



**La lumière**

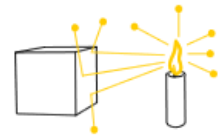
**qui fascine**

- La nature de la lumière
- Historique
- Qu'est-ce que la lumière ?
- Eclairage
- Prix moyen de l'électricité en Suisse
- Rentabilité
- Stratégie de marketing Landi
- Remarque finale

- La lumière comme énergie était la condition nécessaire au commencement de la vie. Nous prenons conscience de notre environnement grâce à beaucoup de sens, cependant la plupart des informations sont transmises par nos yeux. Nous voyons la lumière qui arrive dans nos yeux. Déjà dans l'Antiquité les érudits et les savants se sont efforcés d'énoncer une théorie valable universellement sur la nature de la lumière. Par ce biais on a découvert beaucoup de connaissances fondamentales, dont les théories sont généralement aujourd'hui désignées comme étant la physique moderne.
- 300 ans avant J-C, **Euclide** s'est efforcé dans ses écrits sur l'optique de mettre dans une forme mathématique exacte ses pensées sur ce thème. Sur ce, la théorie de l'optique géométrique fut fondée. Cette théorie dit que la lumière se dilate en forme de rayons sur des trajectoires rectilignes dans une pièce. La propagation de la lumière se laisse ainsi décrire géométriquement.
- A la fin du 17ème siècle avec la théorie de l'émission ou du corpuscule et la théorie de l'ondulation ou des ondes, nous avons deux conceptions contradictoires de la nature de la lumière.
- La propagation rectiligne de la lumière conduisit **Isaac Newton** (1643-1727) en 1675 à émettre la théorie de l'émission. Selon cette théorie, la lumière se compose de minuscules corpuscules ou particules, qui sont catapultés dans la pièce à partir d'une source de lumière et ce de façon rectiligne. Les petites particules de lumière peuvent rebondir sur des obstacles et ainsi changer la direction de leur trajectoire. Dans une large mesure la théorie des corpuscules reste associée à l'optique géométrique.



Euclide remarqua que la lumière se dilate de façon rectiligne et en forme de rayons dans la pièce.



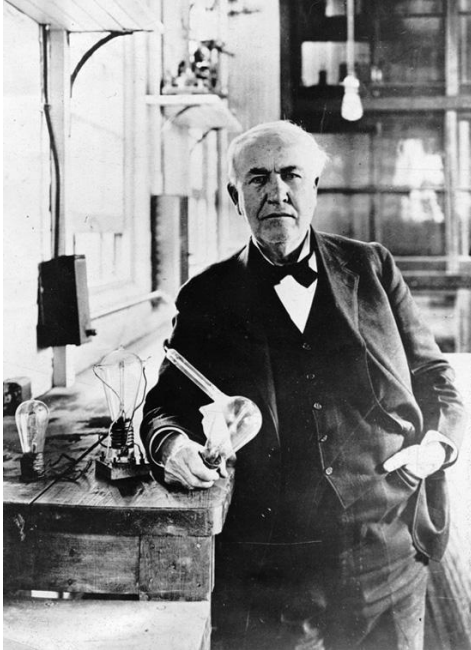
Selon Newton de minuscules particules rebondissent comme des balles sur les objets.

- En 1690 **Christian Huygens** (1629-1695) développa dans ses écrits *Tractatus de lumini* (Traité sur la lumière) une première sorte de théorie des ondes de la lumière. Aux alentours de 1800 **Thomas Young** (1773-1829) put démontrer la nature des ondes de la lumière. Comme le son, la lumière peut être considérée comme un phénomène d'ondes et la propagation de la lumière peut être décrite avec les lois sur la propagation des ondes qui sont universellement valables. Des phénomènes comme la diffraction, l'interférence et la polarisation de la lumière peuvent être expliqués par la théorie des ondes.
- La théorie des ondes fut reprise en 1815 par **Augustin Jean Fresnel** (1788-1827). Il interpréta la lumière comme une onde étant dans un milieu oscillant et élastique, l'éther. Bien que depuis, il a été prouvé que la reproduction d'ondes de lumière ne demande pas une telle matière, on en parle encore parfois aujourd'hui et on dit que les ondes sont envoyées à travers l'éther, lorsqu'il s'agit d'émissions radiophoniques. Cependant la théorie de l'éther mécanique fut réfutée déjà en 1864 par le mathématicien écossais **Clerk Maxwell** (1831-1879). La réfutation repose sur le fait que la lumière est représentée par un phénomène électromagnétique. Depuis la lumière visible est définie comme étant une zone relativement étroite d'un spectre vaste d'oscillations électromagnétiques.



La plupart des phénomènes s'expliquent par la dilatation de la lumière qui se fait en forme de vagues.

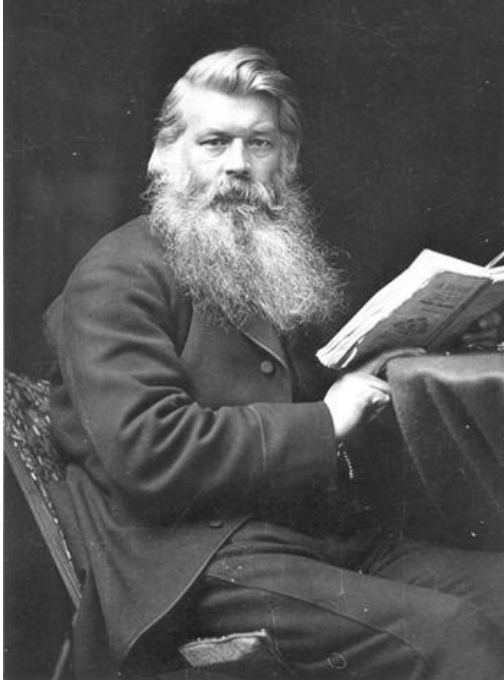
## Historique



Thomas Alva Edison

- Déjà en 1809, Humphry Davy présente une lampe à arc. Il est vrai que les lampes à arc sont par principe des lampes à gaz, cependant elles produisent une grande luminosité grâce à l'électrode en graphite ardent.
- Des sources prouvent l'existence d'une première lampe à incandescence avec un filament en platine sous une cloche en verre vide d'air dans les années 1820. L'origine et la datation de la lampe appelée "De-la-Rue-Lampe" ou aussi "De-la-Rive-Lampe" restent dans le flou.
- Plus tard on utilisera des filaments de carbone pour leur point de fusion plus élevé et leur meilleure efficacité lumineuse. Il faut tout de même noter que les filaments en bambou carbonisé brevetés par Edison en 1880 étaient particulièrement bien adaptés.

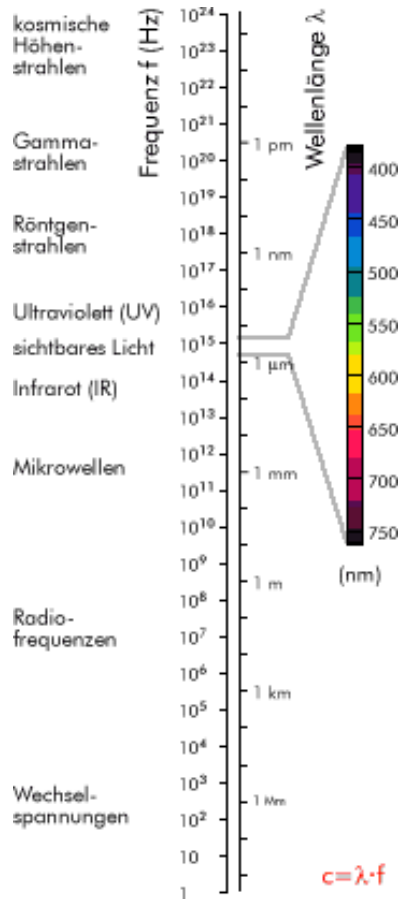
## Historique



Joseph Wilson Swan

- En 1872 Alexander Nikolayevich Lodygin obtient un brevet pour la lampe à incandescence avec un fin filament en carbone dans un piston en verre rempli d'azote. Dans les années 1890, il expérimenta avec différents filaments en métal. En 1906 Lodygin vendit un brevet concernant cette lampe à General Electric, où ce type de lampe est dès lors, et aujourd'hui encore, produit industriellement.
- Le physicien et chimiste anglais Joseph Wilson Swan développa en 1860 également sa lampe à incandescence pour laquelle il utilisa comme filaments du papier carbonisé, qu'il mit dans un piston en verre vidé de l'air. Il réussit seulement en 1878 à réaliser une lampe à incandescence électrique pratique et utilisable. Il équipa sa lampe à incandescence d'une monture spéciale, qu'on appellera la monture de Swan, qui au contraire de la lampe à vis d'Edison ne se dévissait pas lors de chocs dans les véhicules par exemple.

## Qu'est-ce que la lumière ?



Le domaine visible du rayonnement électromagnétique est mis en évidence sur le graphique. Les ondes courtes (370nm) sont violettes (même si la fin du spectre des ondes courtes est souvent marquée en bleu). Avec des longueurs d'ondes plus grandes la couleur change et passe du bleu, au vert, puis à l'orange et devient rouge à la fin du domaine visible des grandes ondes (750 nm).

- Pour expliquer la plupart des phénomènes, la lumière peut être définie comme une **onde électromagnétique**. Notre sensation pour les couleurs, la luminosité et autre phénomènes lumineux se rapporte aux ondes électromagnétiques, dont la fréquence se trouve dans le domaine visible. Les ondes qui ont d'autres fréquences n'ont aucune couleur. Elles sont dopées d'un nom, qui dit avant tout à quoi elles servent.
- L'**ensemble de la gamme de fréquences** des ondes électromagnétiques s'appelle le spectre électromagnétique. Cet ensemble s'étend sans interruption des grandes ondes, qui sont les plus pauvres en énergie, qui se laissent facilement reproduire avec des oscillations circulaires et qui peuvent être émises par les antennes (ondes radiophoniques), jusqu'aux rayons ultra durs et riches en énergie que sont les rayons X ou les rayons gamma du noyau atomique. Le **spectre de la lumière visible** ne comprend qu'un petit domaine. Il varie entre environ 370 nm (violet) et 750 nm (rouge), ce qui correspond à une fréquence de  $8 \times 10^{14}$  jusque  $4 \times 10^{14}$  Hz.

**p (pico-) =  $10^{-12}$  = 0,000000000001 (billionième)**

**n (nano-) =  $10^{-9}$  = 0,00000001 (milliardième)**

**$\mu$  (mikro-) =  $10^{-6}$  = 0,000001 (millionième)**

**m (milli-) =  $10^{-3}$  = 0,001 (millième)**

**k (kilo-) =  $10^3$  = 1000 (mille)**

**M (mega-) =  $10^6$  = 1000000 (million)**

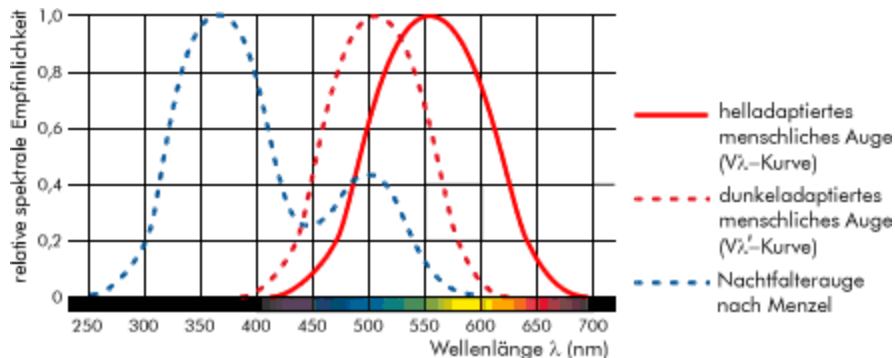
**G (giga-) =  $10^9$  = 1000000000 (milliard)**

Comme les longueurs d'ondes (le cas échéant les fréquences) des rayonnements électromagnétiques englobent un très grand domaine, elles sont données la plupart du temps à la puissance dix. Ainsi **555 nm** est la longueur d'ondes de la lumière verte.



