

## Contrôle du flux lumineux émis par une diode électroluminescente

- Travail expérimental et rédaction du document :

Jean-Baptiste Desmoulins (P.R.A.G.)

mail : [desmouli@physique.ens-cachan.fr](mailto:desmouli@physique.ens-cachan.fr)

Dans cette expérience, nous allons chercher à contrôler la puissance optique émise par une diode électroluminescente. L'image de la puissance optique émise sera obtenue au moyen d'une photodiode. Pour réaliser la boucle d'asservissement, nous allons chercher à déterminer le correcteur sans connaître exactement la fonction de transfert de la boucle ouverte. En effet, le système étant d'ordre élevé, il est difficile de l'identifier correctement. Pour cela, nous allons utiliser la méthode de Ziegler-Nichols. Le système expérimental complet est présenté sur la photographie suivante :



Sur le système bouclé, nous étudierons la rapidité ainsi que les contraintes imposées par la stabilité. Nous verrons également comment réagit le système à une perturbation extérieure comme l'éclairage des néons ou l'éclairage ambiant.

Les signaux présentés dans ce document ont été relevés au moyen d'un oscilloscope interfacé GPIB, connecté à un ordinateur portable sur le port USB, par l'intermédiaire d'une interface NI488 GPIB-USB B. Les points acquis par l'oscilloscope sont directement transmis dans un fichier IGOR. Pour limiter le bruit, on va moyenniser, le moyennage étant fait dans la macro IGOR qui gère l'acquisition, et non sur l'oscilloscope.

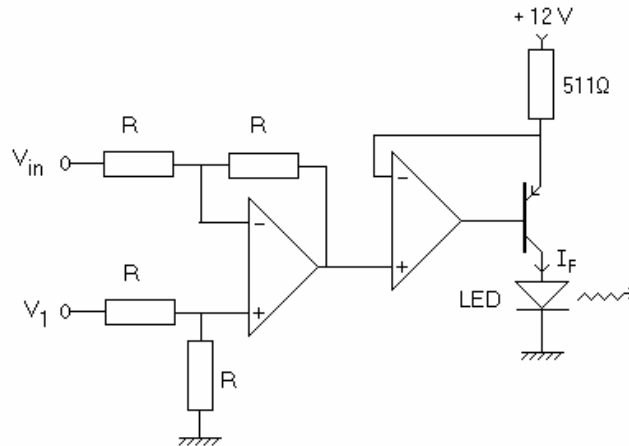
### I. Structure de la boucle ouverte.

Nous disposons d'une maquette qui comporte l'électronique associée à l'émetteur et au récepteur. Nous allons détailler rapidement chaque circuit.

#### *1.1. L'émetteur et son électronique associée .*

Nous allons utiliser un système qui a été conçu pour l'étude d'un photorécepteur et qui intègre un circuit de conversion tension/courant destiné à alimenter en courant une diode électroluminescente et donc à contrôler la puissance optique que cette dernière va émettre. La tension d'entrée est la différence d'une tension continue

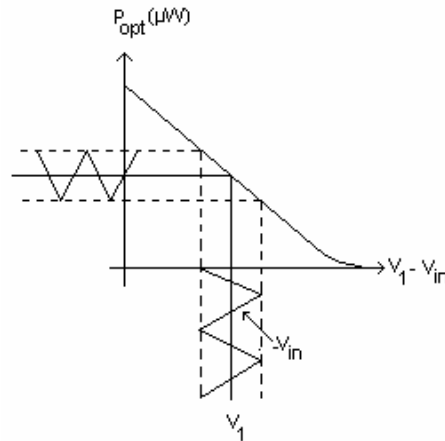
réglable au moyen d'un potentiomètre et d'une tension extérieure applicable par l'intermédiaire d'une borne BNC. Globalement, le circuit présente la structure suivante :



Le courant dans la LED est donné par la relation

$$I_F = \frac{V_o - (V_1 - \tilde{V}_{in})}{R_o} \quad \text{où } R_o = 511\Omega$$

La caractéristique statique de transfert de ce système est donc de la forme suivante :

