

Projet ETI : Détecteur optique de Fumée

Introduction :

Un détecteur de fumée est un appareil électronique qui émet une alarme en présence de fumée dans l'air. Le principe du détecteur de fumée optique repose sur un système de photo-détection : une LED et une photodiode sont placées à côté, 'regardant' dans la même direction. Lorsque des particules de fumée sont présentes devant le détecteur, elles réfléchissent la lumière émise par la LED, qui est alors détectée par la photodiode. Cette dernière produit alors un courant qui permet d'alimenter une alarme.

Depuis la loi du 9 mars 2010, la présence d'un détecteur de fumée est obligatoire dans tous les logements en France. L'installation d'un tel système permet de diviser par le 10 le risque d'être victime d'un incendie. La généralisation des détecteurs de fumée devrait permettre de sauver 400 à 500 vies par an et de réduire le nombre de personnes brûlées qui s'élève à 10 000 chaque année.

Principe :

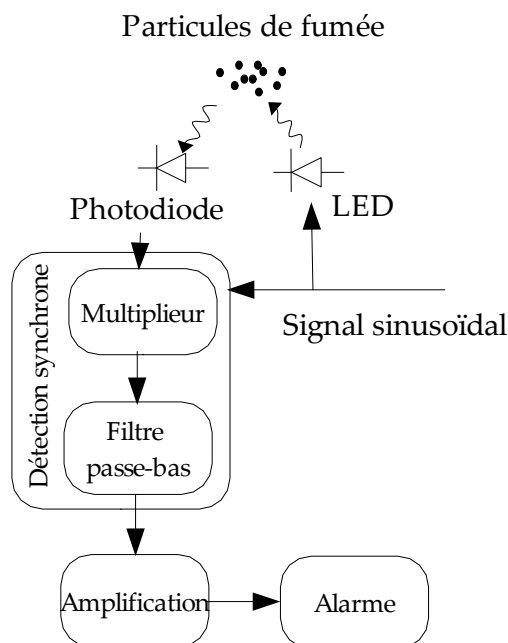
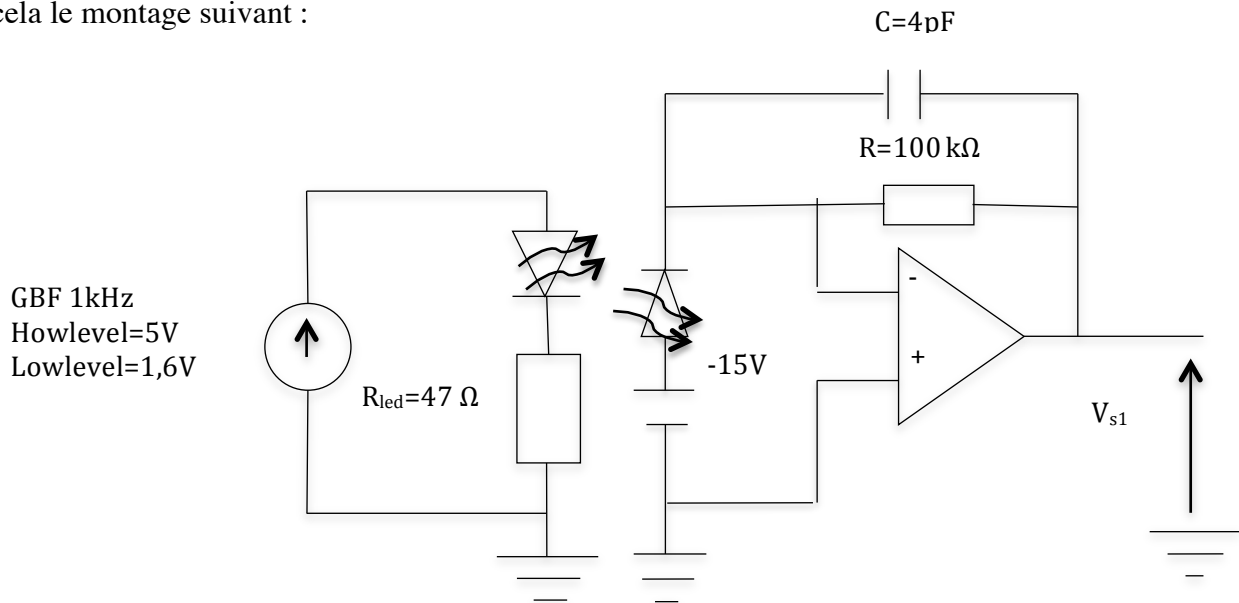