## Unités et définitions

- On différencie **les unités physiques de rayonnements**, qui se rapportent à n'importe quelle longueur d'ondes et **les unités techniques de luminosité**, qui définissent la lumière visible par rapport à la sensibilité spectrale de l'œil humain.
- En ce qui concerne le **domaine visible**, pour l'évaluation du flux lumineux et l'intensité lumineuse on utilise les unités photométriques le **lumen (lm)** et la **candela (cd)**. Ces unités constituent l'évaluation du rayonnement par l'œil humain. Pour les autres domaines de longueurs d'ondes on utilise les unités physiques de rayonnement (par ex. watt/sterad etc.).



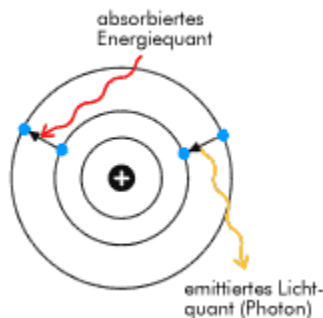
**En journée**, l'homme voit le mieux par environ **555 nm** (jaune-vert). **La nuit**, ce sont d'autres récepteurs qui réagissent dans l'œil humain. Ces récepteurs sont le plus sensibles dans le domaine de la lumière bleue. Nous voyons aussi dans le domaine de l'infrarouge (IR) jusqu'à 1100 nm des sources de lumière, dont nous pouvons sentir la chaleur. Nous pourrions également voir la lumière ultraviolette, si le cristallin n'absorbait pas cette lumière. Les personnes dont le cristallin a été retiré lors d'une opération, pour cause de cataracte, voient jusqu'à 300 nm. En revanche les insectes sont tout particulièrement sensibles à la lumière ultraviolette.

## Luminescence - Comment se forme la lumière

Selon le modèle atomique de Bohr, les électrons ne se déplacent pas autour du noyau à n'importe quelle distance, mais à une distance déterminée par des trajectoires caractérisées par une condition quantique, appelées trajectoires fixes ou permises ou trajectoires quantiques. Les électrons se déplacent sur ces trajectoires fixes sans rayonnement, c'est-à-dire sans perte d'énergie. Plus la distance par rapport au noyau est grande, plus le niveau d'énergie de l'électron est élevé.

Le passage d'une trajectoire à l'autre, appelé saut de l'électron ou saut quantique, se fait toujours avec une prise ou un dégagement de la différence d'énergie correspondante. Lors du passage à un seuil d'énergie moins élevé, la différence énergétique se fera sous la forme d'un dégagement d'un photon. L'absorption ou l'émission de rayonnement ne peut se faire que dans l'intervalle énergétique de la fréquence correspondante. L'énergie sera alors donnée en électronvolt (eV).

Les diodes électroluminescentes (LED) doivent avoir l'intervalle énergétique correspondant à la fréquence lumineuse désirée, qui va être reponcée par la recombination. La lumière à courtes ondes (bleue ou UV), les lumières émettant des LED doivent combler un plus grand espace d'énergie. Dans l'histoire des LED, on a recherché pendant longtemps un semi-conducteur adéquate.



Saut quantique avec prise (absorption) ou dégagement (émission) d'énergie quantique dans le modèle atomique de Bohr

Le processus d'émission suppose qu'au début l'atome est dans un seuil excité.

400 nm  $\hat{=}$  3,10 eV

500 nm  $\hat{=}$  2,48 eV

555 nm  $\hat{=}$  2,23 eV

600 nm  $\hat{=}$  2,07 eV

700 nm  $\hat{=}$  1,77 eV

# Eclairage

## Ampoule - Lampe

---



L'ampoule ou lampe à incandescence fait partie des plus anciennes sources de lumières électriques. Avec elle, on a à faire à une sorte d'émetteur de chaleur. A l'intérieur, le courant électrique va amener le fil en wolfram torsadé à incandescence.

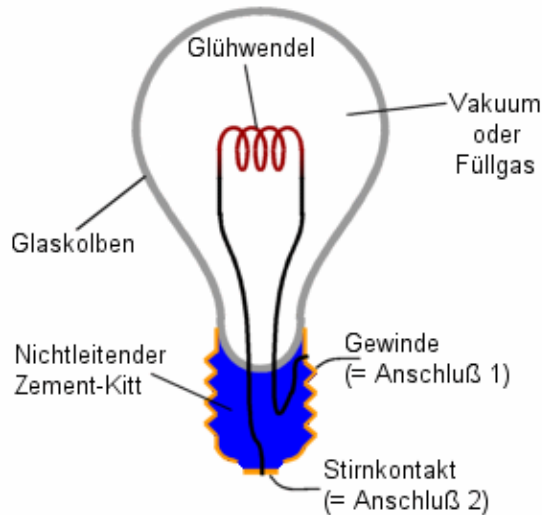
Dans une ampoule un conducteur électrique (le filament à incandescence ou le fil torsadé à incandescence) va être si fortement chauffé par un courant électrique (chaleur de joule), qu'il va devenir incandescent, c'est-à-dire qu'il émet des rayonnements thermiques.

L'énergie électrique prise ne va être qu'en partie émise sous forme de rayonnements électromagnétiques (principalement de l'infrarouge, de la lumière visible ainsi qu'un tout petit peu d'ultraviolet). Une partie va être transmise au gaz de remplissage et au ballon ainsi qu'au fils d'alimentation et de maintien du filament à incandescence torsadé par la conduction thermique et la convection de chaleur.

Le filament à incandescence émet un rayonnement avec une répartition des longueurs d'ondes qui correspond à la loi de rayonnements de Planck. Le rayonnement maximum se déplace avec la température croissante selon la loi de déplacement de Wien et se dirige vers des longueurs d'ondes plus petites. Pour garder un rendement lumineux le plus élevé possible et aussi pour que la lumière apparaisse le plus „blanc“ et le plus naturel possible, on cherche à déplacer le rayonnement maximum hors du domaine du rayonnement infrarouge à grandes ondes (rayonnement thermique) vers le domaine de la lumière visible par une augmentation de la température.

# Eclairage

## Ampoule - Lampe



- La température la plus élevée va être toutefois limitée par les propriétés du matériel du filament incandescent. Pour atteindre la température la plus élevée possible, on emploie aujourd'hui pour le filament incandescent le métal qui a la plus haute fusion, le wolfram (température de fusion  $(3422 \pm 15 \text{ }^\circ\text{C})$ , autrefois on employait l'osmium ou le carbone. Cependant, même avec ce matériau, on n'atteint pas la température souhaitée qui donnerait une luminosité proche de celle de la lumière du jour et dont la valeur serait d'environ 6200 K, car le wolfram à cette température est déjà à l'état gazeux (température d'ébullition  $5660 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Même si cela réussissait, le rendement lumineux s'élèverait à moins de 15%, à cause de la large bande de grandes ondes émises.

• Dans la pratique, avec les températures atteintes dans les lampes à incandescence, qui sont d'environ de  $2300$  à  $2900^\circ\text{C}$ , on n'obtient pas de lumière de jour, ni de lumière blanche ; c'est pourquoi la lumière des lampes à incandescence est toujours fortement plus jaune-rougeâtre que blanche ou comme la lumière du jour. D'autres sources de lumières pour pièces d'habitation (par ex. les lampes à énergies d'économie et autres lampes d'éclairage) vont être adaptées à cette température de couleur des lampes à incandescence. Cette couleur est décrite ici comme „ton chaud“.

# Eclairage

## Spot halogène - Lampe halogène



Par l'apport d'halogènes, on va faire de la lampe à incandescence normale une lampe halogène. Les lampes halogènes sont jusqu'à 50 pour cent plus claires et ont une longévité deux fois plus grandes que les éclairages conventionnels.

L'ajout de l'halogène au brome ou au iode augmente la durée de vie de 2.000 jusqu'à 4.000 heures – pour une température d'utilisation d'environ 3.000 K. Les dites **lampes halogènes** atteignent un rendement lumineux d'environ 25 lm/W (en comparaison avec une lampe à incandescence courante environ 15 lm/W, une lampe à énergie d'économie 60 lm/W).

Le iode réagit (avec l'oxygène restant) avec les atomes de wolfram évaporés du filament à incandescence et il stabilise une atmosphère qui contient du wolfram. Le processus est réversible : à haute température la liaison se décompose par pyrolyse et les éléments se subdivisent à nouveau en leurs éléments – les atomes de wolfram se condensent sur ou à proximité du filament à incandescence torsadé. Des petites différences de température le long du filament torsadé ne jouent qu'un petit rôle dans la décomposition. L'idée, que le wolfram se déposerait exclusivement dans la fine zone surchauffée du filament torsadé, est fautive. Un effet secondaire de cette réflexion, qui serait intéressant, serait de penser que le filament à incandescence dans sa partie la plus fine se réparerait de lui-même. En réalité, la condensation des atomes de wolfram se fait dans la partie la plus froide du filament torsadé - la barbe se forme. Le principe est celui du transport chimique, que l'on retrouve d'une manière semblable dans le procédé Van-Arkel-de-Boer.

# Eclairage

## Spot halogène - Lampe halogène

---

L'ajout d'halogène évite des précipitations de wolfram sur le ballon par une température du verre de plus de 250 °C. Comme il n'y a pas de noircissement du ballon, celui d'une lampe halogène peut être réalisé d'une façon très compacte. Le petit volume rend possible une pression de service plus élevée, qui réduit ainsi le rejet de vapeur d'évacuation du filament à incandescence. C'est ainsi qu'on obtient finalement l'effet de prolongation de longévité pour les lampes halogènes. Cependant le procédé halogène va être réduit par un gradateur pour lampes halogènes, car la température nécessaire ici n'est plus atteinte.

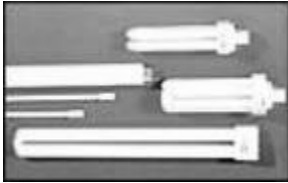
Le petit volume rend possible, pour la réduction de la conduction thermique, le remplissage avec des gaz rares lourds pour des coûts abordables. Les impuretés sur le verre (par exemple des traces de doigts après la manipulation du verre) se carbonisent lors de la mise en service et cela mène à des augmentations de température locales, qui peuvent amener le ballon à éclater. Des restes de sels peuvent contribuer aussi à une dévitrification, comme noyau de cristallisation et peuvent ainsi causer des dommages.

La haute température du ballon nécessaire ne permet qu'un petit type de construction, pour réduire le dégagement de chaleur dans l'air ambiant, et l'utilisation de verre de quartz, qui résiste aux températures élevées.

Les conduites électriques hermétiques aux gaz sont réalisées par les ballons en verre de quartz des lampes halogènes à incandescence et aussi par les brûleurs en verre de quartz des lampes à gaz au moyen de bandes de film de molybdène.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

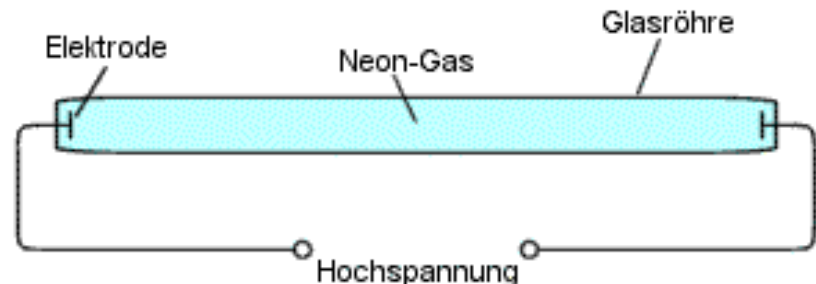


Le tube néon - ou plus correctement la lampe fluorescente - est très économique. Il n'a besoin que d'un cinquième de l'électricité d'une ampoule à incandescence et éclaire plus de 12.000 heures.

