

## Les lampes au néon

Nous vous proposons quelques expériences simples réalisables avec une lampe au néon permettant d'illustrer les cours d'électricité aussi bien dans les collèges que dans les lycées.

Mais, avant d'aborder la description de ces expériences, une étude sommaire de la décharge dans les gaz nous a paru utile pour mieux comprendre le fonctionnement des lampes au néon.

### I. FONCTIONNEMENT DES LAMPES AU NEON

Lorsqu'on fait croître la différence de potentiel entre deux électrodes fixées aux extrémités d'un tube long rempli de gaz à basse pression (de l'ordre du millimètre de mercure) (fig. 1), les phénomènes physiques passent par plusieurs stades.

- En l'absence de différence de potentiel, tout gaz est faiblement ionisé par le rayonnement cosmique et la radioactivité ambiante. Un certain nombre de paires électron-ion positif sont créées, dans le même temps, un nombre égal se recombinaison, il existe donc un état d'équilibre avec une densité statistiquement constante de paires électron-ion. Si on applique une faible différence de potentiel, ces particules chargées de signes contraires se mettent en mouvement vers les électrodes et il apparaît un faible courant électrique. Ce courant tend à disparaître lorsqu'on place le tube dans une boîte en plomb ; les charges sont donc bien produites par des rayonnements ionisants, venus de l'extérieur. Si l'on fait croître la tension, l'intensité croît et atteint une limite, l'intensité de saturation avec une densité de courant de l'ordre de  $10^{-12}$  ampère-cm<sup>-2</sup>. A ce stade, toutes les particules chargées créées par les rayonnements ionisants parviennent aux électrodes. Il n'y a plus de recombinaison car la durée du déplacement vers les électrodes est trop courte pour que les paires aient le temps de se rencontrer.

- Si la tension croît davantage, un nouveau phénomène apparaît, l'ionisation par choc des molécules gazeuses. En effet, l'énergie cinétique des électrons accélérés par le champ électrique régnant dans le tube peut maintenant atteindre la valeur de l'énergie d'ionisation des molécules du gaz. De nouvelles paires sont ainsi créées, le gaz contenant davantage de charges libres devient plus conducteur et l'intensité croît à nouveau. Ce processus est particulièrement efficace avec les gaz rares car les

électrons libérés n'ont aucune tendance à se fixer sur les atomes dont la dernière couche est saturée. Ils restent ainsi libres au lieu de se fixer sur les molécules en formant des ions négatifs (comme dans l'oxygène par exemple). Après plusieurs chocs élastiques, ces électrons acquièrent donc de grandes vitesses d'où une énergie cinétique suffisante pour ioniser les atomes.

• Lorsque la tension augmente encore, les particules chargées atteignent des vitesses encore plus élevées et produisent une ionisation par choc sur les électrodes : l'impact des charges arrache des électrons au métal des électrodes. Sur l'anode, les électrons ainsi libérés sont immédiatement attirés par l'électrode et n'ont pas d'effet sur le gaz. Au contraire, le choc des ions positifs sur la cathode arrache des électrons qui viennent grossir le flot qui traverse le tube pour aller à l'anode. Le phénomène est donc différent aux deux électrodes et fera apparaître ultérieurement une dissymétrie entre l'anode et la cathode. Dans un premier temps, l'intensité croît avec la tension mais la lampe reste obscure car le nombre de recombinaisons est encore trop faible pour que la lumière produite par celles-ci soit visible. Pourtant, le nombre de charges libres augmente car les électrons « créés » à la cathode produisent sur leur chemin de nouvelles paires électron-ion. Si un électron fait apparaître  $k$  ions dans le gaz, ces ions arrivant sur la cathode arracheront  $\gamma k$  électrons nouveaux ; tant que la relation  $\gamma k < 1$  est vérifiée, le remplacement de l'électron n'est pas assuré, le rayonnement ionisant extérieur est toujours nécessaire à l'entretien de la décharge. Mais, la tension augmentant, la quantité  $\gamma k$  devient supérieure à 1, le nombre de charges libres est brusquement très grand ainsi que le nombre de recombinaisons, la lampe s'allume et l'intensité croît : c'est la décharge disruptive lumineuse maintenant auto-entretenu.

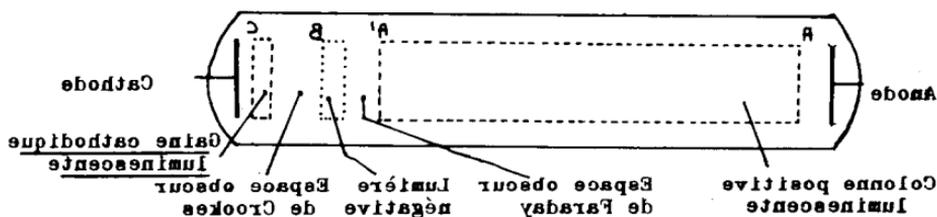


Fig. 1

- Entre A et A', la densité des charges de signes contraires est la même, le champ électrique est uniforme et faible,  $u_{AB}$  est faible.
- En B, la densité de charge positive est supérieure à la densité de charges négatives, ce qui annule le champ électrique.
- Entre B et C, le champ est intense car  $u_{BC}$  est peu inférieure à  $u_{AC}$ .

