ sr} \tag{4}$$

- Pour un cône très étroit : $\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$

$$\Omega(\alpha) = \pi\alpha^2 \tag{5}$$

Flux lumineux et éclairement

$$E = \frac{\phi}{S} \begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ S : \text{surface en } m^2 \\ E : \text{Éclairement en lux (lx)} \end{cases} \tag{6}$$

Note : l'éclairement se mesure aussi en fc (Foot-candle) avec :

$$1 \text{ fc} \approx 10,764 \text{ lx} \tag{7}$$

Quelques appareils d'éclairage

On distinguera les lampes à incandescence, des lampes fluorescentes et des lampes la DEL (Diode Électroluminescente). La figure ci-dessous donne un tableau comparatif de ces différentes sources.

	Technologie	Utilisation	Avantages	Inconvénients
	Incandescence Standard	Usage domestique Éclairage localisé décoratif	Branchement direct sans appareillage intermédiaire Prix d'achat peu élevé Facile à recycler Allumage instantané Bon rendu des couleurs	Efficacité lumineuse faible Consommation électrique importante Forte dissipation de chaleur Faible durée de vie
	Incandescence halogène	Éclairage ponctuel et intensif	Branchement direct Allumage instantané Excellent rendu des couleurs Facile à recycler	Efficacité lumineuse moyenne Forte dissipation de chaleur Consommation électrique importante
	Tube fluorescent	Magasins, bureaux, ateliers Extérieurs	Efficacité lumineuse élevée Rendu des couleurs moyen	Puissance lumineuse unitaire faible Sensible aux températures extrêmes Difficile à recycler
	Lampe fluo-compacte	Usage domestique Bureaux Remplace les lampes à incandescence	Bonne efficacité lumineuse Bon rendu des couleurs sensibles aux nombre de commutations	Investissement initial élevé par rapport aux lampes à incandescence Difficile à recycler
	LED	Signalisation (feux tricolores, éclairage de secours) Hall	Insensibles aux nombre de commutations Faible consommation d'énergie Basse température.	Prix relativement élevé Rendu des couleurs moyen Gamme de puissance réduite

Figure 2. Comparaison des différentes lampes ([source](#))

Les principales parties de quelques-unes de ces lampes sont :

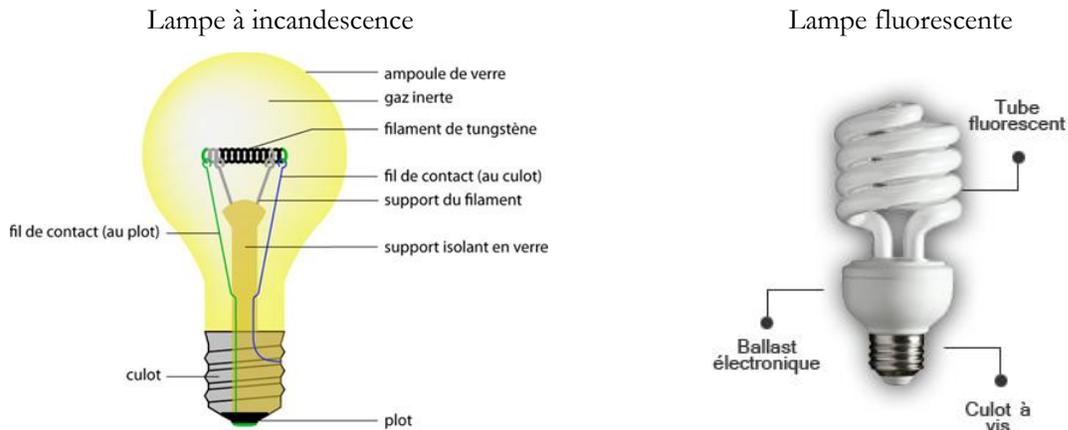


Figure 3. Constitution des lampes à incandescence et des lampes fluorescentes

Quelques problématiques liées à l'utilisation des appareils d'éclairage : les courants d'harmoniques

Définition des courants d'harmoniques

En électricité, les courants harmoniques sont des courants électriques de fréquence multiple de la fréquence fondamentale 60Hz (120, 180, 240, 300 Hz, etc.) qui apparaissent dans les réseaux électriques. Les **harmoniques** sont produits par les **charges non linéaires** dans le réseau électrique. Par définition, une charge non linéaire est une *charge qui, alimentée par une tension sinusoïdale, est parcourue par un courant non sinusoïdal*. Les charges non linéaires incluent : les arcs électriques, les circuits magnétiques saturables, les ballasts d'éclairage électroniques (voir **Figure 3** ci-dessus).