Le **tube au néon** est une lampe à gaz à basse pression, qui est recouvert à l'intérieur d'un agent lumineux fluorescent.

La vapeur de mercure sert comme gaz de remplissage (émission de rayonnement ultraviolet) et en supplément la plupart du temps de l'argon. Le rayonnement ultraviolet est transformé par le revêtement de l'agent lumineux en lumière visible.

Les lampes néon sont des lampes à gaz de construction très simple. Elles se composent de d'un tube fin et clair en verre, qui possède à chaque extrémité une électrode. Ce tube en verre est rempli à pression basse avec du néon, un gaz rare. Si on met les électrodes sous tension, une tension qui doit être assez élevée, quelques dizaines de milliers de volts, on un courant électrique faible se met en route.





# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

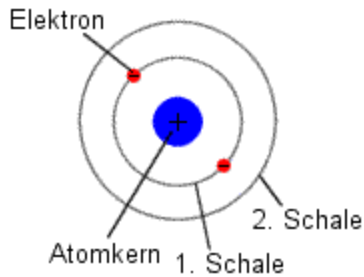
---

Les électrons, qui vont d'une électrode à l'autre, rentrent en collision avec les atomes de néon, auxquels ils donnent de l'énergie cinétique comme une bille le ferait, ainsi les atomes se frôlent les uns les autres avec une certaine vitesse. En faisant cela, un électron d'un atome de néon va être détourné sur une autre orbite qui se trouve à l'extérieur et qui a un niveau d'énergie plus haut, comme illustré sur le croquis 2 à l'aide d'un atome d'hélium, qui est représenté comme un gaz rare de construction simple (nous avons pris l'hélium, pour ne pas vous embrouiller avec beaucoup d'électrons qui ne participent pas à la formation de la lumière ; car le néon en possède 10, 2 sur la première orbite et 8 sur la deuxième). Si un électron est éjecté de son orbite, il ne peut que sauter sur une orbite qui est à l'extérieure, comme illustré sur le croquis 2. Il ne peut pas circuler à n'importe quelle distance du noyau de l'atome. Cela est justifié dans la physique quantique, qui est malheureusement trop compliquée pour être expliquée de façon simplifiée.

Dans la plus grande majorité des collisions, l'énergie dégagée suffit pour catapulter un électron sur la deuxième orbite. Celle-ci a un niveau d'énergie, qui est supérieur exactement d'une valeur au niveau d'énergie de la première orbite. Cependant de là, l'électron va tout de suite être attiré par la première orbite du fait de l'attraction électrostatique. Mais l'électron doit restituer une quantité d'énergie définie par la différence entre l'orbite 2 et l'orbite 1. Les causes physiques sont les mêmes pour les lampes à incandescence. Ici aussi la différence d'énergie va être restituée sous forme de photons, c'est-à-dire sous forme de lumière.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente



A la différence des lampes à incandescence, l'énergie restituée est toujours exactement la même, parce que la différence des niveaux d'énergie entre 2 orbites est également exactement la même. La conséquence est un spectre de raies avec exactement une seule raie. Sous certaines conditions, les électrons ne peuvent pas seulement être catapultés sur la prochaine orbite, mais ils peuvent être catapultés directement sur la deuxième plus proche orbite avec un niveau d'énergie encore plus élevée. De cette façon nous obtenons d'autres raies. Pour le néon, de la lumière rouge/orange va être émise. D'autres gaz rares, comme l'argon ou le krypton, émettent également de la lumière visible et sont souvent utilisés pour les écritures de publicités lumineuses.

La production de la haute tension n'est pas vraiment bon marché. D'un autre côté, on peut former les tubes mince en verre, presque de toutes les manières que l'on le désire, avant le remplissage de gaz rares. Les écritures de publicités lumineuses sont le domaine d'utilisation préférée. Pour d'autres éclairages, les néons et autres lampes à gaz remplies de gaz rares sont à l'inverse moins bien adaptés.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Les lampes fluorescentes sont construites de façon semblable que les néons. Toutefois la lumière blanche désirée est composée d'un mélange d'innombrables couleurs de lumière, alors que les lampes à gaz émettent un spectre de raies avec un nombre limité de longueurs d'ondes (bien souvent une seule). Pour arriver à la lumière blanche, on doit prendre un autre chemin. On utilise un tube en verre vidé de son air, qui ne contient qu'une quantité infime de mercure. Le mercure émet de la lumière ultraviolette dont la longueur d'onde se situe entre 185 et 254 nm, quand on le bombarde d'électrons, comme on l'a décrit ci-dessus. Cette lumière ultraviolette va rencontrer un agent lumineux, qui recouvre la paroi interne du tube. Cet agent lumineux absorbe la lumière ultraviolette et ne la laisse pas passer vers l'extérieur, cependant il va être stimulé à éclairer par la lumière ultraviolette.



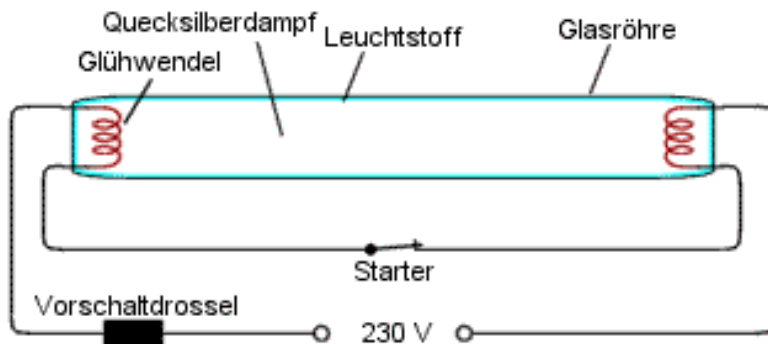
Les agents lumineux n'émettent pas non plus un spectre continu. Avec le mélange de plusieurs agents lumineux, on peut toutefois réussir qu'un spectre presque continu soit émis.

En outre on réussit à produire de la lumière blanche chaude ou froide par un mélange adapté. La qualité de l'approche du spectre continu de la lumière du soleil, le cas échéant de la lumière de la lampe à incandescence, dépend fortement de la qualité la lampe fluorescente. Les lampes fluorescentes de grande qualité, qui ne se trouvent pas, c'est vrai, dans tous les magasins de bricolage, émettent une lumière qui se rapproche très fortement de la lumière du soleil.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

Alors que pour les lampes à incandescence et aussi les néons, on doit simplement allumer l'électricité, pour que de la lumière soit immédiatement émise, cela n'est pas possible pour les lampes fluorescentes en utilisation dans le réseau de tension courant de 230 V. Car sans autres mesures concernant la haute tension, l'électricité ne peut circuler dans le tube, et donc par conséquent aucune lumière ne peut être émise. Les lampes fluorescentes doivent faire plus, comme on dit elles doivent être allumées pour qu'un courant électrique circule dans la tension de réseau. C'est dans ce but que des électrodes ont été installées à chaque extrémité du tube, comme filament torsadé à incandescence. Au moment de la mise en marche, le contact fermé du starter rend possible un courant électrique dans les deux filaments torsadés à incandescence, comme il est représenté sur le croquis 4.

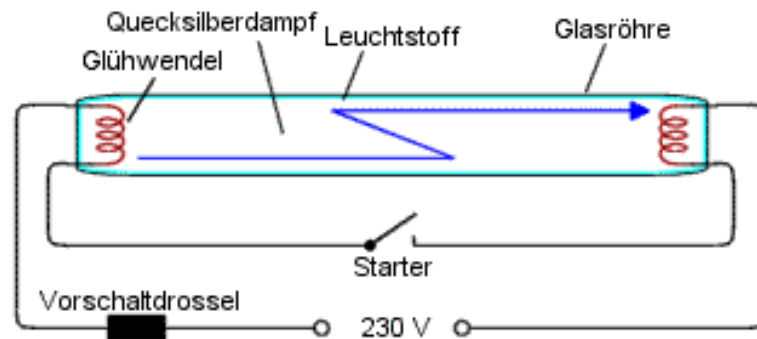


A travers le filament torsadé de chauffe on obtient deux choses : premièrement avec la chaleur un peu de mercure s'évapore et deuxièmement les électrons peuvent beaucoup plus facilement sortir d'électrodes qu'elle soient froides ou chaudes. Ces deux états de chose sont importants pour le processus suivant celui de l'allumage. Car lorsque le contact du starter s'ouvre typiquement environ entre de 0,5 et 2 s, la résistance veut garder le courant électrique, comme la fonction de l'induction d'arrêt le veut (=bobine/inductance).

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

Le contact du starter est toutefois ouvert, si bien que le courant électrique est interrompu ici. La tension monte ainsi soudainement, jusqu'à ce qu'une étincelle apparaisse quelque part, pour que le courant électrique puisse être maintenu. Le trajet voulu en l'occurrence est à travers le tube, mais on le facilite relativement en faisant chauffer par le courant. Car les filaments torsadés incandescents, qui sont maintenant sans électricité, continuent à être incandescents un bon moment après, si bien que les électrons peuvent s'en dégager relativement facilement, et que la vapeur de mercure ne se répercute pas soudainement. Le tube s'allume avec une tension de l'ordre de 1000 V, c'est-à-dire d.h. c'est-à-dire qu'il se produit un courant électrique d'une électrode à l'autre. Une fois allumé, on n'a plus besoin d'une grande tension. C'est pourquoi tout de suite après l'allumage la tension baisse, c'est ce qu'on appelle la tension d'allumage d'environ 100 V. En outre le courant électrique est maintenu, bien que les filaments torsadés de chauffe se refroidissent doucement.



# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Par le courant électrique à travers le tube, les atomes de mercure vont être amenés à éclairer. Le principe est le même que par exemple pour les néons. Dans notre cas, la lampe s'échauffe un peu, si bien que la totalité du mercure dans le tube va s'évaporer lentement et va participer activement à la production de lumière. C'est pour cette raison que cela dure quelques minutes jusqu'à ce que la lampe fluorescente atteigne sa clarté maximale. Par ailleurs cela devient compréhensible pourquoi les lampes fluorescentes s'allument difficilement à basses températures ; car dans ce cas, malgré le processus de chauffe relativement peu de mercure va s'évaporer, parce que les tubes sont plutôt longs et les filaments torsadés de chauffe ne se trouvent qu'aux extrémités.

La résistance, qui était responsable lors de l'allumage de la production de la haute tension, remplit en outre une autre fonction en dehors de la phase de l'allumage : elle limite le courant dans le tube et ce à une valeur autorisée. Comme il s'agit d'une inductance, cela se passe théoriquement sans perte. En pratique, dans une résistance d'environ 9 W, pour un tube courant de 36 W, 9 W restent dans l'air et vont être tout simplement transformés en chaleur. Ainsi la performance de prise totale s'élève dans ce cas à environ 45 W et non 36, comme on pourrait le supposer par ce qu'il est noté plusieurs fois sur le tube.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Malheureusement, lors de la procédure d'allumage il y a souvent des problèmes : Le starter bilame, que l'on rencontre dans la grande majorité, ouvre le contact à n'importe quel moment. Ce qui serait idéal, quand le maximum en électricité se produit pour qu'une étincelle d'allumage riche en énergie soit induite. Il n'est pas rare que cela se passe au mauvais moment, c'est-à-dire quand l'électricité est à son plus bas niveau, si bien que le tube s'éclaire un court moment mais s'éteint aussi vite après. Un remède est le starter dit électronique, qui ne coûte pas plus de 2,50 euros dans la plupart des cas et qui vaut l'argent dépensé, parce qu'il n'allume pas seulement le tube lors du premier essai mais en outre il réduit également l'usure des filaments de chauffe torsadés par la réduction des cycles de chauffe produite et augmente ainsi fortement la longévité du tube.