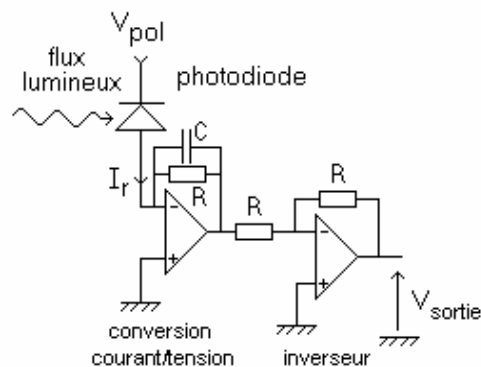


C'est par la tension  $v_{in}$  que nous agirons pour contrôler la puissance émise.  $V_1$  sera réglée à 6V environ, ce qui place l'émetteur au milieu de la plage linéaire de modulation du flux.

### 1.2. Capteur et circuit électronique associé.

La photodiode utilisée est de type PIN10, sensible dans le visible et de section voisine du  $\text{cm}^2$ . Cette section est rendue nécessaire par la focalisation médiocre du flux sortant de la LED.

Le photocourant qui sort de la photodiode est converti en tension par l'intermédiaire d'un circuit transconductance. La sortie de ce circuit est ensuite inversée pour conserver un gain statique en boucle ouverte positif, en vue de la rétroaction à réaliser.



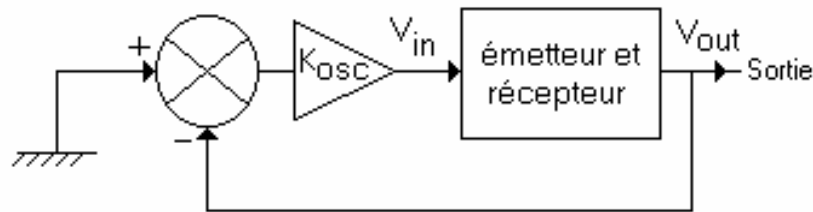
## II. Recherche d'un correcteur.

Pour conduire l'étude qui suit, on aurait pu chercher à relever la fonction de transfert en boucle ouverte afin de calculer un correcteur proportionnel adapté. Nous avons plutôt choisi d'adopter une méthode adaptée à des systèmes passe-bas d'ordre élevé, comme c'est le cas ici, compte tenu du grand nombre d'éléments physiques mis en cascade.

### II.1. Méthode de Ziegler-Nichols.

Cette méthode s'applique à des systèmes susceptibles d'être instables, une fois en boucle fermée, lorsqu'on augmente le gain de la chaîne directe. Elle consiste, dans un premier temps, à fermer la boucle d'asservissement avec une simple action proportionnelle. Le signal récupéré sur la photodiode est injecté sur l'entrée « - » du comparateur et l'entrée « + » est mise à la masse. En sortie du comparateur, on place le correcteur proportionnel de gain réglable.

On règle ce gain jusqu'à la valeur  $K_{osc}$  pour laquelle on a apparition d'oscillations. On note alors  $K_{osc}$ , ainsi que  $T_{osc}$ , la période de ces oscillations.

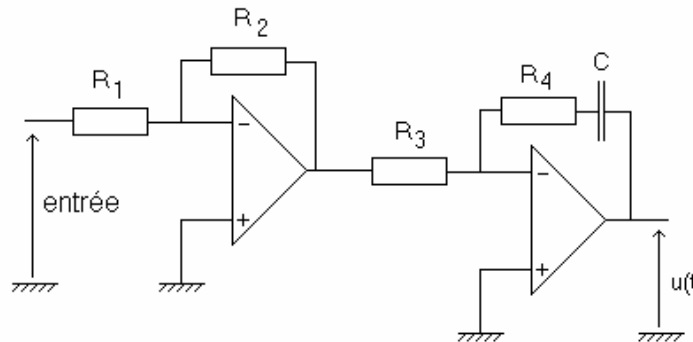


On déduit alors des valeurs obtenues, les paramètres caractéristiques du correcteur P.I. qui permet de trouver un bon compromis entre rapidité et stabilité :  $K_c = 0,45.K_{osc}$  et  $T_c = 0,83.T_{osc}$

rq : on rappelle que le correcteur P.I. a pour fonction de transfert

$$C(p) = K_c \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_c \cdot p} \right)$$

Electroniquement, il est réalisé de la façon suivante :



### II.2. Pourquoi cette méthode ici ?

Le système étudié, comporte une LED, une photodiode et le circuit transconductance, ce qui signifie que, même si on néglige la bande passante des amplificateurs opérationnels et du transistor, le système est passe-bas, au moins d'ordre 3, avec des fréquences de coupures assez proches les unes des autres pour qu'on ne puisse pas se permettre d'en négliger une.