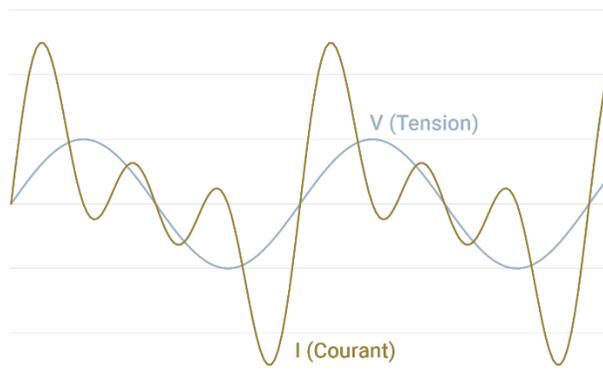


Figure 4. Illustration des courants d'harmoniques

De façon succincte, pour quantifier les harmoniques, on procède par une analyse spectrale (voir **Figure 5**). On définit alors la valeur efficace de l'ensemble des harmoniques de courant comme suit :

$$I_H = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2} = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (8)$$

n étant le nombre d'harmoniques. I_2, I_3, \dots, I_n représentant les valeurs efficaces du 2^e, 3^e, ..., n^e harmonique.

On définit ensuite le **facteur de distorsion** qui est abrégé THD pour **Total Harmonic Distorsion** comme suit :

$$THD = \frac{I_H}{I_1} \times 100 = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \times 100 \quad (9)$$

I dans cette formule représente la valeur efficace du courant total et I_1 la valeur efficace du fondamental. La **Figure 5** montre le spectre d'harmoniques généré par une lampe fluorescente. Tout au long du laboratoire, vous utiliserez l'analyseur de puissance Xitron 2553 pour obtenir le spectre d'harmoniques.

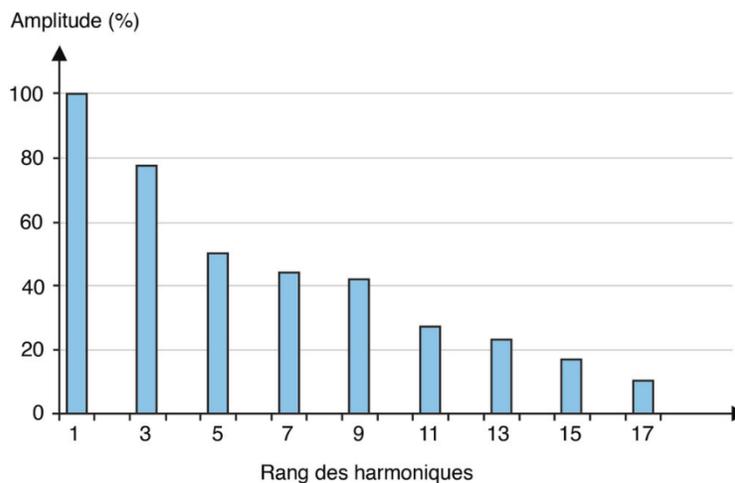


Figure 5. Spectre d'harmoniques d'une lampe fluorescente ([source](#))

Liste des composants du laboratoire

Mesure des grandeurs photométriques

La grandeur photométrique qui sera mesurée durant le laboratoire est le niveau d'éclairage et pour cela, il sera utilisé le *luxmètre MTP 1014* (**Figure 6**) qui permettra d'obtenir une mesure du niveau d'éclairage en **Lux (lx)** ou en **Foot Candle (fc)**.



Figure 6. Luxmètre MTP 1014

Note : on utilisera une règle de 1 m de longueur.

Les appareils d'éclairage et leur support

Il sera mesuré les niveaux d'éclairage sur trois types d'appareils d'éclairage.

- Une **lampe à incandescence (INC)**.



Figure 7. Lampe à incandescence du laboratoire

- Une **lampe fluorescente compacte (LFC) Philips** à ballast intégré. Une image est montrée sur la Figure 8.



Figure 8. Lampe fluorescente compacte à ballast intégré Philips

- Une lampe à Diode électroluminescente **DEL NOMA** (voir **Figure 9**)



Figure 9. Lampes à DEL NOMA

- Un support pour les trois lampes : la **Figure 10** montre le support et les bornes de raccordement des différents appareils d'éclairage.



Figure 10. Support et bornes de raccordements des appareils d'éclairage.

Mesures des harmoniques générées par les lampes

L'analyseur de puissance triphasé XiTron 2553 (voir **Figure 11**) sera utilisé pour les mesures les harmoniques de courants générés par les différentes sources. On rappelle que ses bornes de raccordement se trouvent sur sa face arrière.



Figure 11. Analyseur de puissance XiTron technologies 2553 (faces avant et arrière)

Alimentation au laboratoire

- Le panneau d'alimentation est montré sur la **Figure 12**. On rappelle qu'il s'agit d'une alimentation triphasée avec les niveaux théoriques de tensions suivants :
 - ✓ Entre chaque phase et le neutre (tension de phase) : **120 V**.
 - ✓ Entre deux phases quelconques (tension de ligne) : **208 V**.