Par ailleurs les tubes fluorescents sont en règle générale exploités avec du courant alternatif à basses fréquences, c'est-à-dire que dans le cas du 50 Hz courant, l'électricité revient tous les centièmes de seconde à zéro et change de polarité. Juste avant le passage à zéro la tension est si faible que le tube s'éteint et refroidit le mercure ionisé. Lorsque le tube est froid, le refroidissement peut être si fort qu'il ne s'allume pas lors de la prochaine demi-onde, dans laquelle il devrait normalement se rallumer aussitôt lorsque la tension est là. C'est pourquoi que bien souvent plusieurs essais de départ sont nécessaires, jusqu'à ce que le tube éclaire de manière stable.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Dans les bureaux on met souvent en service des systèmes de hautes fréquences, qui travaillent dans la plupart des cas avec des fréquences allant de 35 à 40 kHz. A cause du temps considérablement raccourci à la suite des fréquences beaucoup plus élevées, le mercure peut se pratiquement pas refroidir lors du passage à zéro, si bien que le tube se rallume immédiatement de façon fiable. Le temps de préchauffage peut aussi être plus court, si bien que presque juste après la mise sous tension le tube donne de la lumière. En outre les pertes dans la boîte de résistance sont largement moindres que dans une résistance conventionnelle. Le désavantage si on compare avec une résistance est le prix beaucoup plus élevé.

En raison de leur part de mercure, les lampes fluorescentes de toutes les formes ne sont pas sans poser problème. En aucun cas on ne doit casser les tubes pour le mettre à la poubelle, car le mercure même en petite quantité fortement dangereux pour la santé. Les lampes fluorescentes appartiennent impérativement aux déchets dangereux et ne doivent être en aucun cas jeter dans la poubelle ménagère, même si pour cela on ne doit pas le casser. Car de toute façon, il arrivera un moment lors de sa mise aux déchets où il cassera et où le mercure se répandra dans l'environnement ou même dans la nappe phréatique. Bien souvent on peut redonner les tubes défectueux à l'endroit où on en achète de nouveaux.



# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Les lampes fluorescentes sont beaucoup répandues, surtout comme tube droit. Les lampes appelées lampes à économie d'énergie sont également disponibles. Dans celles-ci un ballast électronique avec un ou plusieurs tubes fins pliés est installé, si bien qu'on peut les utiliser à la place des lampes à incandescence normales. Le grade d'efficacité des lampes fluorescentes est d'environ 8 à 15 % plus élevé que celui des lampes à incandescence, cependant il faut distinguer les lampes longues avec un grand diamètre qui ont un grand degré d'efficacité des courtes avec des petits tubes (« lampes à économie d'énergie »). La couleur de la lumière, surtout des lampes fluorescentes bon marché, est souvent ressentie comme n'étant pas naturelle. En outre le scintillement des tubes conventionnels fonctionnant avec une résistance dérange. La lumière des lampes fluorescentes qui sont construites de manière simple et ainsi bon marché, sont bien adaptées pour les plantes, dans la mesure où la relation entre la lumière bleue et la rouge est favorable, ce qui vaut pour les tubes avec la couleur de lumière « blanc froid ».

Il y a malheureusement une histoire qui est très répandue et qui dit qu'il faudrait changer régulièrement les lampes fluorescentes, parce que leur degré d'efficacité baisserait après 6 ou 12 mois de la moitié. Cela voudrait dire que pour une même consommation d'électricité, on n'obtiendrait encore que la moitié du courant de lumière, ce qui voudrait dire que seule la moitié de la quantité de lumière est émise. Il est vrai que des lampes fluorescentes toutes neuves émettent plus de lumière que des plus anciennes, mais la différence sur un temps donné ne doit pas donner plus que 10 % et en outre se stabilise dans cette ordre de taille. Le déroulement exact est contenu normalement dans les feuilles de données du producteur correspondantes. Ainsi on peut utiliser en règle générale une lampe fluorescente jusqu'à la fin de la durée de fonctionnement. Seul celui qui compare virtuellement très exactement l'électricité consommée par le courant de lumière faiblissant, changera ses tubes par des neufs après environ 4 ou 5 ans de durée d'utilisation pour une utilisation de 12 heures par jour. Comme éclairage d'hiver, qui ne sera utilisé que 4 mois dans l'année, cela n'a pas beaucoup de sens de penser à un renouvellement avant l'écoulement de 12 à 15 ans.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

Le rendu de couleur des lampes est défini par l'index de rendu de couleur  $R_a$ .

La composition colorée de la lumière des lampes fluorescentes est déterminée principalement par la composition du revêtement du verre pour une part, mais aussi par les lignes d'émissions primaires du gaz de remplissage et de leur entrée à travers l'agent luminescent et le verre. Le recouvrement d'agent luminescent se compose de poudre cristalline (surtout des oxydes organiques), qui dans le cas d'un revêtement d'agents luminescents à 3 bandes contient des traces de cations de lanthanide bi ou trivalents, lesquels selon le lanthanide employé et son système d'intercalation sous-jacent produisent des lumières différentes. Ces lumières donnent de façon additive la couleur de la lumière du tube. Les éclairages standards se basent sur le système appelé l'halo phosphate de calcium dont la formule générale est  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F},\text{Cl}) : \text{Sb}, \text{Mn}$ , cependant la couleur de température différente sera obtenue par la variation de la concentration des deux semi-conducteurs le manganèse (Mn) et l'antimoine (Sb).

La température de lumière dépend également de la température ambiante. Les néons habituels sont faits pour des températures ambiantes d'environ 20 °C, à cette température ils ne chauffent pas au-dessus de 35 °C. Si cette température est largement dépassée, l'argon comment à éclairer plus fortement et le néon émet plus de lumière infra-rouge. Pour des utilisation en extérieur et dans des installations frigorifiques, il existe des néons spéciaux pour environnements à basses températures.

# Eclairage

## Néon - Lampe fluorescente

---

La couleur de la lumière des lampes est d'une grande importance pour la qualité de vie dans la pièce. De ce fait les couleurs de lumière sont classées en fonction des différents types de travaux et lieux de travail. Selon la norme DIN5035, la lumière blanche est répartie en trois domaines de températures de couleur :

<b>Diminutif</b>	<b>Dénomination</b>	<b>Température de couleur</b>	<b>Utilisation</b>
ww	Blanc chaud / warm white	< 3300 K	Salles de conférence et bureaux, pièces publiques et pièces d'habitation
nw	Blanc neutre / cool white	3300 K bis 5300 K	Ecoles, bureaux, ateliers, salles d'exposition
tw	Lumière du jour / day light	> 5300 K	Remplacement de la lumière du jour dans les pièces fermées et pour les utilisations techniques

La couleur nw est le plus souvent employée. Dans une même pièce, il faut toujours utiliser la même couleur de lumière.



L'ampoule à économie d'énergie produit de la lumière selon le même principe que celui des néons. Mais grâce au cintrage du tube en verre, il a été possible de construire la lampe à économie d'énergie en lui donnant une forme très compacte.

Dans les tubes à cathodes chaudes (lampes fluorescentes, lampes à énergie d'économie), un filament de chauffe est monté à chaque extrémité. Un revêtement adapté réduit le travail de sortie des électrons, pour que le filament de chauffe, à des températures modérées, émette assez d'électrons. Lors du processus d'allumage, les deux électrodes vont d'abord être traversées par le courant électrique pour les chauffer. Ensuite le système d'allumage entre les électrodes va libérer à proprement dit la tension électrique. C'est une tension alternative, c'est pourquoi les deux électrodes sont effectives respectivement et en alternance pendant une demi-période en tant qu'anode (électrode positive) et cathode.

Ce déchargement de tension précipite les électrons, qui se sont regroupés autour du filament de la cathode, dans un champs électrique en direction de l'anode. Lors de leur déplacement dans le tube, les électrons rentrent en collision avec les atomes de mercure. Ainsi le gaz va être ionisé (ionisation par collision) et un plasma se constitue au sein du tube en verre.

Par le déplacement des ions et des électrons provoqué par les électrodes, le réchauffement des cathodes va maintenant subsister par le courant de décharge lui-même et le courant de chauffage pour les cathodes n'est plus nécessaire.

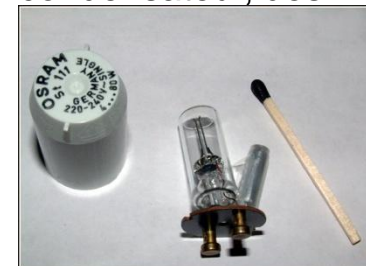
### Allumage et exploitation avec un ballast conventionnel

Un ballast se compose d'un dispositif élévateur de tension bobine (résistance pour 50 Hz), un **starter** en supplément est indispensable. Il est installé proche de la lampe ou dans certaines lampes fluorescentes il est intégré dans celle-ci.

### La bobine d'arrêt

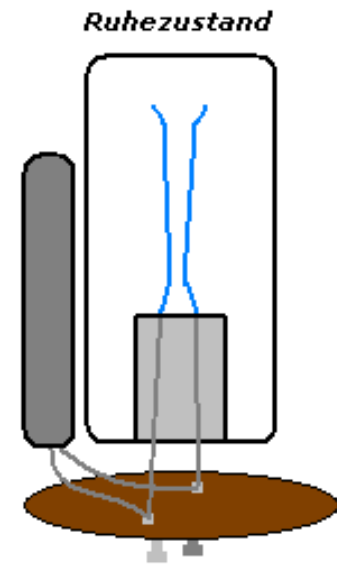
La lampe fluorescente travaille elle-même avec une tension d'exploitation de 55 V et elle nécessite une résistance de série, pour limiter l'électricité qui traverse le tube lorsqu'il est en marche. Elle a une caractéristique « décroissante ». Cela veut dire que la tension faiblit, lorsque l'électricité augmente. Sans résistance de série, l'électricité monte trop fort et le tube explose. Dans une tension alternative, il faut utiliser à tout prix, soit un condensateur, soit une bobine avec une réactance adaptée pour éviter un dégagement de chaleur inutile. Une inductance d'arrêt peut produire la tension nécessaire à l'allumage du tube, lorsqu'elle est allumée parallèlement au tube. Avec l'utilisation d'un condensateur, des connexions compliquées sont nécessaires.

La bobine de résistance est également appelé « ballast conventionnel ». Elle a pour un tube de 58-W une perte de puissance d'environ 12 W. « Des ballasts pauvre en perte » sont un développement, ils sont très rares et ont une perte d'environ 5 W. Les condensateurs ne causent presque aucune perte et sont pour cela employés dans les lampes compactes.



Starter

L'illustration à droite montre un starter glimm ouvert. A gauche vous voyez le boîtier et à droite une allumette pour avoir une idée de la taille. Le starter provoque l'allumage. Il est branché parallèlement au tube et contient dans sa réalisation traditionnelle une lampe glimm, dont les électrodes sont des lames bimétalliques (voir illustration à droite) et qui se réchauffent lorsque le dégagement est brûlé. La tension d'allumage de la lampe à dégagement est déterminée de telle manière à ce qu'elle soit inférieure à la tension d'exploitation du néon. Parallèlement à la lampe à dégagement on a un condensateur de sécurité, que l'on voit sur l'illustration à droite à côté de la lampe à dégagement. Lors de l'ouverture du contact il limite la vitesse de montée de la tension et veille à diminuer les émissions dérangeantes du dégagement de gaz de la lampe, lorsque la lampe est allumée.



On différencie les starters pour les exploitations simples (un néon unique de 4 - 65/80 Watt) et les starters qui ont une exploitation dite en tandem (deux éclairages avec la plupart du temps 2 néons à 18 Watt qui sont allumés par une résistance en ligne). Un starter pour exploitation simple ne peut être utilisé pour une lampe en tandem - les contacts de la lampe à dégagement ne se referment qu'après plusieurs minutes ou pas du tout. Cependant un starter en tandem peut être employé pour des néons simples qui ont une puissance jusqu'à 20 Watt. Les tubes avec beaucoup de watts ne peuvent s'allumer que de façon faible - Le tube scintille de façon permanente. Cependant il est possible qu'il s'allume pour quelques secondes et qu'il s'éteigne à nouveau, parce que la lampe à dégagement est faite pour des tensions, le cas échéant des puissances électriques plus basses, et donc le dégagement de gaz ne peut être maintenu.