Schéma du principe du détecteur optique

Réalisation du détecteur de Fumée :

a. La photodétection

Afin de détecter la présence de fumée, on utilise un montage de photodétection placé en transmission : la photodiode et la LED sont orientées dans la même direction. On réalise pour cela le montage suivant :



Montage de photodétection associé à un montage transimpédance

On travaille en infrarouge, pour minimiser le bruit dû à la lumière ambiante. On utilise pour cela une LED IR TSAL6100 qui émet dans l'infrarouge ($\lambda_p = 940\text{nm}$) et une photodiode SFH205, dont la sensibilité est maximale dans l'infrarouge. Ces deux composants sont bien placés perpendiculairement, de telle sorte, que lorsqu'il n'y a pas de fumée, la photodiode ne détecte pas la lumière émise par la diode. Ceci permet de minimiser la probabilité de fausse alarme.

Le GBF délivre une tension sinusoïdale à $f_0 = 1\text{ kHz}$ (suffisamment élevée pour ne pas être à la même fréquence que le bruit ambiant qui est à environ 200 Hz), de tension crête à crête égale à $3,4\text{ V}$. En effet la tension maximale délivrée est de 5 V et la tension minimale est réglée, grâce à un offset, à $1,6\text{ V}$, ce qui correspond à la tension seuil de la LED, afin de ne pas déformer le signal.

On place une résistance de protection de la LED, afin que le courant circulant dans la LED soit inférieur à $I_F = 100\text{ mA}$: on choisit $R_{LED} = 47\Omega$.

On place à la suite de la photodiode, un montage transimpédance, réalisé par un AO TL071 alimenté en $\pm 5\text{ V}$, afin d'augmenter la bande passante de détection et la sensibilité. On place un condensateur de capacité 4 pF pour éviter le phénomène de gain peaking. On choisit la résistance du montage transimpédance de manière à ne pas faire saturer l'AO : $R = 100\text{ k}\Omega$

$$\frac{V_s}{I_p h}$$

On vérifie notre montage en observant le signal de sortie de ce montage en présence et en absence d'une feuille de papier placée devant la diode et la photodiode.

b. La détection synchrone

Montage :