Dans un tube long (quelques décimètres à quelques mètres), l'aspect de la décharge disruptive varie tout le long de la colonne gazeuse (fig. 1). En effet, la mobilité des ions positifs étant très inférieure à celle des électrons, la densité des charges positives et des charges négatives n'est pas égale en tout point du tube et le champ électrique n'est pas uniforme. La lumière produite dans le tube par luminescence est froide, elle est constituée par des radiations du spectre du gaz, elle est donc colorée (rouge pour le néon), peu intense et ne peut donc servir à l'éclairage ; on l'utilise dans les tubes publicitaires. (\*).

Lorsqu'on diminue la longueur du tube, la colonne positive se raccourcit et finalement seule reste la zone cathodique. C'est-à-dire que dans les lampes au néon où la distance des électrodes est de l'ordre du millimètre, on distingue la cathode de l'anode par la gaine lumineuse qui apparaît sur la cathode. Dans cette région où le champ électrique est très intense, les particules sont violemment accélérées, il se produit beaucoup de chocs donc beaucoup de paires de charge et beaucoup de recombinaisons. La gaine cathodique ne recouvre pas entièrement la cathode, elle matérialise la partie de la surface de l'électrode traversée par le courant. Lorsque l'intensité augmente, la surface recouverte augmente car la densité de courant reste constante. Dans les petites lampes usuelles passent des courants de l'ordre de  $10^{-3}$  A qui peuvent, sans inconvénient, traverser le corps humain.

Dans le domaine de la décharge disruptive normale, la tension est une fonction décroissante de l'intensité (fig. 2) ; c'est-à-

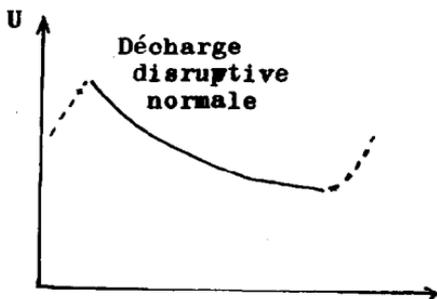


Fig. 2. — Caractéristique de la lampe.

(\*) Les tubes fluorescents utilisés pour l'éclairage contiennent de la vapeur de mercure dans laquelle se produit une décharge disruptive. Les radiations ultraviolettes émises par le mercure excitent un solide déposé sur les parois du tube. Par fluorescence, celui-ci émet des radiations de plus grandes longueurs d'ondes, donc dans le domaine du visible. Par un choix judicieux de la nature de ce revêtement, on obtient des sources de lumière blanche froide.

dire que la résistance de la lampe décroît plus vite que l'intensité ne croît. Pour obtenir un point de fonctionnement dans ce domaine, il faut donc ajouter une résistance de protection en série (fig. 3). Sinon l'intensité serait trop grande et des fragments

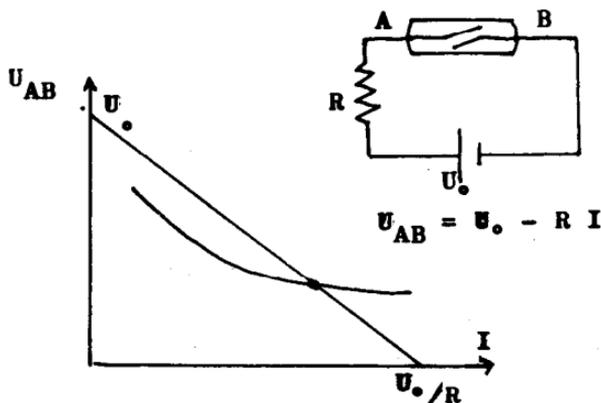


Fig. 3

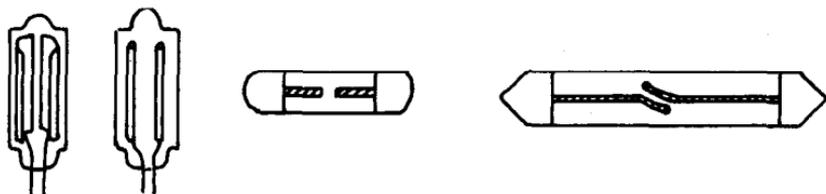
de la cathode seraient projetés dans la lampe et se déposeraient sur les parois. Si l'intensité était encore plus grande, l'échauffement de la cathode dû aux chocs des ions pourrait amorcer un régime d'arc électrique qui détruirait la lampe.