Si un néon défectueux ne s'allume plus, alors il arrive qu'il se produit un dégagement de gaz permanent par les starters glimm en raison d'un fusible manquant. Les contacts de la lampe à dégagement se referment et après un essai d'allumage infructueux ils se rouvrent un court moment pour se refermer à nouveau. Cela produit également un scintillement permanent de l'éclairage. Cela prend fin lorsque le filament de chauffe dans le tube brûle. Le starter s'use de ce fait rapidement.

Les starters atteignent avec le temps un stade où ils ne sont plus ou presque plus utilisables. Pour les starters il y a trois raisons possibles de défaillance. En premier lieu, cela peut être le condensateur de sécurité qui a sauté. Alors le starter fait du bruit et ensuite ne s'allume plus, car un ou plusieurs contacts ont été endommagés. Bien que la lampe glimm bien souvent ne soit pas endommagée, le starter doit être changé. Une deuxième raison de défaillance est que les électrodes soient collées l'une à l'autre. Dans ce cas le circuit électrique est en permanence fermé, comme si à la place du starter on avait simplement un câble de liaison. Le néon est en permanence en chauffe et les électrodes lumineuses s'usent beaucoup plus à leurs extrémités. Dans ce cas le starter doit également être changé.

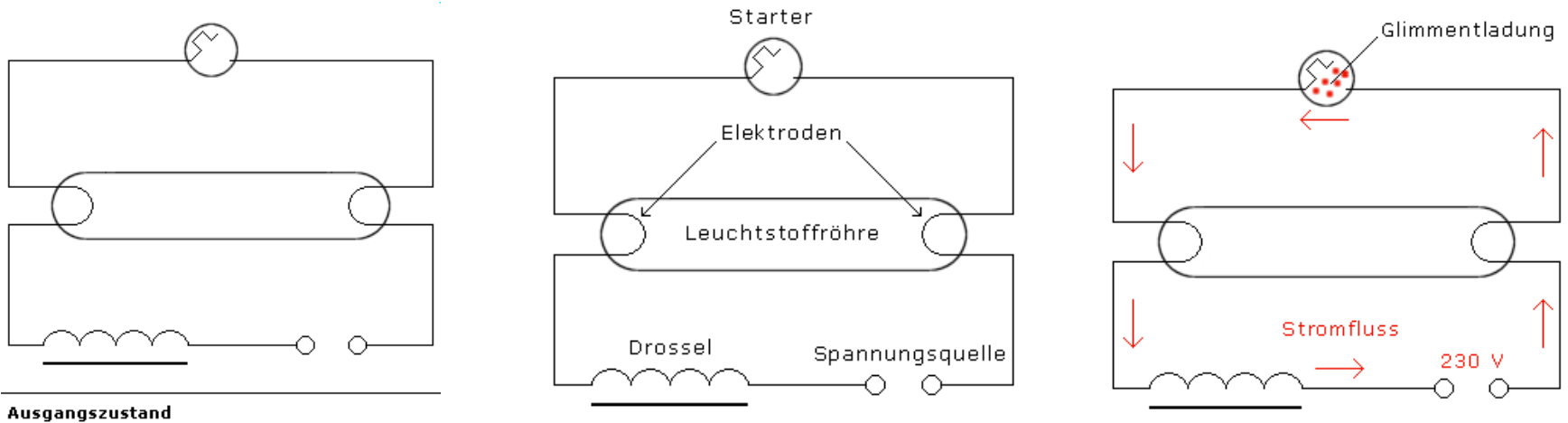
Une troisième possibilité de défaillance est que le gaz de remplissage à l'intérieur du tube en verre a été complètement ou en partie absorbé par du métal recouvert d'un revêtement par pulvérisation cathodique. Alors les starters ont besoin, soit de beaucoup de temps pour refermer le contact dans la lampe glimm (une très grande « brillance » du starter avant que la résistance ne commence à bourdonner), soit les impulsions d'allumage deviennent très faibles ou rares, ce qui fait que les néons avec un nombre de watts élevés ne peuvent plus être allumés.



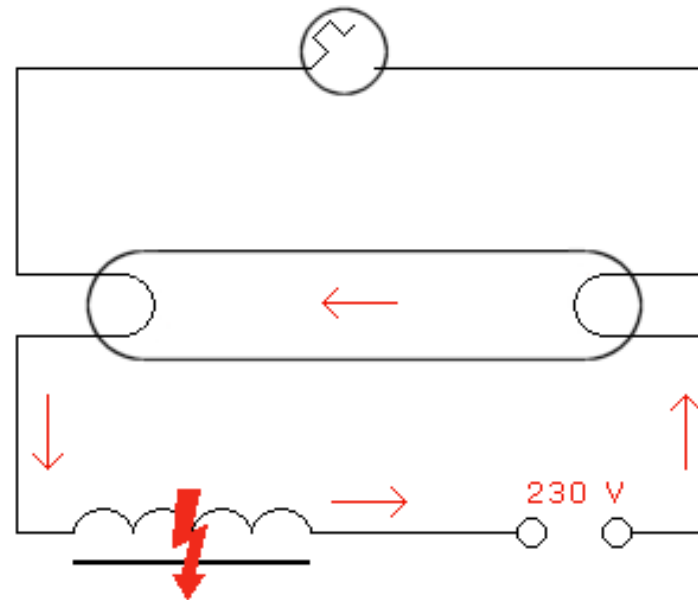
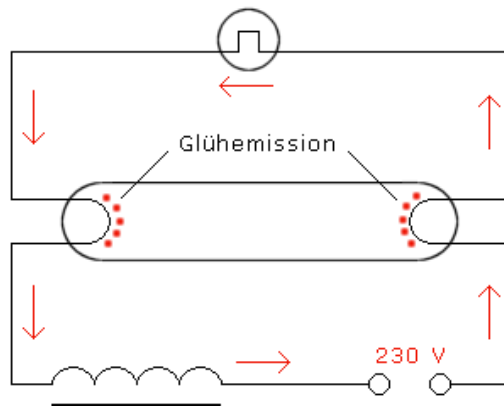
Si un néon en état de marche est chauffé par un starter défectueux plusieurs heures durant, alors il perdra une bonne partie de sa longévité qui lui restait (reconnaissable par des extrémités noires). Un tel néon peut encore, bien souvent, être allumé, cependant le processus d'allumage par les électrodes chargées demande relativement beaucoup de temps. Il faut aussi noter que juste après le processus d'allumage, il donne beaucoup moins de lumière qu'un éclairage intacte et scintille beaucoup plus fort (ce que l'on reconnaît facilement chez les lampes à trois bandes avec un nombre de watts  $\geq 36$  Watt). Comme les tubes, après un certain temps se réchauffent par les extrémités, ils brillent souvent bien plus clair que dans la partie du milieu, on a une sorte de « trou dans le courant de la lumière ». Un tel néon n'atteint plus sa pleine luminosité, s'il l'atteint, ce n'est qu'après un long moment.

- Le préchauffage de la cathode est obtenu par le courant alternatif comme dans les starters conventionnels. Les cathodes deviennent légèrement incandescentes. Après un court moment de 1 à 3 secondes (cela dépend du modèle), le starter s'ouvre (de manière idéale dans le maximum du courant électrique), ce qui produit une tension d'induction élevée dans la résistance, qui va allumer le néon.
- Le courant de la résistance est redressé, de cette manière, en raison de la saturation de la résistance, il est par rapport au starter conventionnel plus élevé. Et ainsi la lampe va s'allumer en moins d'une demi-seconde. L'inconvénient de cette méthode est le bruit de la résistance : si celle-ci est en métal, alors lors de la phase d'allumage, on peut entendre un bourdonnement très bruyant.

La boîte de résistance électronique effectue le processus d'allumage elle-même.  
 Si après le processus d'allumage un néon ne s'est pas allumé, c'est que bien souvent il est défectueux.  
 La plupart du temps, une des cathodes ne fonctionne pas, pendant une demi-onde aucun courant ne passe dans la lampe, si bien que le starter doit à nouveau allumer alors que la tension est maintenant plus élevée.



L'illustration 1 montre la structure schématique d'un néon, branché à un starter bimétallique et une bobine de résistance. Le processus d'allumage se passe ainsi dans ce cas : après le branchement, toute la tension du réseau est supportée par le starter, puisqu'aucun courant ne passe dans le néon. La lampe glimm du starter allume (voir illustration 2).



Les lames bimétalliques s'échauffent et se déforment, si bien que les deux contacts sont fermés un court moment. Maintenant beaucoup d'électricité passe par les filaments de chauffe dans le néon et la bobine de résistance. Les filaments torsadés commencent à devenir incandescents et envoient des électrons, qui vont enrichir le gaz dans le verre du tube avec des éléments porteurs de charge (voir illustration 3).

Le dégagement de glimm dans le starter, qui maintenant manque, laisse le bimétal se refroidir, ce qui permet au contact de s'ouvrir à nouveau. Comme la lampe glimm et le néon qui n'est pas encore allumé ont une résistance élevée, le courant électrique va très vite baisser dans la bobine d'arrêt et par une auto-induction une très haute tension va être produite pendant un court moment, ce qui va allumer le gaz enrichi en porteurs de charges dans le tube (voir illustration 4). Le courant ne passe que dans le gaz ionisé du tube.

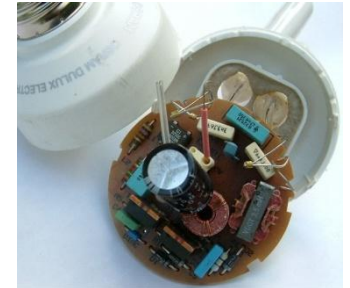
Comme le tube est exploité avec du courant alternatif, il peut arriver que lors de l'ouverture du contact bimétallique le courant momentanément dans la résistance soit trop bas pour produire la tension d'allumage nécessaire. Alors le processus d'allumage recommence depuis le début, en provoquant le dégagement de glimm et en réchauffant le bimétal. C'est pourquoi l'allumage se déroule la plupart du temps de façon irrégulière et que le tube scintille souvent une ou deux fois avant qu'il ne s'allume complètement.

Après l'allumage, la tension d'exploitation se répartit entre le tube et la résistance de telle façon à ce qu'une tension suffisante (entre 50 V et 110 V) subsiste pour maintenir l'éclairage. Cette tension est trop basse pour la lampe glimm du starter, un autre allumage ne se produira pas. Maintenant cette tension suffit pour produire un nouveau processus d'allumage après chaque changement de direction du courant électrique, car le gaz est suffisamment ionisé et les électrodes sont chauffées.

## Exploitation avec un ballast électronique

La disposition du ballast et du starter peut être remplacée par un ballast électronique. L'illustration montre le montage pour une lampe compacte (« lampe à économie d'énergie »). Ensemble avec le condensateur à filtrage (le condensateur à électrolyse, les grands cylindres verticaux), le redresseur (petit élément de montage noir avec l'inscription „+ -“ sur le condensateur) produit du courant continu. Les deux transistors bipolaires verticaux, à gauche du condensateur à filtrage la transforment en une tension alternative à haute fréquence d'environ 40 kHz, qui entraîne un circuit oscillant en série LC (résistance avec inscription „3.5 mH“ et un des condensateurs dans les boîtiers rectangulaires en plastique) avec les agents lumineux de la lampe comme charge. Le petit transformateur, composé d'un noyau en ferrite avec 2x3 et 1x5 spires, sert de commande du demi-pont qui vient des deux transistors. Dans les boîtiers de lampe qui ont un ballast intégré, une sécurité y est aussi couramment intégrée.

L'allumage de la lampe fluorescente intervient après un préchauffage, qui est réglé sur une valeur par la fréquence de mesure du demi-pont. Cette valeur commande le circuit oscillant en série dans sa résonance, ce qui conduit à une haute tension par la lampe. Cette tension permet un allumage de la lampe fluorescente qui dure. Après l'allumage l'impédance de la lampe retombe sur sa valeur d'exploitation, ce qui provoque des tensions d'exploitation dans la lampe.