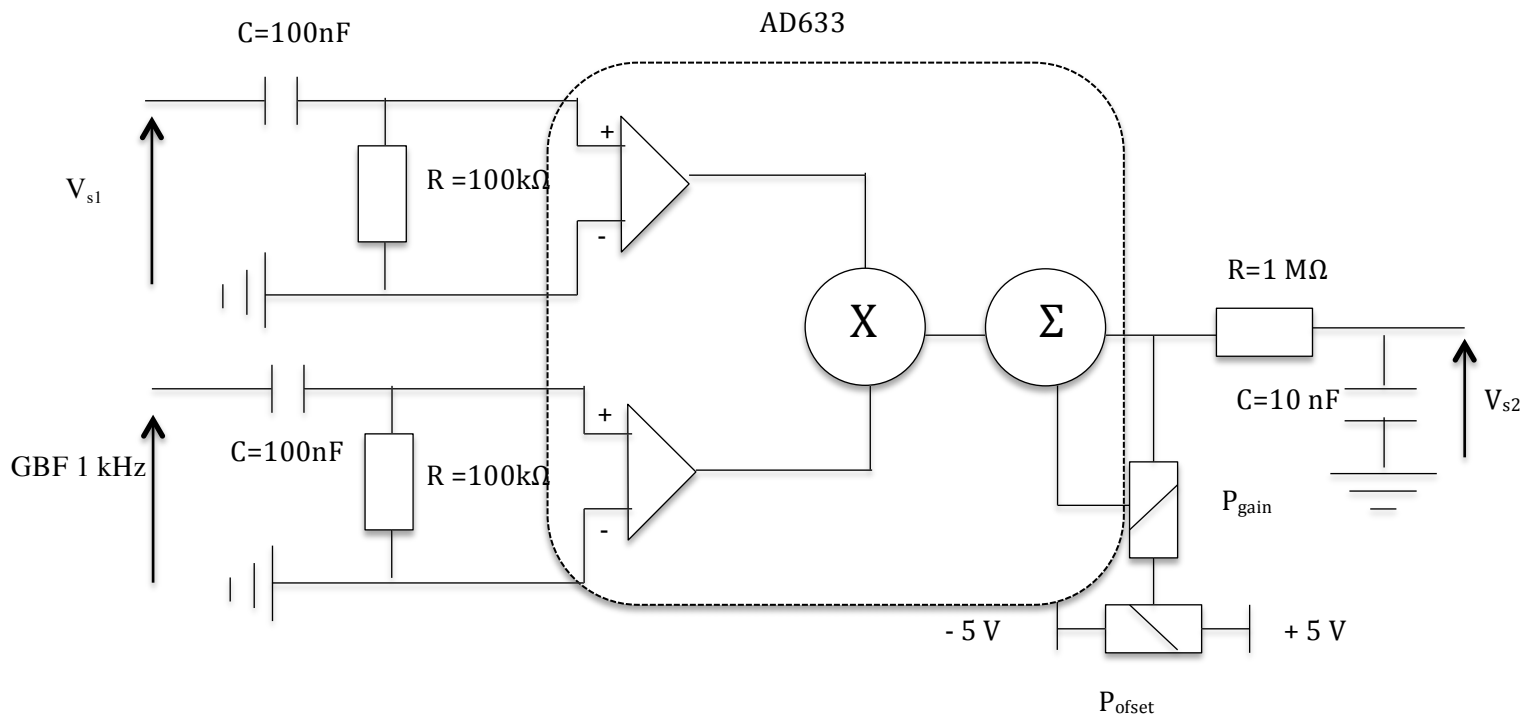


Schéma du montage de la détection synchrone

Le signal en sortie de ce montage est la somme d'un signal sinusoïdale de fréquence f_0 de faible amplitude et du signal du bruit si il y a présence de fumée ou correspond juste au signal du bruit en absence de fumée.

Afin d'amplifier le signal sinusoïdal, si il est présent, on le multiplie au signal délivré par le GBF afin d'être sûr de le multiplier par une fréquence identique à la fréquence d'entrée du montage. On utilise pour cela un multiplieur AD633 alimenté en ± 5 V. On obtient un signal de sortie $S(t)$ de la forme :

$$S(t) = \begin{cases} s_0 \cos(4\pi f_0 + \phi) + s'_0 b(t) \sin(2\pi f_0 + \phi) + \mathbf{s_0 \cos(\phi)} & \text{en présence de fumée} \\ s'_0 b(t) \sin(2\pi f_0 + \phi) & \text{en absence de fumée} \end{cases}$$

Ainsi seulement en présence de fumée on obtient une composante continue sur le signal.

On place en amont du multiplieur, sur chaque entrée un filtre passe haut pour couper les composantes continues des deux signaux d'entrée ($R=100$ k Ω et $C=100$ nF).

En sortie du multiplieur on place également deux potentiomètres ($P_{\text{gain}}=470$ k Ω et $P_{\text{offset}}=10$ k Ω) afin de régler le gain et l'offset réglés de manière à ne pas avoir de saturation et une tension nulle en sortie en absence de fumée. Ils permettront également de régler le seuil de détection.