Annie LAVAL,

(Lycée Léonard-Limosin - Limoges).

## II. QUELQUES EXPERIENCES D'ELECTRICITE AVEC UNE LAMPE AU NEON

Les lampes au néon de petites dimensions que l'on trouve très facilement chez les marchands de composants électroniques ou dans certains appareils de contrôle en électricité (tournevis-testeur notamment) peuvent devenir des auxiliaires très précieux pour l'enseignement de l'électricité. En effet, leur faible coût permet d'équiper chaque groupe de manipulations et leur utilisation est très simple. Il est possible aussi de se procurer des lampes de plus grand format chez certains fournisseurs de matériel scolaire.



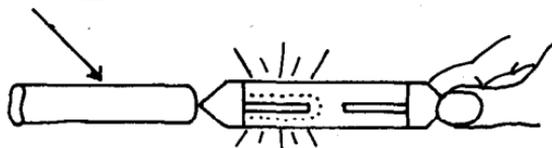
Lors d'expériences d'électrostatique, ces lampes peuvent être utilisées seules, sans aucun intermédiaire. Mais dans tous les autres cas, il est nécessaire de placer une résistance de protection (20 à 100 k $\Omega$ ) afin de limiter l'intensité qui traverse la lampe. En l'absence de cette résistance, l'expérience est très brève, un magnifique arc électrique s'amorce et les parois du tube se recouvrent de fragments d'électrodes.

La propriété remarquable de ce type de lampes est la formation d'une « gaine luminescente » autour de la cathode, comme on l'a vu précédemment.

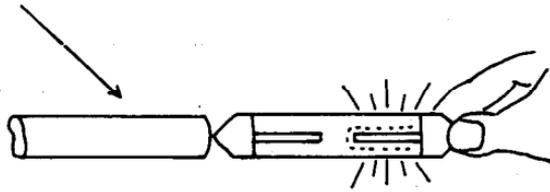
### 1) Utilisation pour déterminer le signe des charges électriques.

Pour réaliser ces expériences, on tient la lampe par une des électrodes ; celle-ci se trouve ainsi mise à la terre. Deux situations très nettes se présentent :

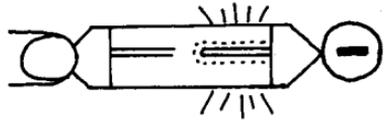
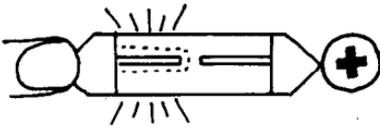
**Bâton d'ébonite frotté  
avec une peau de chat**



Bâton de plexiglas frotté  
sur du crylor

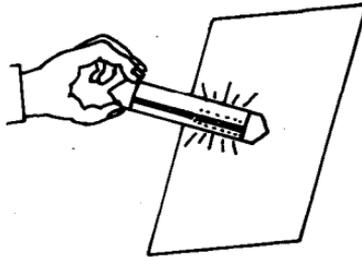


De façon générale :



## 2) Isolants et conducteurs.

\* Une feuille de plexiglas frottée avec du papier de soie se charge très facilement. En amenant la lampe en contact avec cette feuille, on constate que la lampe s'allume en différents endroits, là où il y a eu frottement : les charges sont localisées.

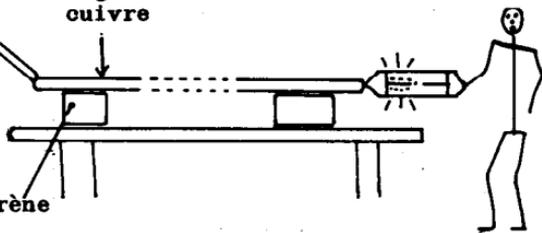


\* La conduction métallique peut être facilement mise en évidence.

Ebonite chargée  
négativement

Tige de  
cuivre

Blocs de polystyrène



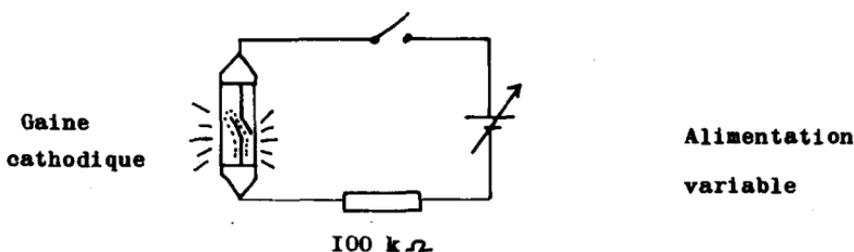
Il est possible de charger en un endroit la tige de cuivre, la lampe présentée en n'importe quel point s'allume. L'expé-

rience est aussi réalisable avec un conducteur électrique (avec gaine PVC) de plusieurs mètres (je réalise l'expérience avec 6 mètres de fil ; à une des extrémités, j'ai soudé une petite plaque de cuivre pour faciliter la charge avec le bâton d'ébène ou de plexiglas.