Par rapport à un ballast conventionnel, les ballasts électroniques ont quelques avantages qui diffèrent selon leur montage :

- presque pas de mauvais rendement (appareils avec correcteur de facteurs de rendement)
- perte de rendement très basse dans le ballast et la lampe (économie jusqu'à 30 %)
- allumage fiable et rapide
- exploitation sans scintillement, sans effet de stroboscope, ainsi on peut également l'employer sur des machine à rotations
- reconnaissance de défaillance et mise en arrêt lorsque la lampe est défectueuse
- très peu de bruits (pas de bourdonnement de réseau)
- adaptation de la tension, par ex. 154...254 V DC en cas d'exploitation du courant de secours et 220...240 V AC en cas d'utilisation du réseau normal.
- exploitation avec du courant continu à bas voltage (par exemple 24 ou 12 V). Ces ballasts peuvent être exploités avec des accumulateurs et sont ainsi adaptés à l'utilisation dans des véhicules, des bateaux ou au jardin.

Le rendement de perte d'un ballast pour une lampe fluorescente de 58 Watt est d'environ de 4 à 6 W, donc bien moindre que pour celui d'un ballast conventionnel (résistance de 50 Hz ; environ 8 à 12W). Le prix d'un ballast électronique est par rapport à celui d'un ballast conventionnel plus élevé. L'économie d'énergie va être atteinte parce que la haute fréquence du courant alternatif (entre 10 et 100kHz) laisse aux atomes ionisés moins de temps pour se mettre en combinaison avec les électrons libres. La conductivité du plasma diminue ainsi moins pendant les pauses où la tension passe à zéro, que pour les fréquences de 50 Hz des ballasts conventionnels. Cet effet est appelé gains HF. Le fait que les lampes fluorescentes continuent à éclairer après leur arrêt, contribue aussi à réduire la phase sombre lors du passage à zéro de la tension.

Pour évaluer la consommation d'énergie, les ballasts électroniques vont être classés comme les autres appareils électriques dans les classes d'efficacité énergétiques de l'index d'efficacité énergétique (EEI). Le EEI prend en considération aussi bien la prise de puissance du ballast électronique que la luminosité de la lampe. Au sein de cette classification les bons ballasts électroniques atteignent la classe « A2 ». Le degré d'efficacité d'un ballast électronique peut atteindre jusqu'à 95 %.

Les ballasts à variateur peuvent faire varier le courant électrique de la lampe, pour atteindre ainsi une régulation de la luminosité de la lampe (par ex. 3 % jusqu'à 100 % de luminosité). En cas de luminosité moindre la prise de puissance du ballast électronique est pour ainsi dire très basse, ainsi les ballasts à variateur peuvent être classés dans la classe « A1 » du EEI.

## **Ballast électronique à brancher**

Les éclairages avec des ballasts conventionnels pour des tubes T8 peuvent être équipés de ballasts électroniques à brancher sur des tubes T5 plus courts et de puissance moindre. Ces ballasts électroniques vont être branchés comme un ensemble d'adaptateurs de chaque côté entre le tube et l'ancien boîtier de l'éclairage. Ils fournissent une exploitation sans scintillements des tubes T5 et économisent jusqu'à 50 % des coûts d'électricité. Comme les tubes T5 sont de nature plus efficaces, le courant électrique reste presque identique. Lors de l'adaptation le ballast conventionnel reste dans le circuit électrique, ce qui réduit le degré d'efficacité par rapport aux lampes qui ont un ballast électronique intégré. Le starter de l'éclairage conventionnel va être remplacé lors de l'adaptation par une jonction (de même forme de montage, cependant avec un branchement court-circuité).

Les ballasts électroniques à brancher sont également en partie à variateur.



## Efficiencie

Les lampes fluorescentes atteignent un éclairage d'environ 50 à 100 lumen par watt (pour comparaison : une ampoule normale : environ 15 lm/W) et ont ainsi une efficacité d'énergie élevée qui n'est dépassée que par les lampes à vapeur de sodium - mais elles ont un index de rendu de couleurs plus mauvais.

Les lampes fluorescentes économisent ainsi par rapport aux ampoules de 75 à 80% d'énergie. Dans les installations de mesure, les nouvelles lampes fluorescentes vont être utilisées d'abord entre 100 et 200 heures, la vraie mesure va être faite entre 10 et 20 minutes (cela dépend du type) après leur mise en marche.

Toutes les lampes fluorescentes atteignent leur pleine puissance lumineuse quelque temps après qu'elles aient été allumées. Cet effet se remarque particulièrement bien chez les lampes fluorescentes compactes (par exemple les lampes à économie d'énergie), car celles-ci atteignent leur pleine tension d'exploitation après qu'elles aient chauffées.

À la luminosité qui est de 4 à 6 fois plus élevée que chez une ampoule il faut confronter le prix d'achat beaucoup plus élevé.

La comparaison se fait particulièrement bien pour les lampes à économie d'énergie, qui peuvent être directement vissées dans la douille d'une ampoule. Pour comparer la lumière électrique on peut remplacer une ampoule de 60 watts par une lampe à économie d'énergie de 12 watts.

## Longévité

Les lampes fluorescentes ont la caractéristique d'avoir une longévité élevée, qui se limite par l'absorption du mercure par les composants de la lampe, qui se fait par la dégradation de l'agent luminaire et - pour les tubes à cathodes chaudes - par la longévité des cathodes à incandescence.

Les lampes fluorescentes communes (T8) ont en fait une longévité d'utilisation de 3-4000 heures, aux alentours d'un an. Une lampe fluorescente moderne (Osram Lumilux T5, 14-80 W) avec un ballast électronique atteint une longévité de 18.000 heures. Une lampe fluorescente compacte atteint une durée d'utilisation lumineuse qui est la plupart du temps entre 5.000 et 15.000 h (pour comparaison : des ampoules conventionnelles ont une durée de vie d'environ 1.000 heures). Après cette période les tubes devraient être changés, parce qu'ils n'émettent plus que 80% de la lumière électrique d'origine. Pendant cette période, les lampes se sont rentabilisées par les coûts d'électricité réduits. De nouveaux agents luminaire permettent une exploitation jusqu'à la défaillance des cathodes, alors elles ne fournissent plus que 80 % du courant électrique d'origine.

Ce qui est important pour la longévité des lampes fluorescentes : - le moins possible de processus de mise en marche –

- un démarrage de chauffe de chaque côté avant la mise en marche (si cela ne se fait que d'un côté, cela limite fortement la longévité)
- une bonne filtration du réseau (il se trouve sur le certificat de contrôle VDE du ballast électronique)

Les lampes fluorescentes (cathode chaude) ne sont adaptées que sous condition à des mises en marche à répétition et des courtes durée d'allumage de moins de 10 minutes, une telle sorte d'exploitation use les cathodes. Les nouveaux types de lampes à économie d'énergie sont une exception. Grâce à une commande de la phase de préchauffage, elles ne sont plus réglées pour moins de 10.000 mises en marche mais pour 100.000 mises en marche.

Les lampes fluorescentes compactes avec un ballast intégré (les dites lampes à économie d'énergie) sont souvent défectueuses car le ballast électronique tombe en panne ; celui-ci est très sensible aux hautes températures dans son environnement, ce qui dans un éclairage fermé amène à des pannes précoces.

---

## « Scintillements » et « effet de stroboscope »

La lumière s'éteint avec des ballasts conventionnels dans la zone de chaque passage au zéro, cela est dû au courant alternatif de 50 Hz. Il se produit des phases claires-foncées au rythme de 100 Hz (« scintillement »), qui peuvent donner l'impression d'un effet stroboscope, ce qui peut se faire remarquer lors de mouvements rapides ou chez les machines de travail à rotations, où dans ce cas on a l'impression que la machine marche au ralenti ou ne marche pas du tout.

Cela a été prouvé, l'œil humain se fatigue beaucoup plus vite avec ce scintillement.

Un remède est un montage en duo ou pour les installations plus importantes une alimentation avec un courant alternatif à 3 phases (courant triphasé), ainsi plusieurs lampes émettent leur lumière selon des phases décalées.

Les ballasts électroniques (même les ballasts électroniques à brancher qui équipent les lampes T8 avec des ballasts conventionnels pour utiliser des tubes T5 de moindre rendement sont proposés) fournissent une lumière presque sans scintillement, car ils utilisent des tubes avec du courant alternatif d'une haute fréquence pour éviter l'effet stroboscope et réduire la taille de montage de la résistance.

Les lampes à économie d'énergie ont aujourd'hui normalement un ballast électronique et ainsi ne scintille presque pas.

## Recyclage

Le mercure dans les lampes fluorescentes est nocif pour l'homme et l'environnement, tout comme le revêtement des tubes. En outre les éléments rares utilisés sont relativement chers et peuvent être réutilisés, c'est pourquoi les lampes fluorescentes qui ne servent plus ne doivent pas être mis dans la poubelle ménagère ou dans les containers pour verres usagés. Au sein de l'Union Européenne, le recyclage des lampes fluorescentes et autres éclairages est réglementée par la directive WEEE.

Les lampes fluorescentes provenant des ménages privés peuvent être données dans les lieux de collectes (déchèterie). Le règlement pour les lampes fluorescentes provenant du domaine commercial est différent selon les états membres de l'union Européenne. En Allemagne la reprise doit se faire par le producteur, mais en quantité raisonnable elles peuvent être rapportées dans les lieux de collecte publics. Cela est réglementé par ElektroG.

---

## „Smog électronique“ et tolérance électromagnétique

En principe les lampes fluorescentes et les éclairages construits pour ces lampes, comme tous les appareils électriques courants que l'on trouve dans le commerce ne doivent pas dépasser les valeurs limites de la tolérance électromagnétique. Cela est documenté par un signe CE apposé sur les appareils. Ainsi les troubles d'émissions sont limités à une certaine mesure, et le dérangement d'autres appareils est acceptable (parce qu'il est minime ou de courte durée).

Liste des perturbations possibles :

-les lampes avec un ballast électronique produisent un rayonnement à bandes larges et à haute fréquence grâce à l'inverseur sensible qui se trouve à l'intérieur. Ce rayonnement est émis par la lampe et ses transmissions. Mais ce qui est décisif, ce sont les fréquences de travail qui sont la plupart du temps juste en-dessous de 50 kHz, ainsi que les ondes superficielles (ondes harmoniques).

- Les lampes fluorescentes avec un ballast conventionnel émettent également un spectre de perturbations très large dans le domaine des moyennes ondes radio. Entre autre les récepteurs radio pour les grandes, moyennes et petites ondes peuvent être dérangés.

-Le processus d'allumage des lampes fluorescents conventionnelles peut également perturber les installations audio - l'impulse perturbateur généré à bande larges s'étale sur les conduites du réseau et arrive la plupart du temps par différents chemins dans les conduites de signaux et dans les amplificateurs. La mesure la plus efficace contre cela et aussi contre les perturbations à bandes larges dans l'exploitation est le dit antiparasitage proche dans l'éclairage (condensateur dans le starter glimm) ou un filtre de réseau avant l'éclairage ou l'appareil dérangé.

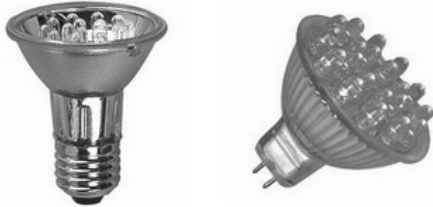
-Les écrans à tube cathodique (CRT) peuvent être perturbés par le champs magnétique de 50 Hz de la résistance conventionnelle - ballast.

- Il peut arriver parfois que la lumière produite par un ballast électronique perturbe les récepteurs IR (télécommande) d'appareils d'agrément car les fréquences de travail sont semblables.