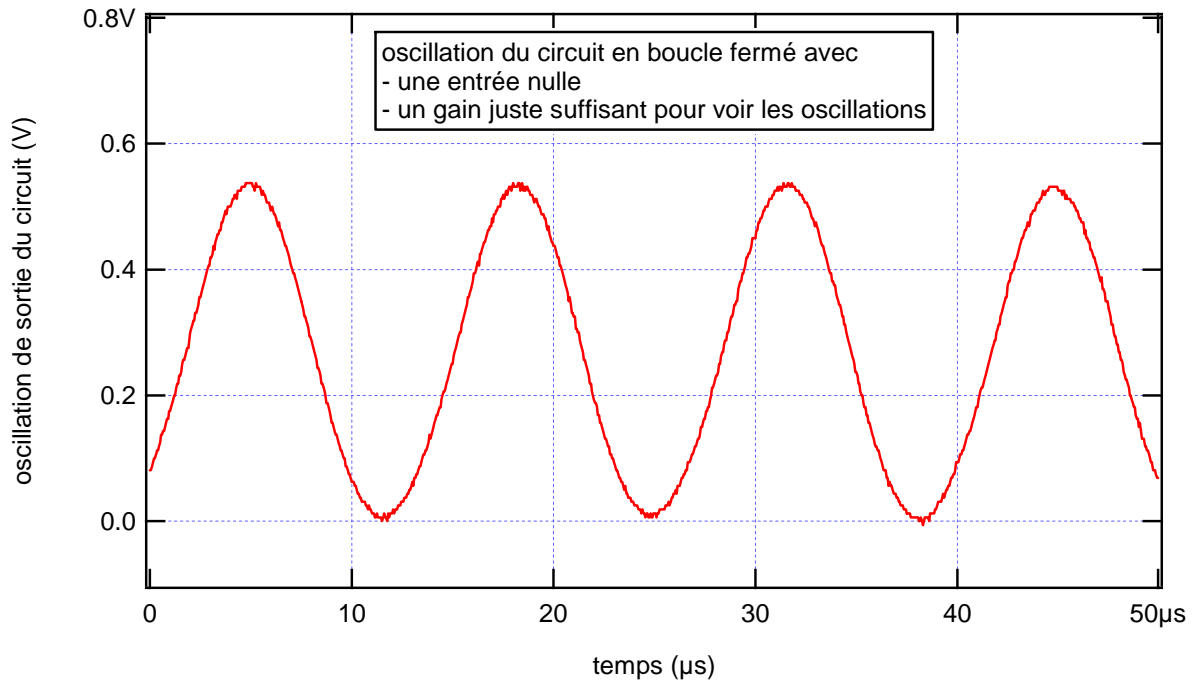
Ce type de système est susceptible d'être déstabilisé une fois en boucle fermée.

### II.3. Mise en œuvre de la méthode.

Dans un premier temps, on maintient la LED et la photodiode accolées. On aura ainsi un gain suffisant pour permettre de faire apparaître assez facilement des oscillations. Par ailleurs, on évitera qu'un flux lumineux parasite apporté par l'éclairage ambiant ne perturbe trop l'expérience.

On augmente le gain du correcteur proportionnel à partir d'une valeur de 1 environ, en ayant choisi des composants permettant d'atteindre un gain de 10. On se met en mode de synchronisation « auto level », afin que l'oscilloscope accroche rapidement dès le début des oscillations et on mesure la valeur des résistances utilisées pour réaliser le gain qui conduit au démarrage.