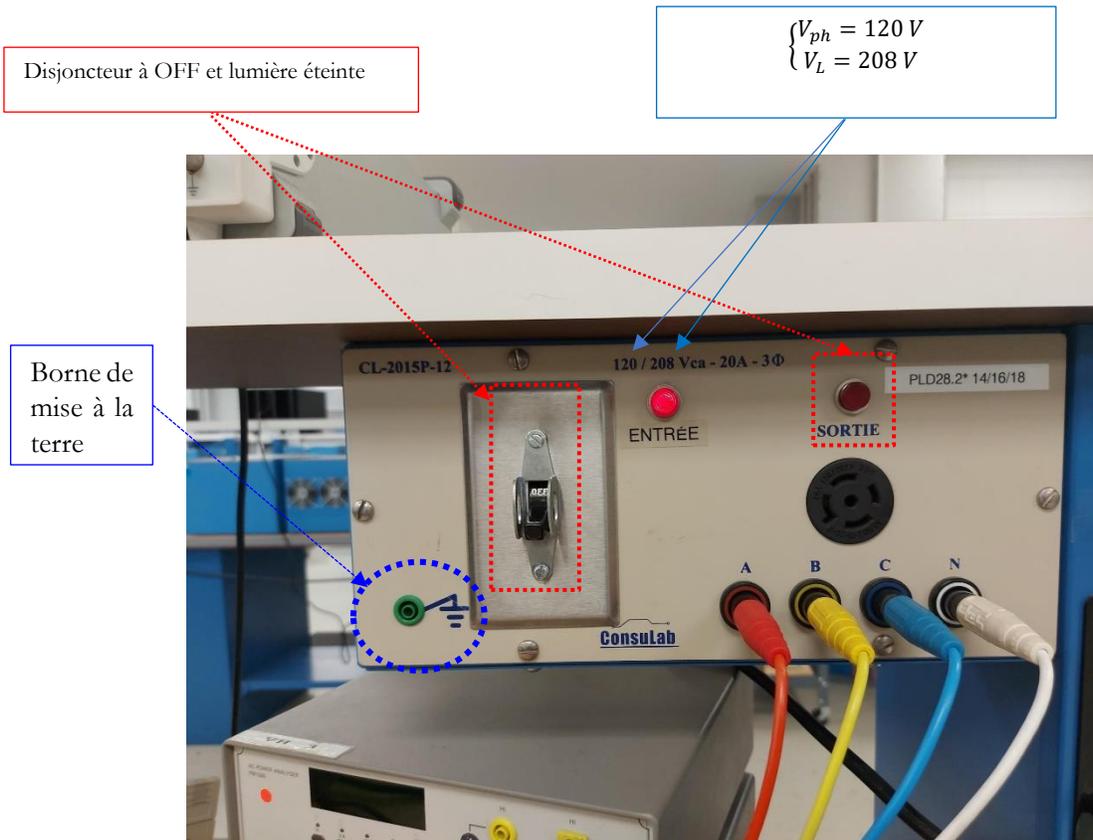


Figure 12. Source d'alimentation triphasée du lab A-236 lorsqu'elle est éteinte

Ajustement de la tension d'alimentation des appareils d'éclairage

Finalement pour ajuster la tension d'alimentation, on utilisera l'autotransformateur triphasé dont une image est montrée sur la **Figure 13**. Les bornes L1, L2, L3 et N seront constamment connectées aux bornes A, B, C et N de la source. Ainsi la tension d'entrée de l'autotransformateur sera tout au plus de 208 V en valeur efficace entre deux lignes par exemple L1 et L2. Cette tension sera de 120 V entre n'importe laquelle des lignes (L1, L2 ou L3) et le neutre. Il s'agit bien sûr des valeurs théoriques attendues, mais à cause de la chute de tension, on n'aura pas exactement ces valeurs. **Les sorties A, B et C** sont raccordées à la charge qui dans ce laboratoire est **monophasée** (les différentes lampes). La **borne de mise à la terre** de l'autotransformateur est la borne verte identifiée par GND pour Ground.

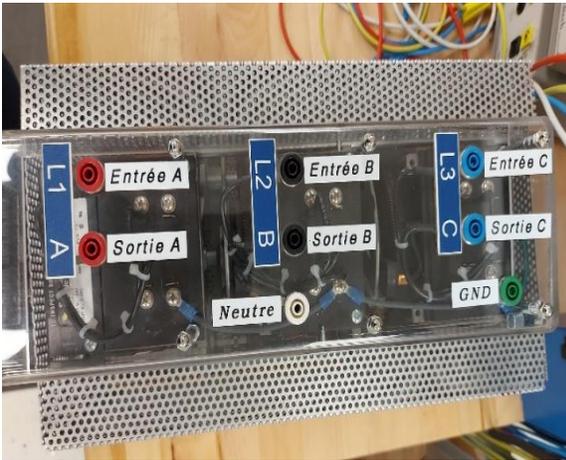


Figure 13. Autotransformateur triphasé max 240 V entre A et B et 120 V entre A et GND

Préparation

- Lire les sections précédentes du laboratoire et d'autres documents du cours.
- Regarder la capsule suivante :
<https://www.loom.com/share/14edec3544f949f1876b3f2dedff188b?sid=e9e332b6-fc19-4b16-8274-cd36cef375f3>

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 ensemble et avec celle de la source.