Le smog électronique est un terme pseudo scientifique, qui comprend les rayonnements non ionisés (ondes radio) et les champs aussi bien électriques que magnétiques et leur effets nocifs supposés sur la santé. Les ballasts conventionnels en particulier produisent un champs magnétique dont la fréquence est de 50 Hz.

Les effets du smog électronique sur la santé sont très contestés. (voir smog électronique)

# Eclairage LED



Les diodes d'éclairage appartiennent aux émetteurs de luminescence électrique. Elles sont des diodes semi-conductrices, qui émettent de la lumière après avoir laissé passer la tension en marche avant, qui vient de la couche protectrice. Elles se basent sur des liaisons de semi-conducteur.

La production de rayonnements se produit chez les LED par la recombinaison de couples de porteurs de charges dans un semi-conducteur avec une distance adaptée entre les bandes.

La distance entre les bandes et ainsi la longueur d'ondes de la lumière est déterminée par le choix du matériau du semi-conducteur en relation avec le matériau adapté ayant subi une dopage.

La diode d'éclairage sert à la production d'un (en comparaison avec le rayonnement de température) rayonnement en bandes très minces proche des UV, dans le domaine visible ou de l'infrarouge. Le principe des diodes laser repose sur le même concept que celui du LED. Les diodes de luminescence sont modulables jusque dans le domaine du MHz (électronique optique) et nécessitent seulement une basse tension. Au contraire du filament torsadé à incandescence, ils sont sensibles aux chocs mécaniques, ils n'ont pas de corps creux qui peut imploser. La taille de la surface lumineuse varie d'environ 10-3mm<sup>2</sup> à 4mm<sup>2</sup>. On a alors pratiquement une source lumineuse faite de points.



## Eclairage LED

	III	IV	V	VI
3e ve s <sup>2</sup>	10811 5 B Bor (BeO) <sup>2+</sup>	12011 6 C Carbone (BeO) <sup>2+</sup>	14007 7 N Azote (BeO) <sup>2+</sup>	15999 8 O Oxygène (BeO) <sup>2+</sup>
4e ve s <sup>2</sup>	26985 13 Al Aluminium (BeO) <sup>2+</sup>	28086 14 Si Silicium (BeO) <sup>2+</sup>	30973 15 P Phosphore (BeO) <sup>2+</sup>	32064 16 S Soufre (BeO) <sup>2+</sup>
5e ve s <sup>2</sup>	69723 31 Ga Gallium (BeO) <sup>2+</sup>	726 32 Ge Germanium (BeO) <sup>2+</sup>	74876 33 As Arsenic (BeO) <sup>2+</sup>	7896 34 Se Sélénium (BeO) <sup>2+</sup>
6e ve s <sup>2</sup>	11482 49 In Indium (BeO) <sup>2+</sup>	11871 50 Sn Étain (BeO) <sup>2+</sup>	12175 51 Sb Antimoine (BeO) <sup>2+</sup>	12760 52 Te Tellure (BeO) <sup>2+</sup>

Le plus souvent ils représentent les semi-conducteurs III/V, qui se composent des éléments du 3ème et 5ème groupe du système périodique, parce qu'ils ont des distances entre les bandes adaptées et parce que leur structure de bandes permet une recombinaison efficace et rayonnante. A cela appartiennent des matériaux comme la phosphure de gallium (GaP), l'arséniure de gallium-aluminium (AlGaAs) ou le nitrure de gallium-indium (InGaN).

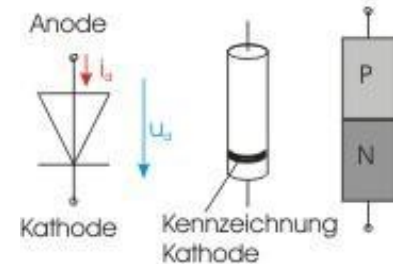
## Eclairage LED

### Mode de fonctionnement de la diode - diode lumineuse

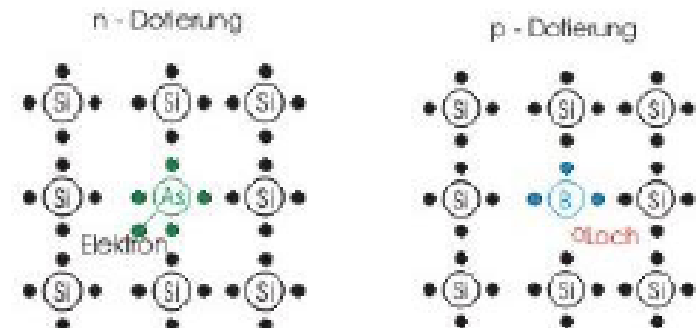
La **LED (Light Emitting Diode)** correspond en principe au montage d'une diode et va être exploitée en marche avant.

Les diodes émettent principalement lors de la recombinaison des ondes, seulement jusqu'ici elles étaient dans le domaine de l'infrarouge et en outre elles étaient absorbées par le matériau transparent. Vers 1963, ce phénomène a été pour la première fois utilisée pour la production de signaux. A droite vous pouvez voir le croquis du circuit P-N de la diode et son montage représenté.

Diode



Une jonction **P-N** se produit par l'assemblage l'un à l'autre de deux semi-conducteurs dopés différents. Un semi-conducteur est caractérisé par le fait qu'il a quatre électrons sur la trajectoire électrique extérieure. Ainsi il peut parfaitement se lier avec quatre autres atomes. Mais malheureusement alors il n'y a pas de porteur de charge libre qui pourrait permettre un courant électrique.



## Eclairage LED

Mais si on souille un semi-conducteur comme le **silicium** avec un atome qui a cinq électrons sur sa trajectoire extérieure, on a ainsi un électron pour le courant électrique disponible. De tels atomes sont appelés **donateurs**.

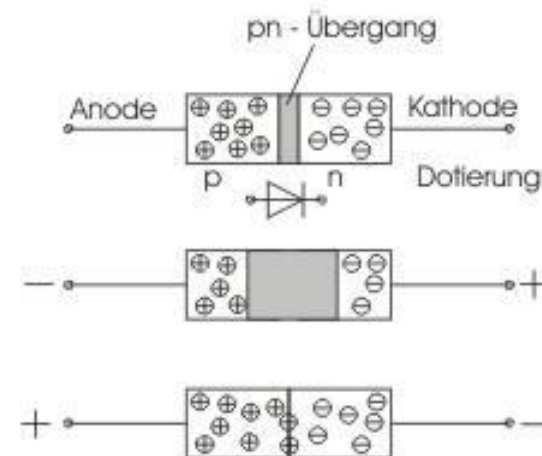
Si on souille un cristal de silicium avec un atome comme le bore (**accepteurs**) avec seulement trois possibilités de liaisons, alors il manque un porteur de charge. On parle de **trous**. Les porteurs de charge positifs, comme ce trou, peuvent rendre un courant électrique possible.

Si maintenant les deux éléments se rencontrent, alors les électrodes libres vont prendre place dans les trous dans la zone de déplétion et ainsi ce corps devient électriquement neutre et non conducteur.

Si on alimente une tension dans le **sens de la protection** en marche avant, cette couche alors deviendra de plus en plus large. Une tension ne peut pas être réglée, jusqu'à ce que la tension devienne beaucoup plus grande et alors un il va se produire un « retournement ».

Si la tension est mise dans le **sens du courant**, on a alors besoin d'une petite tension pour surpasser la couche protectrice. Après un sens de courant se met en place.

Diode PN Übergang

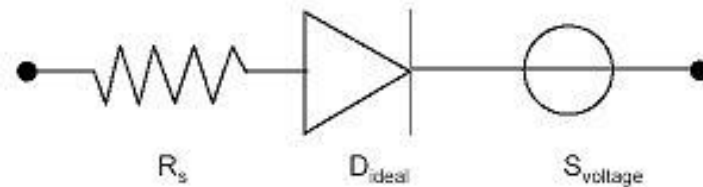
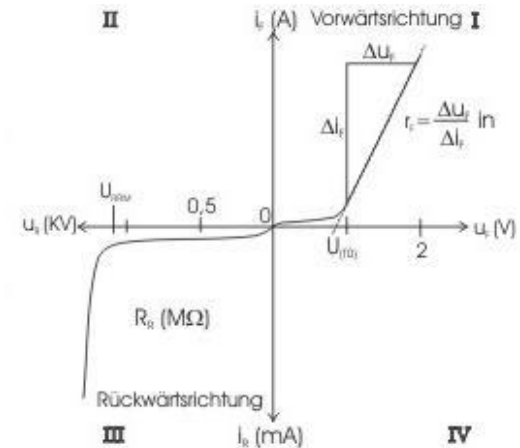


## Eclairage LED

Courbe de reconnaissance d'une diode et donc aussi en principe celle d'une diode lumineuse.

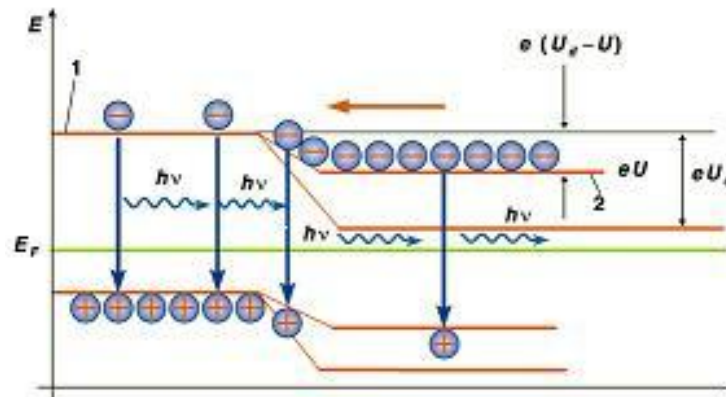
Au moyen du croquis du circuit de la diode, la construction et la courbe se laissent bien expliquer. Une fois la tension de la source surmontée (couche protectrice), en fonction de la résistance du matériau semi-conducteur  $R_s$  un courant peut passer.

Dans la zone de déplétion le clapet, que l'on suppose idéal, empêche le courant de passer.



# Eclairage LED

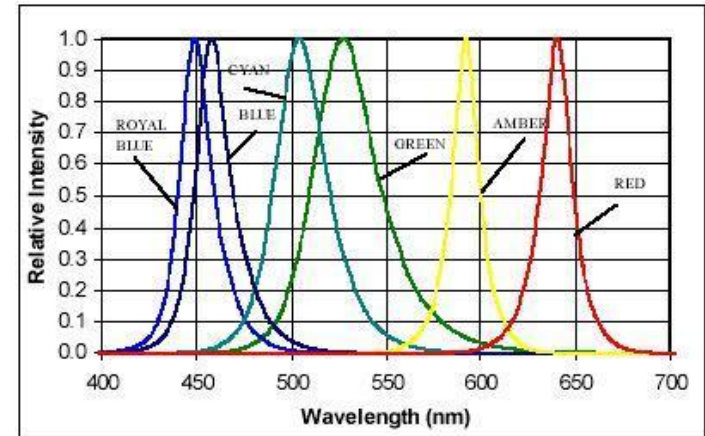
Dans la zone de déplétion(jonction P-N) des **photons** vont être libérés par la **recomposition** des porteurs de charge. La longueur d'onde est proportionnelle à l'épaisseur de la couche de la zone défendue de la jonction P-N. Comme cette zone est constante dans les mesures, la longueur s'on l'est également, ce qui veut dire qu'il s'agit ici d'un émetteur **monochromatique**. Au contraire d'une diode laser avec les miroirs du résonateur et ses dopages dégénérés, la lumière de LED est **incohérente**.



Pour obtenir différentes couleurs, on choisira différents cristaux semi-conducteurs, qui par l'apport de matériau formeront différentes **zones défendues** de différentes tailles.

Pour cela différentes tailles d'énergie pour la **recomposition par combinaison des porteurs de charge** devront être apportées et ainsi finalement différentes **longueurs d'ondes de lumière** émises.

L'émission d'une bande très étroite comme le tableau ci-contre encore une fois l'étape, est caractéristique. Ces bandes minces sont la raison pourquoi la puissance d'éclairage des LED n'est pas facilement mesurable avec un luxmètre.