Expérimentalement, on observe le signal suivant :



On en déduit  $K_c$  et  $T_c$  tels que

$$K_c \approx 9.5 \quad \text{et} \quad T_c \approx 13 \mu s$$

Nous n'avons pas cherché à déterminer d'incertitudes sur les résultats obtenus, car elles n'ont aucun intérêt ici. En effet, ce qu'on attend de la méthode, c'est d'obtenir, dans un premier temps, un point de fonctionnement stable et assez rapide. Ce point de fonctionnement sera modifié ensuite afin d'optimiser expérimentalement la réponse du système bouclé.

### **III. Caractéristiques du système corrigé.**

Des oscillations observées avec la méthode de Ziegler Nichols, on déduit un correcteur proportionnel intégral conduisant à une réponse assez rapide tout en conservant une stabilité assez robuste. Ce correcteur est réalisé avec le boîtier comparateur/correcteur ENS325. On conservera le récepteur et l'émetteur les plus proches possibles, sauf remarque contraire, afin d'avoir un système assez facilement déstabilisable. Plus tard, on écartera l'émetteur et le récepteur afin d'observer l'effet perturbateur de l'éclairage ambiant.

#### **III.1. Plage d'asservissement.**

Comme pour tout système asservi, on va pouvoir définir une plage sur laquelle l'asservissement fonctionne. En dehors de cette plage, des effets non linéaires vont faire décrocher la boucle, dont la sortie ne suivra plus la tension de commande.

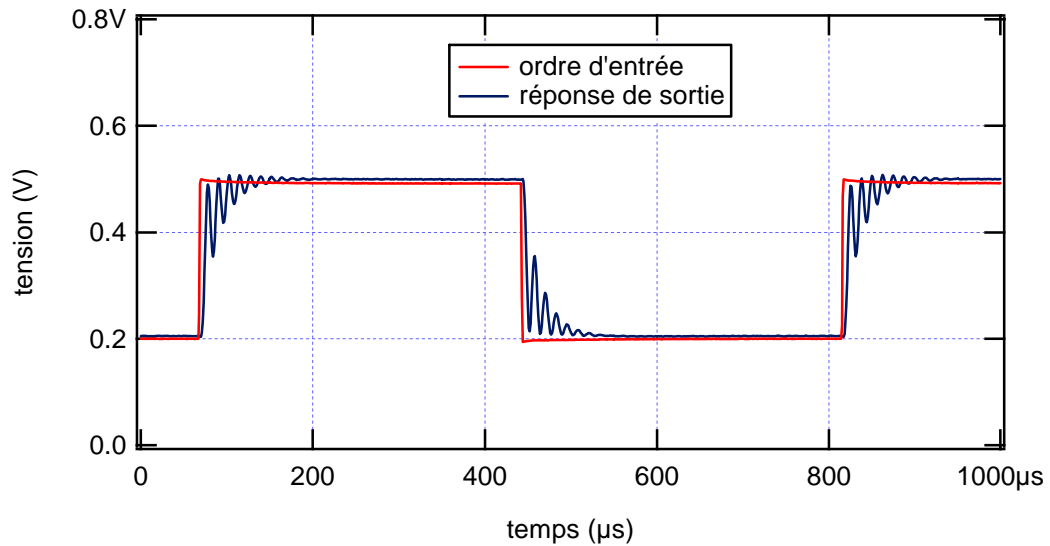
Avec notre système, l'asservissement fonctionne pour une tension de commande allant de 0V à 2V environ.

La limite à 0V correspond à une LED émettrice qui n'éclaire plus la photodiode. Cette dernière ne délivre plus de photocourant et seul subsiste, en l'absence d'éclairage parasite, le courant d'obscurité, très faible. Si la tension de commande devient négative, la LED reste éteinte et le système conserve le même état, avec une tension de sortie nulle.