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 : Lectures des caractéristiques des appareils d'éclairage qui seront utilisés

Ne raccorder rien pour cette partie.

Extraire les informations suivantes sur les différents appareils d'éclairage montrés sur les **Figure 7**, **Figure 8** et **Figure 9**. Reporter vos valeurs dans le **Tableau 2**; celles-ci seront utilisées pour répondre aux questions du rapport de test.

Tableau 2. Quelques caractéristiques des appareils d'éclairage

Lampe à incandescence (INC) (Figure 7)			
Puissance nominale en Watts (W)		Tension d'alimentation en Volts	
Lampe fluorescente compacte (LFC) (Figure 8)			
Flux lumineux en lumen (lm)	Puissance en Watts (W)	Tension d'alimentation en Volts	Température de couleur en Kelvin (K)
Lampe à DEL NOMA (Figure 9)			
Flux lumineux en lumen (lm)	Puissance en Watts (W)	Tension d'alimentation en Volts	Température de couleur en Kelvin (K)

Expérience 2 : Lampe à incandescence



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

Schémas

Dans cette expérience vous allez mesurer les puissances absorbées de même que le spectre d'harmonique de la lampe à incandescence. La charge étant monophasée, il ne sera qu'utilisé que les bornes de **sortie A** et **N** de l'analyseur de puissance l'alimentation. Le schéma de principe est montré sur la **Figure 14**.

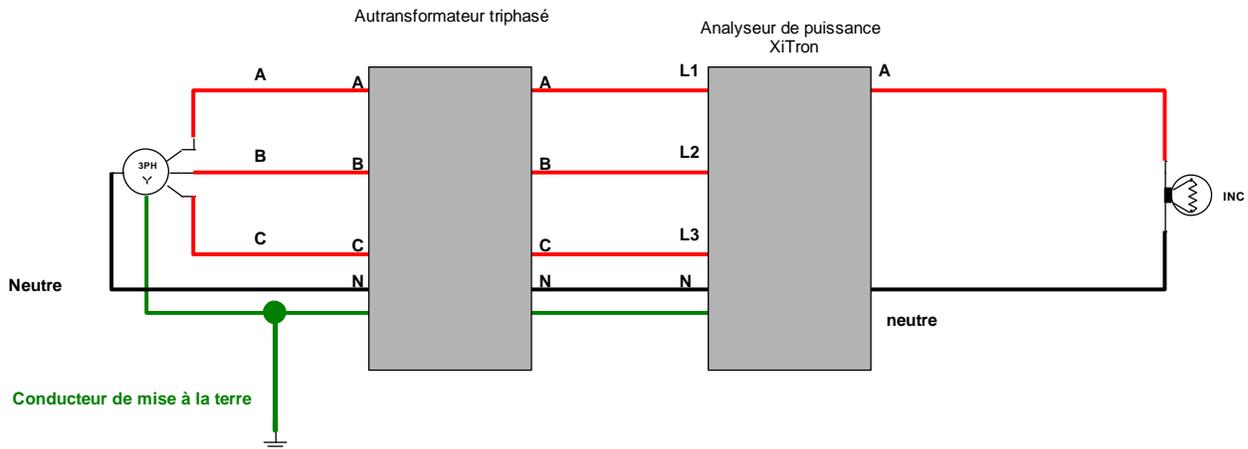


Figure 14. Schéma de principe de l'expérience 2

Le schéma de montage correspondant est montré sur la **Figure 15**.