On place ensuite un filtre passe bas du premier ordre avec une fréquence de coupure suffisamment faible pour ne garder la composante continue. Toutefois la fréquence de coupure est inversement proportionnelle au temps d'établissement : une petite bande passante implique un temps de montée assez long. On choisit $R=1$ M Ω et $C=10$ nF. La fréquence de coupure vaut alors $f_c=16$ Hz et $\tau=1$ μ s.

Ainsi en présence de fumée on obtient un signal continue possédant une tension non nulle et en absence de fumée, un signal nul.

c. L'amplification

Afin d'amplifier le signal de sortie de la partie précédente, on utilise un AO TL071 alimenté en $\pm 5V$, placé dans un montage amplificateur avec $R_1=12\ \Omega$ et $R_2=1,2\ \Omega$, de manière à avoir un gain d'environ 10.

Montage :

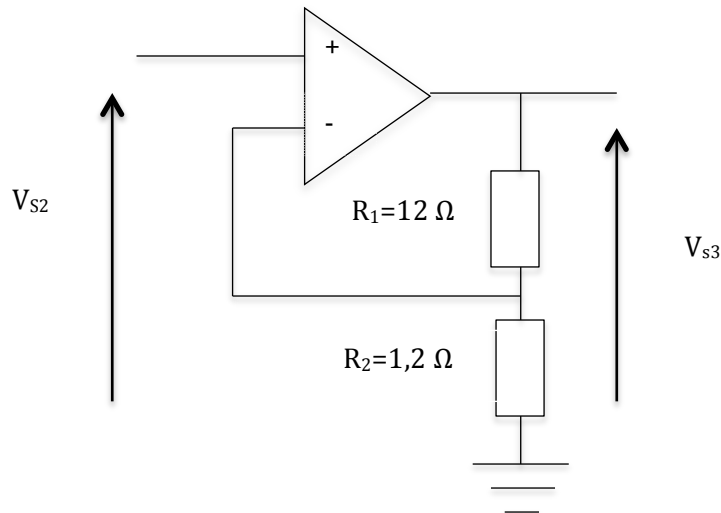


Schéma du montage amplificateur

d. Comparateur

Enfin on compare la valeur du signal obtenue à une tension seuil. Pour cela on utilise un comparateur LM311 suivant le montage suivant branché en $\pm 5V$, selon le montage suivant :