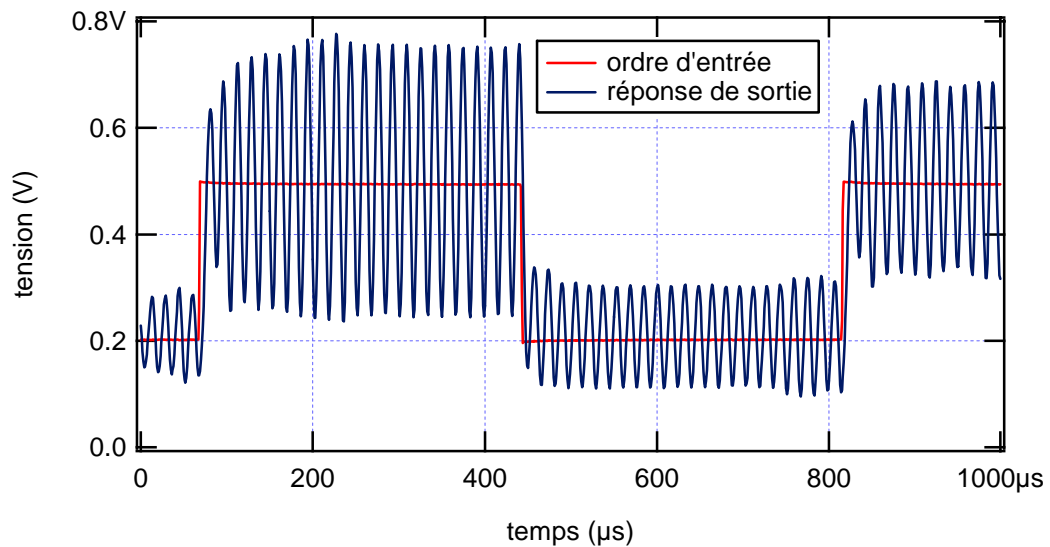
La limite située à environ 2V est liée à une protection de la LED. Demander au système de suivre des tensions de commande plus fortes, c'est demander à la LED d'éclairer davantage, ce qui signifie injecter à cette dernière un courant de plus en plus important. Le circuit qui délivre le courant injecté dans la LED est conçu pour limiter ce dernier à une valeur supportable par le composant. Si on demande davantage, le système reste bloqué à l'éclairage maximum autorisé et l'asservissement décroche.

#### **III.2. Amélioration de la dynamique, problème de la stabilité.**

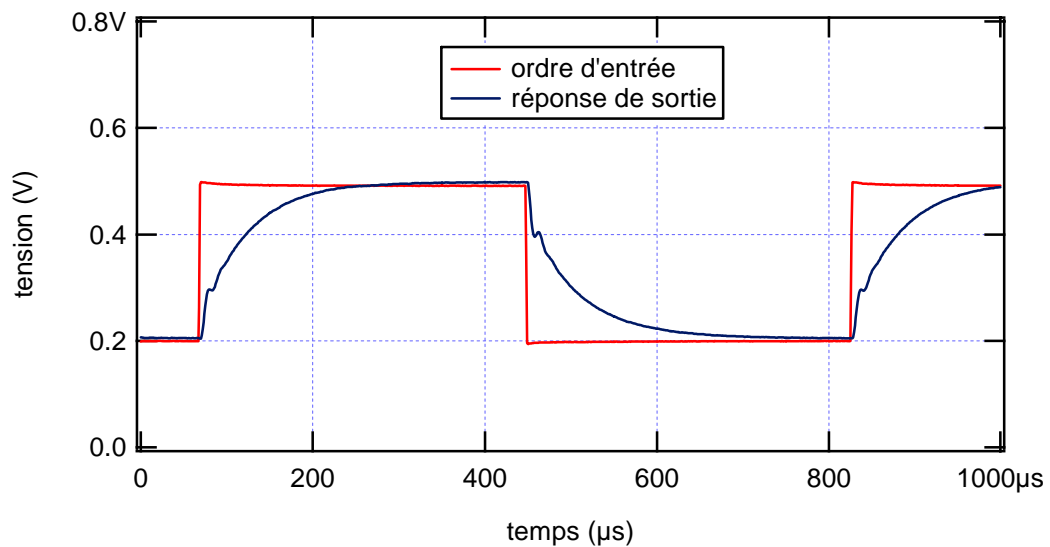
En respectant strictement les valeurs données par le critère de Ziegler Nichols, lorsque l'on applique un signal de commande en créneaux, compris dans la plage d'asservissement, on obtient une réponse du système de la forme suivante :