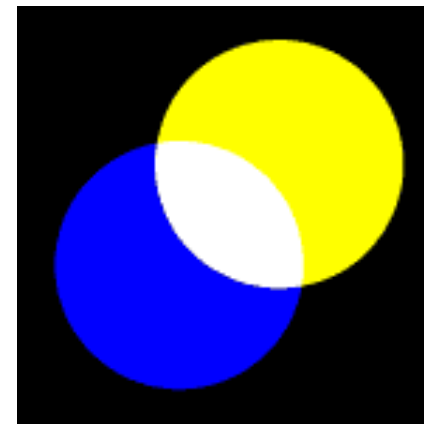
## LED blanche

Pour obtenir des diodes **lumineuse blanches**, on va combiner des LED qui émettent du bleu ou aussi des UV avec des couleurs luminescentes (photoluminescence). La lumière bleue d'ondes courtes et ainsi riche en énergie stimule la couleur pour qu'elle brille. En même temps, de la lumière à grandes ondes pauvre en énergie va être émise. Comme toute la lumière bleue ne va pas être transformée, il va résulter un mélange additif de lumières spectrales la lumière blanche. Le ton de couleur des diodes de couleur blanche est réglable par le choix et le dosage de la couleur, il se situe sur le tableau des couleurs normalisées CIE sur le degré de mélange entre les deux couleurs.



La puce de diode qui se trouve dans un récipient réfléchissant est recouverte d'une très fine couche de couleur luminescente.

Selon la couleur luminescente (ou également les combinaisons) et quelle couleur primaire de LED sont employées, d'**autres couleurs**, en plus de la lumière blanche peuvent être produites : Ainsi on obtient par exemple le mélange additif de la LED bleue avec un rouge photo luminescent, un magenta, une couleur, qui au moyen d'une LED conventionnelle n'est pas réalisable, il ne s'agit pas là d'une couleur spectrale . Il est possible de combiner plusieurs couleurs luminescentes, le principal étant d'atteindre chaque ton de couleur (couleur pastel LED) et les tons blancs finement dégradés (température de lumière).

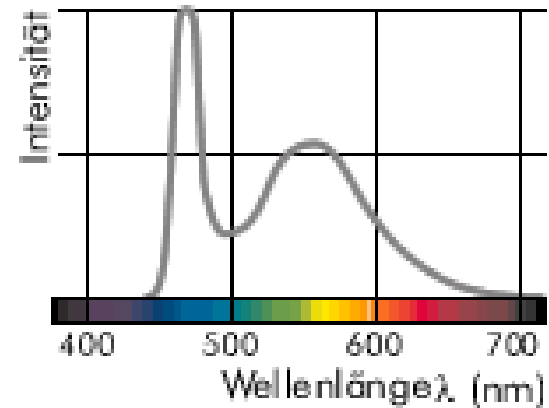


Par le dosage de la couleur, on peut régler les parties spectrales de la lumière bleue et du jaune. Ainsi on atteint différents tons blancs.



Selon ce principe des montages de LED vont être appelés **LED conversion luminescentes** (Osram OS: „LUCO-LED“) ou « phosphor-converted »-LED (Lumileds: PC-LED).

Après que l'entreprise japonaise Nichia, en 1995, ait développé la LED lumière blanche, elles y sont produites depuis 1997. En même temps avec Nichia l'institut Fraunhofer-Institut a développé la LED blanche LED et développé en étroite collaboration avec Osram OS (Infineon) le processus de fabrication. On y a transféré le savoir-faire et la production y a commencé en été 1998. Entre temps presque tous les fabricants ont une LED blanche dans leur programme.



Les LED blanches en raison de leur relativement grande répartition spectrale offrent une bonne restitution des couleurs. Ainsi les objets éclairés par cette lumière sont vus relativement correctement par l'œil humain.

# Eclairage LED

Color	Dom.Wavel. [nm]	Spec. Halfwidth [nm]	Temp.shift [nm/ °C]
Red	625	20	0.03
Amber	590	14	0.09
Green	530	35	0.04
Cyan	505	30	0.04
Blue	470	25	0.04
Royal Blue	455	20	0.04

## Conclusion :

- Une LED émet de la lumière seulement dans une bande très étroite d'une certaine couleur.
- La couleur blanche ne peut être produite directement.
- Il n'y a pas d'autres rayonnements comme les IR ou les UV.
- Comme corps solide, la LED n'est pas sensible aux chocs et aux vibrations.
- La LED a l'efficacité énergétique la plus élevée.**

## Rentabilität du prix moyen de l'électricité sur le consommateur final

### Haushalte und Gewerbebetriebe mit niedrigem Energiebezug

#### Für wen ist dieses Produkt?

Das Produkt easy light gilt für einen jährlichen Bezug von elektrischer Energie bis zirka 20 000 Kilowattstunden (kWh) ohne separate Verrechnung der gemessenen Leistung.

#### So setzt sich der Energiepreis zusammen:

Sie bezahlen den Grundpreis für das Abonnement und den Konsumpreis für den bezogenen Strom in kWh.

#### Sie haben die Wahl zwischen easy light und easy:

easy light ist vorteilhafter für kleine Bezüge, easy dagegen für grössere Bezüge in der Niedertarifzeit, zum Beispiel für Boiler.

Bei easy light bezahlen Sie über 24 Stunden immer den gleichen Konsumpreis. Bei easy bezahlen Sie von zirka 7 Uhr bis zirka 21 Uhr den Hochtarif und von zirka 21 Uhr bis zirka 7 Uhr den Niedertarif. Eine Verschiebung der Niedertarifzeit aufgrund der Netzbelastung bleibt vorbehalten.

#### So wird der Strom gemessen:

Der Strom wird in Niederspannung (400 Volt) abgegeben und gemessen. Wir stellen Ihnen die erforderliche Messeinrichtung zur Verfügung. Änderungen aufgrund eines Wechsels zwischen easy light und easy gehen zu Ihren Lasten. Für jeden Zähler wird ein Abonnement geführt.

Der Stromverbrauch in gemeinsam genutzten Räumen und Anlagen wird separat gemessen und dem Hauseigentümer verrechnet.

#### Das sollten Sie beachten:

- Die Einschalt- und Aufheizzeiten der Boiler werden von uns festgelegt. Sofern es die Netzbelastungsverhältnisse erlauben, werden Elektroheizgeräte bis 4 kW pro Zählerstromkreis und Apparate bis 8 kW in der Regel nicht gesperrt. Für grössere Anschlusswerte oder Apparate, die den Netzbetrieb störend beeinflussen bzw. ungünstig belasten, können besondere Anschluss- und Lieferbedingungen festgelegt werden.
- Ist Ihr jährlicher Bezug grösser als zirka 14 000 kWh, wird ein Zähler mit Leistungsmessung installiert.
- Falls Sie jährlich mehr als zirka 20 000 kWh Energie beziehen oder eine Leistung ab zirka 12 kW beanspruchen, erhalten Sie ein anderes Produkt.
- Für Sondereinrichtungen und zusätzliche Zähler wird eine Miete verrechnet.

#### Ergänzende Grundlagen für das Lieferverhältnis:

- Allgemeine Lieferbedingungen für elektrische Energie der BKW FMB Energie AG (ALB BKW)
- Werkvorschriften (WV) über die Erstellung elektrischer Hausinstallationen

MWS-Nr. 120839

#### easy light

	Grundpreis	Konsumpreis Einheitstarif
exkl. MwSt.	11.00 CHF/Mt.	21.50 Rp./kWh
inkl. MwSt. 7.6%*	11.84 CHF/Mt.	23.13 Rp./kWh

\*Bei diesen Preisen handelt es sich um kaufmännisch gerundete Angaben.

In diesen Preisen ist die Netznutzungsvergütung mitenthalten.

# Rentabilité

## Calcul des coûts totaux

### Éclairage et coûts de l'électricité

---

Base de calcul :

durée d'éclairage environ 3 heures par jour ce qui correspond à environ 1000 h par an.

Prix moyen par Kwh selon l'annexe 23 Rp/Kwh

1. Ampoule 60 Watt – longévité environ 700 h :

Achat de l'ampoule	0,50 CHF/pièce
Investition p.a.	0,71 CHF
Coûts électricité	13,80 CHF
Coûts totaux p.a.	14,51 CHF

2. Lampe à éco. d'énerg. 11 Watt – Longévité environ 6.000 h.

Achat de la lampe	3,00 CHF
Investition p.a. (longévité proport.)	0,50 CHF
Coûts électricité p.a.	2,53 CHF
Coûts totaux p.a.	3,03 CHF

3. Lampe LED 32 LED – Longévité 10.000 h.

Achat de la lampe LED	10 CHF
Investition p.a. (longévité proport.)	1,00 CHF
Coûts électricité p.a.	0,81 CHF
Coûts totaux p.a.	1,81 CHF

## Rentabilité résultat du calcul des coûts

---

L'éclairage « le meilleur marché », l'ampoule à incandescence, est l'éclairage le plus cher dans l'analyse globale.

L'éclairage « le plus cher », la lampe LED, est l'éclairage le meilleur marché dans l'analyse globale.

Landi voudrait présenter à l'avenir les éclairages dans les rayons de magasin de telle façon qu'en fonction de l'emballage le client puisse reconnaître quel éclairage il achète.

Pour cela voilà les différentes catégories :

- **Couleur jaune** = éclairages qui consomment beaucoup d'énergie
- **Couleur verte** = lampes à économie d'énergie
- **Couleur bleue** = Eclairages qui ont le moins besoin d'énergie et qui sont dans l'analyse globale des coûts d'achats et de consommation d'énergie meilleur marché.

- Lors du choix d'un éclairage adéquate, vous devriez déjà réfléchir au fait que - si les défenseurs du climat font adopter leurs plans - les ampoules à incandescence courantes auront fini de servir et une interdiction d'utiliser ces ampoules pourrait être promulguée.
- Comme exemple pour cette interdiction, on citera l'Australie, où à partir de 2010 seules les lampes à économie d'énergie devront être utilisées et non plus les lampes courantes, ce comme contribution à la protection du climat. Le rejet de gaz de l'Australie doit ainsi être réduit de jusqu'à 4 millions de tonnes.
- Dans le cas d'une lampe à incandescence courante, une grande partie de l'énergie nécessaire est transformée en chaleur et non en luminosité (environ seulement 5 %), les lampes à économie d'énergie (les lampes fluorescentes compactes) consomment, elles, 80 % d'électricité en moins pour la même production de luminosité.

## Remarque finale

### Questions courantes

---

#### **Mercure dans les lampes à économie d'énergie**

Les lampes à économie d'énergie, ne sont-elles pas plus toxiques pour l'environnement que les "lampes à incandescence", à cause du mercure qu'elles contiennent ?

Chaque lampe à économie d'énergie contient la plupart du temps de trois à quatre milligrammes de mercure, les ampoules à incandescence n'en contiennent pas. Mais lors de la production d'électricité dans la centrale, du mercure est dégagé.

Les lampes à incandescence consomment cinq fois plus d'électricité qu'une lampe à économie d'énergie claire comparable.

Exemple : une lampe à incandescence de 60 Watt et une lampe à économie d'énergie de 11 Watt sont allumées trois heures par jour. La première consomme 66 kilowattheures en un an, la seconde seulement 12. L'émission de mercure est d'environ 0,97 milligrammes chez la lampe à incandescence, alors que chez la lampe à économie d'énergie elle est d'environ seulement 0,18.



## Remarque finale

---

Spécialement en ce qui concerne l'éclairage, beaucoup de choses vont changer dans les prochaines années, en raison de l'environnement qui change ainsi que les exigences dans le domaine de l'énergie.

Actuellement les lampes à économie d'énergie ne peuvent être remplacées par des lampes LED, cependant dans les 3 prochaines années la technique du futur de la LED va continuer à se développer.

Merci pour votre attention !