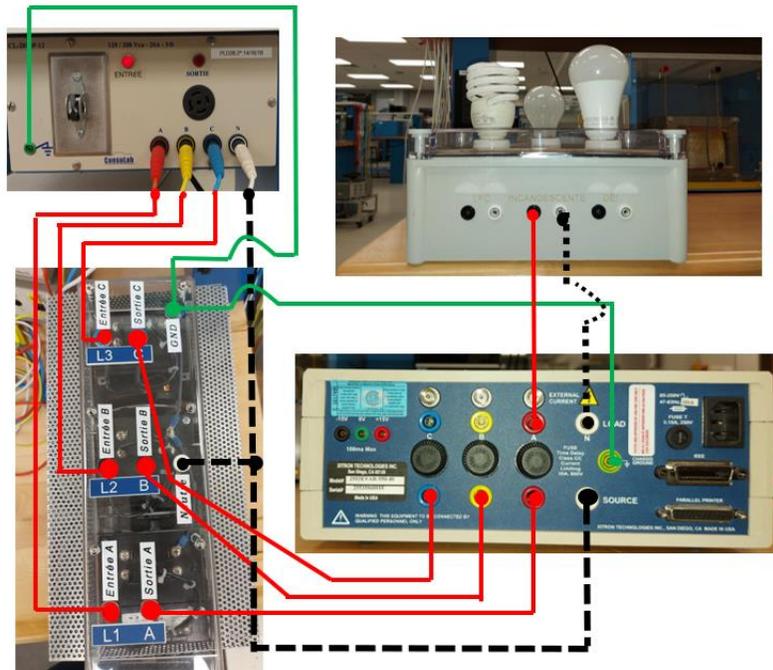


Figure 15. Schéma de montage pour l'expérience 2.

La légende utilisée est la suivante :

- Les **fils de phase** (A, B et C) : **couleur rouge** .
- Le **fil de neutre en pointillé noir** .
- Le **conducteur de protection** de mise à la terre : **en vert** .

Consignes de sécurité pour cette expérience



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



DANGER : Assurez-vous le curseur de l'autotransformateur triphasé est à la position zéro (voir **Figure 13**).



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
- Mettre en ON l'analyseur de puissance Xitron 2553.
- Configurer l'analyseur en mode 3 phase-4 fils afin de lire la tension ligne-neutre (tension de phase)
- Utiliser le bouton Vernier de l'autotransformateur triphasé afin d'ajuster la tension aux bornes de la lampe à incandescence à 120 V.
- Compléter le **Tableau 3** pour la mesure du niveau d'éclairage à 1 m de la source (dans trois directions de votre choix), des caractéristiques électriques et des harmoniques de courants générées par la lampe à incandescence.
 - ✓ Pour le niveau d'éclairage, utilisez le luxmètre MTP 1014 (**Figure 6**). Pour changer l'unité de mesure, faites un *appui long* sur le bouton **MAX LUX/Fc** sur le bord du luxmètre.
 - ✓ Pour la mesure des puissances, tension et courant, l'analyseur étant en mode 3 phases-4 fils, vous devez lire vos données sur la façade de la **Figure 16**. Les mesures doivent être faites sur la phase A (ϕA) seulement.



Figure 16. Lecture des puissances, tension et courant sur l'analyseur Xitron 2553.

- ✓ Pour la mesure des harmoniques, vous devez utiliser le bouton NEXT pour accéder à l'écran ci-dessous. Une fois de plus, les mesures sont prélevées sur la phase A et vous devez SCROLL pour lire toutes les données jusqu'au 10^e harmonique de COURANT.



Figure 17. Lecture des harmoniques avec l'analyseur de puissance.

Tableau 3. Éclairement et harmoniques de courant de la lampe à incandescence

ÉCLAIREMENT DANS 3 DIRECTIONS DIFFÉRENTES									
E_1 (lx)	E_1 (fc)	E_2 (lx)	E_2 (fc)	E_3 (lx)	3 (fc)	E_{moy} (lx) (par calcul)	(par calcul)	E_{moy} (fc)	par calcul
PUISSANCES ET FACTEUR DE PUISSANCE									
Tension en volts		Courant en ampères		Puissance P en watts		Puissance S en VA		Facteur de puissance	
HARMONIQUES									
Fondamental	2 ^e h	3 ^e h	4 ^e h	5 ^e h	6 ^e h	7 ^e h	8 ^e h	9 ^e h	10 ^e h



DANGER : Utiliser le bouton VERNIER de l'autotransformateur pour ramener la tension à zéro.



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

Ne pas défaire votre montage

Expérience 3 : Lampe fluorescente

Schémas

Dans cette expérience vous allez mesurer les puissances absorbées de même que le spectre d'harmonique de la lampe fluorescente. Le schéma de principe est le même que celui de la **Figure 14**. Mais vous devez cette fois-ci alimenter la deuxième lampe comme montré sur le schéma de montage de la **Figure 18**. Comme vous pouvez le voir, vous avez juste à déplacer les deux fils de la première lampe vers la deuxième lampe.