Si on augmente davantage le gain du correcteur, le système devient instable et la réponse prend la forme suivante :



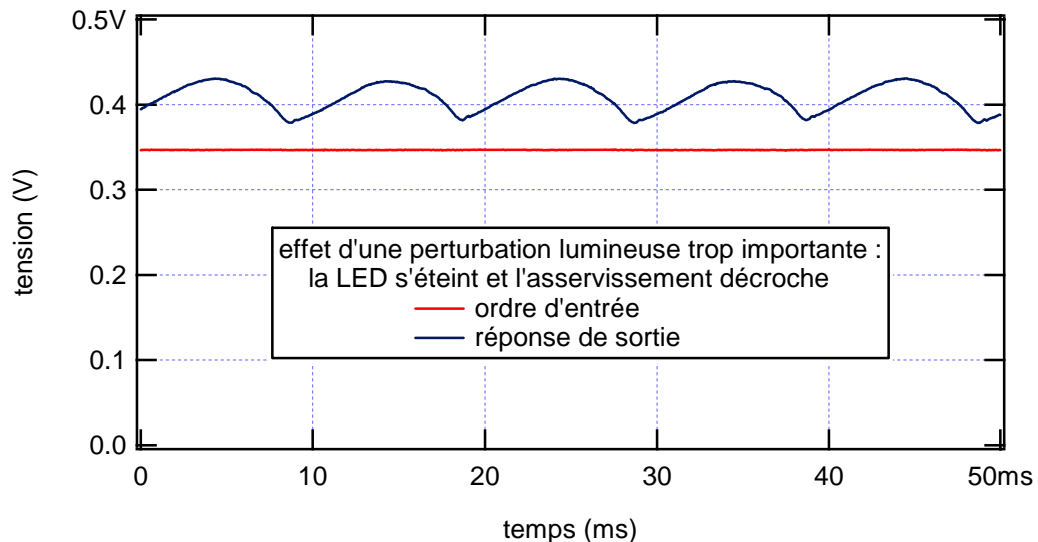
Pour un gain plus faible que ce qu'indique le critère, la stabilité est garantie. En revanche, le système répond plus lentement, comme l'indique la figure qui suit.



### III.3. Effet de perturbations.

Nous allons maintenant écarter l'émetteur et le récepteur avec notre système en boucle fermée, corrigé d'après le critère de Ziegler Nichols. Le fait d'écarter le photorécepteur va faire que ce dernier va capter l'éclairage ambiant, constitué de la lumière naturelle et de néons alimentés sous 50 Hz. Tant que l'asservissement fonctionne, le courant injecté dans la LED sera réduit pour que cette dernière éclaire moins, ce qui va compenser le surplus d'éclairage apporté par la perturbation. Si cette dernière correspond à un éclairage trop important, la LED va finir par s'éteindre. Dans ce cas, c'est la perturbation qui fixera l'éclairage au niveau du photorécepteur. L'asservissement aura alors décroché. On observera un signal caractéristique à 100Hz. En effet, les néons sont sensibles à la valeur absolue de la tension appliquée et réalisent donc un « redressement » électro-optique, ce qui conduit au doublement de fréquence de 50 à 100 Hz.

Expérimentalement, quand l'asservissement a décroché, on observe une réponse de forme suivante :



### Bibliographie.

Tome II, Rivoire et Ferrier, Eyrolles.

### Liste de matériel.

Une photodiode PIN10 avec une sortie BNC (anode sur la partie externe du BNC)

Une diode électroluminescente et son cordon adapté.

Des supports pour la LED et la photodiode qui permettent de les accoler.

Une maquette d'étude de photorécepteur (Cf notice du site web, rubrique « matériel »)

Une alimentation +15V/-15V pour l'alimentation des éléments électroniques (maquettes)

Un boîtier d'asservissement (ENSC 325)

Un oscilloscope

Un GBF

Un potentiomètre de 10 k $\Omega$  et une résistance de 1 k $\Omega$  pour réaliser le gain qui fait démarrer les oscillations, ainsi que les différents composants pour réaliser le correcteur.