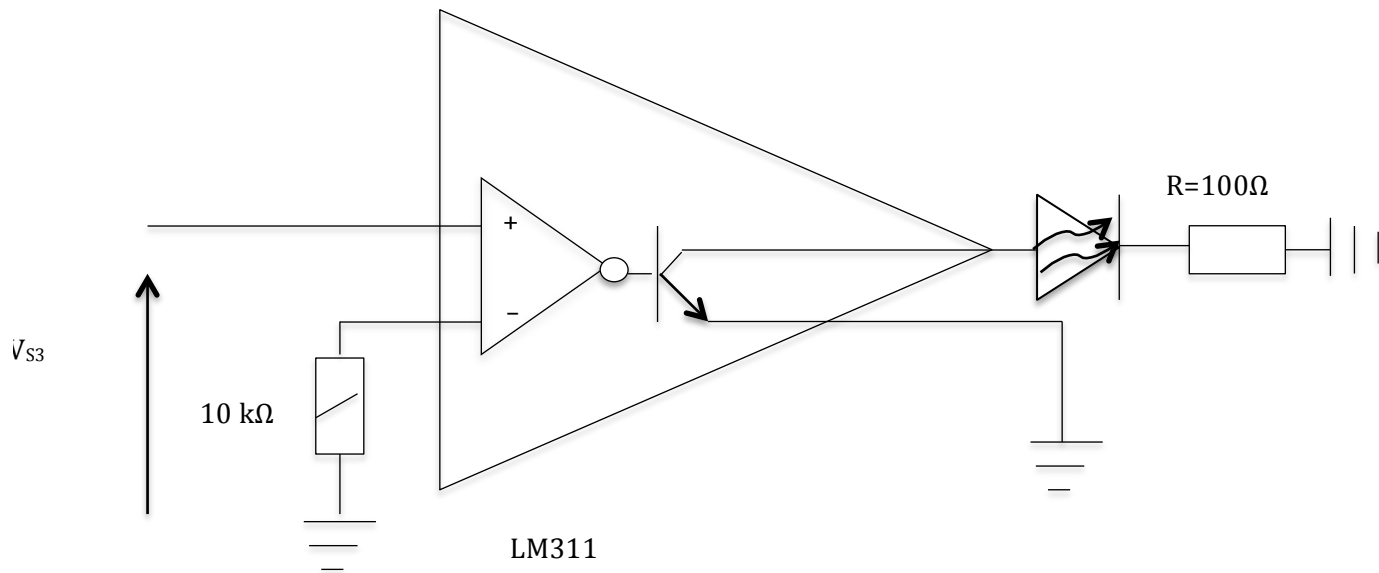


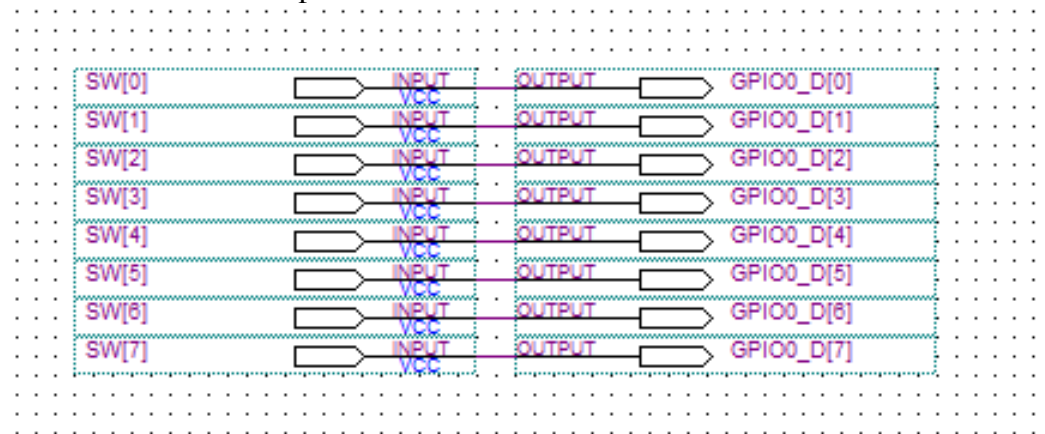
Schéma du montage comparateur

L'alarme utilisée est une LED rouge. On place en série une résistance de protection de la LED $R = 100\Omega$

La tension seuil est d'abord choisie à l'aide d'un potentiomètre de $10\text{ k}\Omega$ que l'on règle de manière à obtenir une tension seuil juste en dessous de 0 (tension en sortie en absence de fumée) de manière à avoir une sensibilité maximale. Toutefois la probabilité de fausse détection sera alors plus élevée.

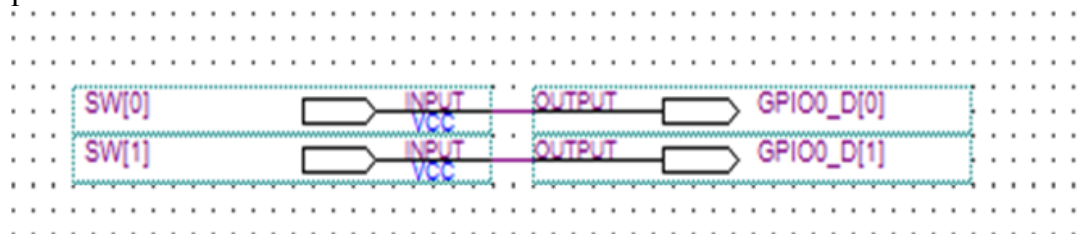
Puis on a essayé de générer le niveau de détection à l'aide de la carte DEO et un convertisseur analogique-numérique AD7524. Pour cela on fixe la valeur de la tension seuil sur 8 bits, codés à l'aide de 8 interrupteurs de la carte DEO.