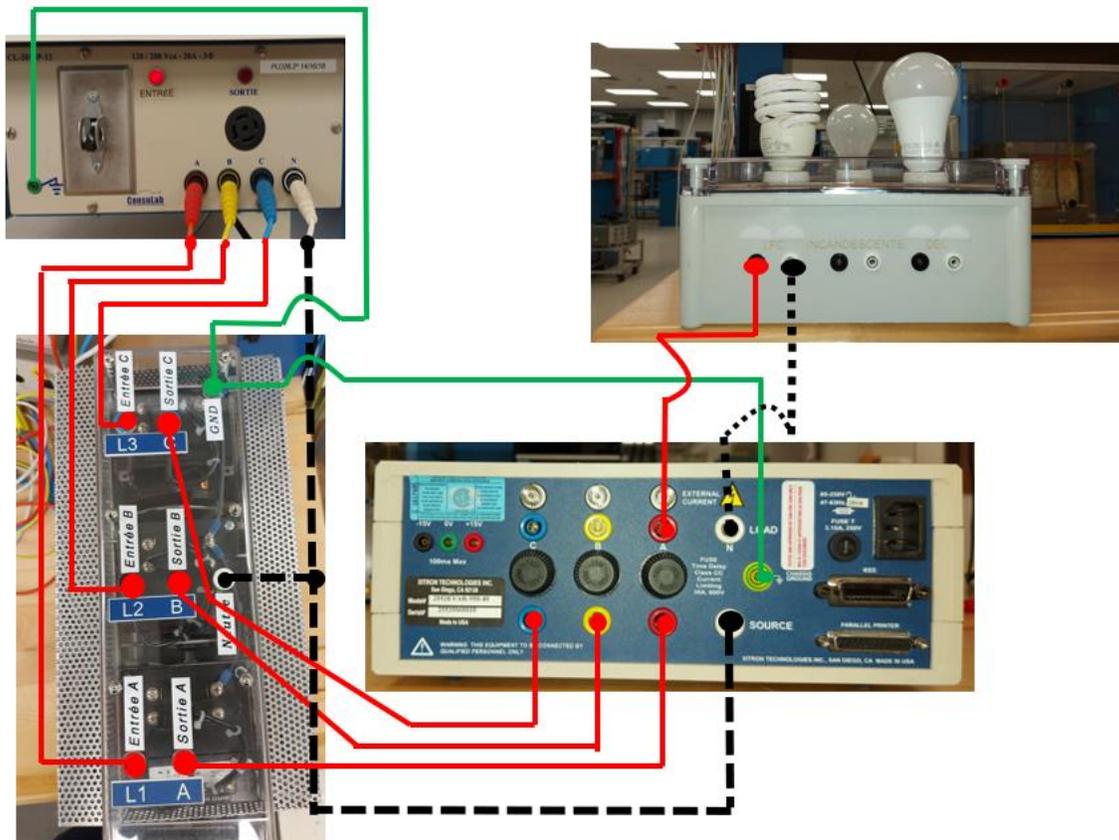


Figure 18. Schéma de montage pour l'expérience 3.

Consignes de sécurité pour cette expérience



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



DANGER : Assurez-vous le curseur de l'autotransformateur triphasé est toujours à la position zéro.



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
- Mettre en ON l'analyseur de puissance Xitron 2553 si vous l'aviez éteint.
- Ajuster la tension aux bornes de la lampe fluorescente à 120 V.
- Compléter le **Tableau 4** pour la mesure du niveau d'éclairement à 1 m de la source (dans trois directions de votre choix), des caractéristiques électriques et des harmoniques de courants générées par la lampe fluorescente.

Tableau 4. Éclairement et harmoniques de courant de la lampe fluorescente

ÉCLAIREMENT DANS 3 DIRECTIONS DIFFÉRENTES									
E_1 (lx)	E_1 (fc)	E_2 (lx)	E_2 (fc)	E_3 (lx)	3 (fc)	E_{moy} (lx) (par calcul)	(par calcul)	E_{moy} (fc)	par calcul
PUISSANCES ET FACTEUR DE PUISSANCE									
Tension en volts		Courant en ampères		Puissance P en watts		Puissance S en VA		Facteur de puissance	
HARMONIQUES									
Fondamental	2 ^e h	3 ^e h	4 ^e h	5 ^e h	6 ^e h	7 ^e h	8 ^e h	9 ^e h	10 ^e h



DANGER : Utiliser le bouton VERNIER de l'autotransformateur pour ramener la tension à zéro.



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

Ne pas défaire votre montage

Expérience 4 : Lampe à DEL

Schémas

Dans cette expérience vous allez mesurer les puissances absorbées de même que le spectre d'harmonique de la lampe à DEL. Le schéma de montage est montré sur la **Figure 19**. Comme précédemment, vous avez juste à déplacer les deux fils qui étaient sur la 2^e lampe vers la 3^e lampe.