### 3) Utilisation dans un circuit électrique.

L'utilisation de ces lampes dans un circuit électrique nécessite l'utilisation d'une résistance de protection en série d'au moins  $20\text{ k}\Omega$ . En effet, l'intensité qui la traverse ne doit pas dépasser  $0,1\text{ A}$ .

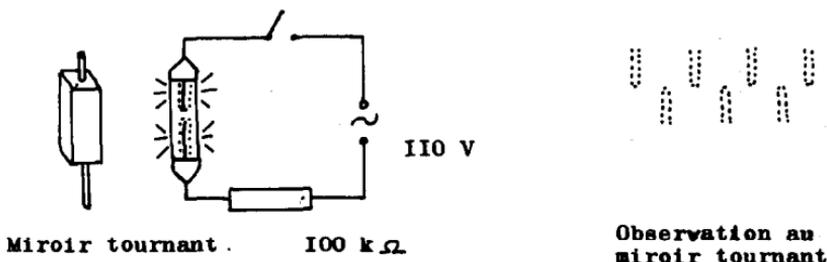
#### a) ALIMENTATION EN COURANT CONTINU.



En faisant varier la valeur de la tension d'alimentation, on constate que le phénomène de luminescence apparaît à la cathode. Ce phénomène apparaît aux alentours de  $70-80\text{ V}$ .

#### b) ALIMENTATION EN COURANT ALTERNATIF.

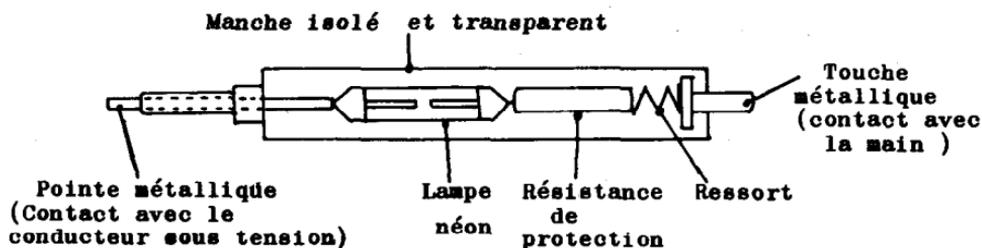
\* Cette fois-ci, la gaine lumineuse apparaît autour des deux électrodes, chacune des électrodes devenant alternativement cathode ; c'est le phénomène qui se produit lorsqu'on utilise un tournevis-testeur (cherche-phase).



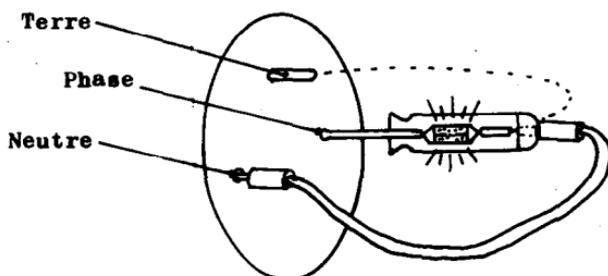
\* L'utilisation d'un miroir-tournant permet d'observer l'alternance des « gaines cathodiques » et d'en déduire la nature du courant.

Enfin, une des applications pratiques de ces lampes est le tournevis-testeur. A l'intérieur, la lampe est montée en série avec sa résistance de protection (plusieurs centaines de  $k\Omega$ ).

\* Afin de rechercher la phase, on amène le doigt en contact avec l'extrémité métallique du manche. La tension entre la phase et la terre permet à la lampe de s'allumer ; la résistance de protection limite l'intensité (une déviation pratiquement nulle est observée sur un contrôleur ordinaire utilisé avec le calibre le plus faible).



\* La lampe s'allume aussi entre la phase et le neutre, ainsi qu'entre la phase et la terre ou encore entre deux phases ; la luminosité est beaucoup plus forte, la résistance de la personne manipulant n'intervient plus. (Bien repérer la phase au départ et y laisser le tournevis-testeur, brancher ensuite le conducteur isolé.)



#### En conclusion.

Cette lampe au néon se révèle donc être un instrument particulièrement intéressant pour l'enseignement de l'électricité tant les possibilités d'utilisation sont nombreuses. Les expériences citées au cours de cet article en donnent un aperçu, mais il est possible de l'utiliser en lycée dans bien d'autres cas (condensateurs notamment).

Christian GIRAUD,  
(Collège André-Maurois - Limoges).