Le schéma bloc correspondant est le suivant :



Nous n'avons pas réussi à faire fonctionner le convertisseur analogique numérique.

Nous avons donc utilisé un commutateur DG200 qui permet de définir deux tensions seuil : une tension seuil fixée juste au-dessus de la tension sans fumée et une fixée plus haut pour détecter les plus grosses fumées. Ces tensions seuils sont choisies en adaptant les valeurs des résistances R_1 , R_2 , et R_3 (pont diviseur de tension). On choisit donc ces résistances pour avoir $V_{s1} \approx 0,5\text{ V}$ et $V_{s2} \approx 2\text{ V}$. Les sorties S1 et S2 servent à piloter les interrupteurs et sont contrôlées par la carte DEO. Le schéma bloc est le suivant :



Le montage est le suivant :

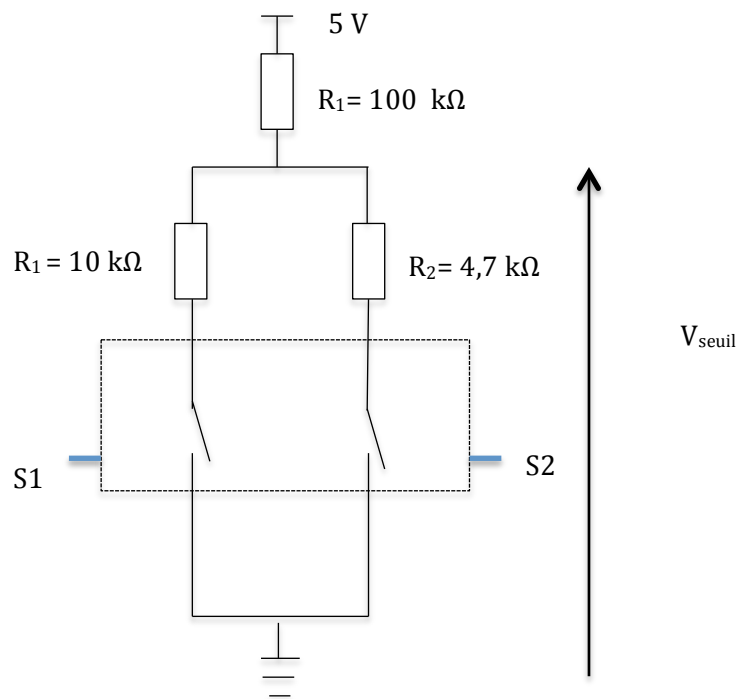


Schéma du montage du DG200

Lorsque les deux boutons poussoirs ne sont pas actionnés les deux interrupteurs sont ouverts la tension seuil est nulle. On choisit de laisser fermer S_1 (seuil minimum) et si la diode s'allume alors on ferme S_2 et on ouvre S_1 pour vérifier si la fumée présente est une fumée épaisse.

Précautions et limites :

Le choix de la tension seuil est un élément déterminant dans le détecteur de fumée : nous avons fait le choix de régler la tension de seuil de manière à maximiser la sensibilité sans pour autant que l'alarme reste constamment allumer. En effet, dans le cas d'un détecteur de fumée, il faut mieux avoir une fausse alarme que ne pas détecter la présence de fumée.

Une attention particulière est également prête sur le gain de l'amplificateur et le réglage des potentiomètres en sortie du multiplieur afin de ne pas faire saturer le montage. Nous avons choisi la fréquence du GBF de manière à ce que celle ci ne se trouve pas dans la plage de fréquence du bruit ni en dessous (le signal serait coupe par les passes haut places en amont du multiplieur).

Il existe une hauteur maximale de détection de fumée en effet si la fumée se trouve trop loin de l'appareil, celle ci n'est pas détectée.

Ce détecteur est moins adapté aux fumées noires à cause de leur faible réflectivité

Résultats :

Comme le montre la vidéo suivante, notre détecteur de fumée fonctionne : l'alarme se déclenche en présence de fumée (et reste éteint en absence de fumée).