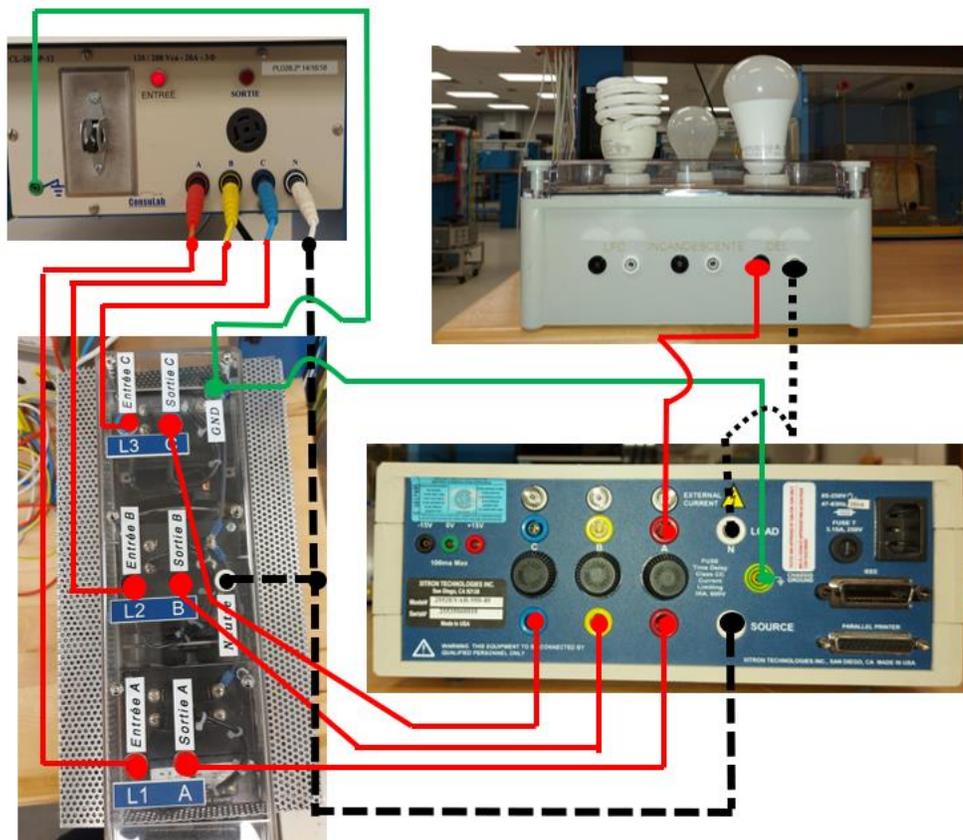


Figure 19. Schéma de montage pour l'expérience 4.

Consignes de sécurité pour cette expérience



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



DANGER : Assurez-vous que le curseur de l'autotransformateur triphasé est toujours à la position zéro.



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
- Mettre en ON l'analyseur de puissance Xitron 2553 si vous l'aviez éteint.
- Ajuster la tension aux bornes de la lampe à DEL 120 V.
- Compléter le **Tableau 4** pour la mesure du niveau d'éclairement à 1 m de la source (dans trois directions de votre choix), des caractéristiques électriques et des harmoniques de courants générées par la lampe DEL.

Tableau 5. Éclairement et harmoniques de courant de la lampe à DEL

ÉCLAIREMENT DANS 3 DIRECTIONS DIFFÉRENTES									
E_1 (lx)	E_1 (fc)	E_2 (lx)	E_2 (fc)	E_3 (lx)	3 (fc)	E_{moy} (lx) (par calcul)	(par calcul)	E_{moy} (fc)	par calcul
PUISSANCES ET FACTEUR DE PUISSANCE									
Tension en volts		Courant en ampères		Puissance P en watts		Puissance S en VA		Facteur de puissance	
HARMONIQUES									
Fondamental	2 ^e h	3 ^e h	4 ^e h	5 ^e h	6 ^e h	7 ^e h	8 ^e h	9 ^e h	10 ^e h



DANGER : Utiliser le bouton VERNIER de l'autotransformateur pour ramener la tension à zéro.



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

Ne pas défaire votre montage

Expérience 5 : Lampe à incandescence+ Lampe à DEL

Schémas

Dans cette expérience vous allez raccorder les lampes à incandescence (utilisée dans l'expérience 2) et la lampe à DEL (celle de l'expérience précédente) en parallèle comme montré sur la **Figure 20**.

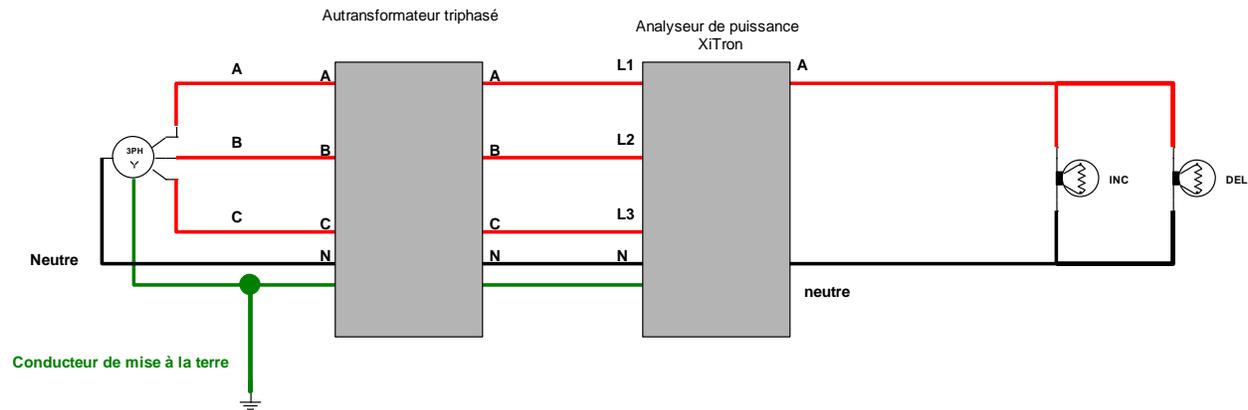


Figure 20. Schéma de principe pour l'expérience 5.

Le schéma de montage correspondant est montré sur la **Figure 21**.

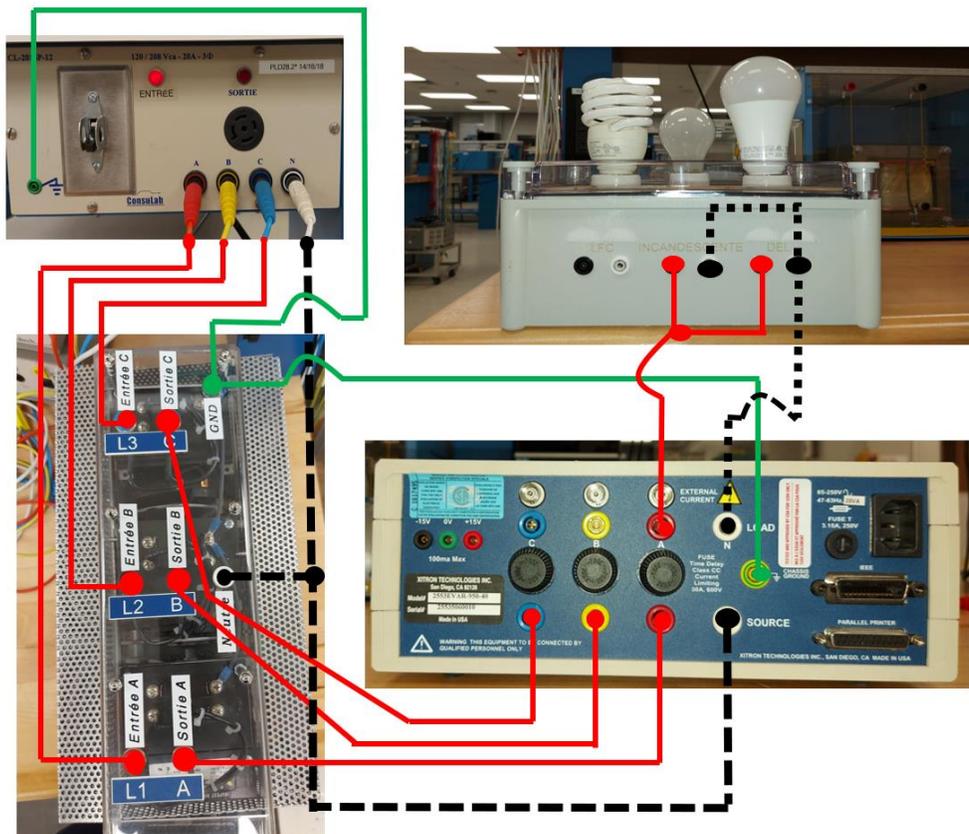


Figure 21. Schéma de montage pour l'expérience 5.

Consignes de sécurité pour cette expérience

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

 **DANGER** : Assurez-vous le curseur de l'autotransformateur triphasé est toujours à la position zéro.

 **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
- Mettre en ON l'analyseur de puissance Xitron 2553 si vous l'aviez éteint.
- Ajuster la tension d'alimentation des lampes à 120 V.
- Compléter le **Tableau 6** pour la mesure du niveau d'éclairage à 1 m du milieu des deux sources (dans trois directions de votre choix), des caractéristiques électriques et des harmoniques de courants générées par les deux lampes en parallèle.

Tableau 6. Éclairage et harmoniques de courant pour les lampes à incandescence et la lampe à DEL en parallèle.

ÉCLAIREMENT DANS 3 DIRECTIONS DIFFÉRENTES									
E_1 (lx)	E_1 (fc)	E_2 (lx)	E_2 (fc)	E_3 (lx)	3 (fc)	E_{moy} (lx) (par calcul)	E_{moy} (fc) par calcul		
PUISSANCES ET FACTEUR DE PUISSANCE									
Tension en volts		Courant en ampères		Puissance P en watts		Puissance S en VA		Facteur de puissance	
HARMONIQUES									
Fondamental	2 ^e h	3 ^e h	4 ^e h	5 ^e h	6 ^e h	7 ^e h	8 ^e h	9 ^e h	10 ^e h

 **DANGER** : Utiliser le bouton VERNIER de l'autotransformateur pour ramener la tension à zéro.

 **DANGER** : mettre le disjoncteur du panneau à la position « OFF » et défaire votre montage.

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 28 février à 18 h 30.