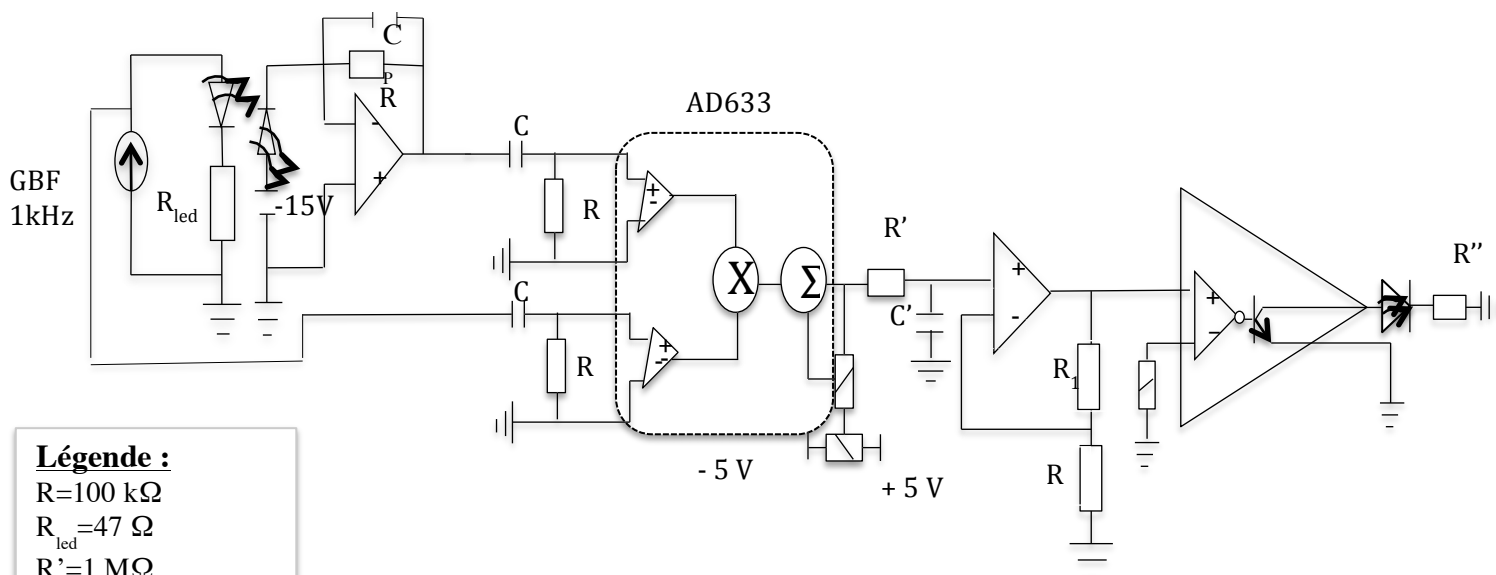
Lien internet : <https://youtu.be/9D3UznQrBpg>

QR Code :



web

Montage final :



Légende :

- $R=100\text{ k}\Omega$
- $R_{\text{led}}=47\ \Omega$
- $R'=1\text{ M}\Omega$
- $R''=100\ \Omega$
- $R_1=12\ \Omega$
- $R_2=1,2\ \Omega$
- $C_p=4\ \text{pF}$
- $C=100\ \text{nF}$
- $C'=10\ \text{nF}$

Schéma de notre montage final

Conclusion

Ce projet nous a permis de réaliser un détecteur de fumée qui répond au cahier des charges. C'est aujourd'hui un composant électronique indispensable dans toutes les habitations et qui a fait ces preuves. En effet, dans tous les pays où l'installation de détecteurs de fumée est obligatoire, il a été constaté une diminution du nombre de décès de 50 %, car 70 % des victimes décédaient sans avoir pu être réveillées, car si un tiers seulement des incendies surviennent la nuit, ils sont à l'origine de 70 % des décès.