

## SUIVI DE LA CONSOMMATION D'EAU D'UNE HABITATION

La consommation d'eau, au même titre que la consommation d'électricité ou de gaz, représente une part non négligeable du budget de nombreux ménages, et contribue de façon significative à leur empreinte environnementale. La facturation de ces consommations étant souvent annuelle, leur suivi tout au long de l'année présente un intérêt aussi bien économique qu'écologique.

### 1. Principe du suivi :

Le suivi de la consommation d'une habitation est réalisé à l'aide d'un compteur d'eau (Figure 1). Il s'agit d'un dispositif monté en série sur l'arrivée d'eau d'une habitation, qui comporte un dispositif mécanique mis en rotation par le passage de l'eau. Si le compteur a été correctement posé et étalonné, à chaque tour de la partie mobile correspond un volume d'eau connu. Un ensemble d'engrenages et de roues à cliquet permet d'afficher le volume consommé sur un cadran.

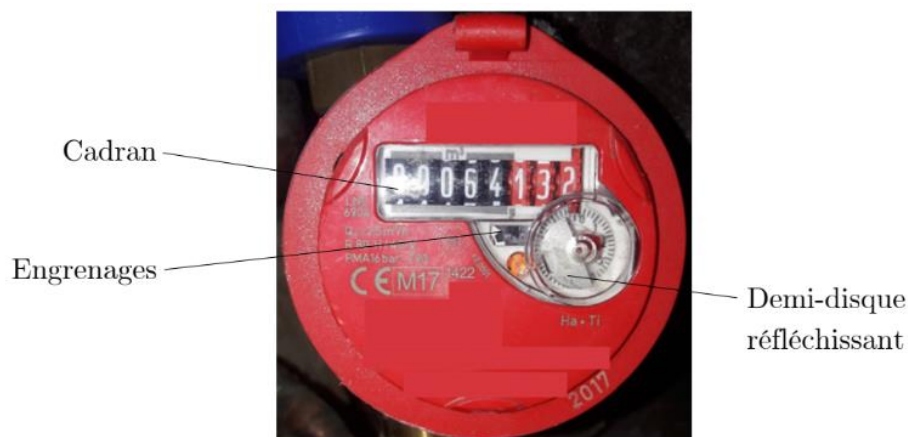


FIGURE 1 – Compteur d'eau installé dans une habitation

Le relevé fréquent d'un compteur étant une opération fastidieuse, son automatisation est d'un intérêt certain pour faciliter le suivi. On peut pour cela utiliser des compteurs dits "intelligents" ou "communicants", ou encore instrumenter un compteur d'eau classique. Dans les deux cas, le principe est le même : il s'agit de compter les tours d'un demi-disque métallique tournant avec la partie mobile au moyen d'un détecteur optique (phototransistor) ou magnétique (interrupteur à lame souple). Ces dispositifs, alimentés sous une tension continue, fournissent l'un comme l'autre une tension présentant une impulsion par tour de la partie mobile (Figure 2).

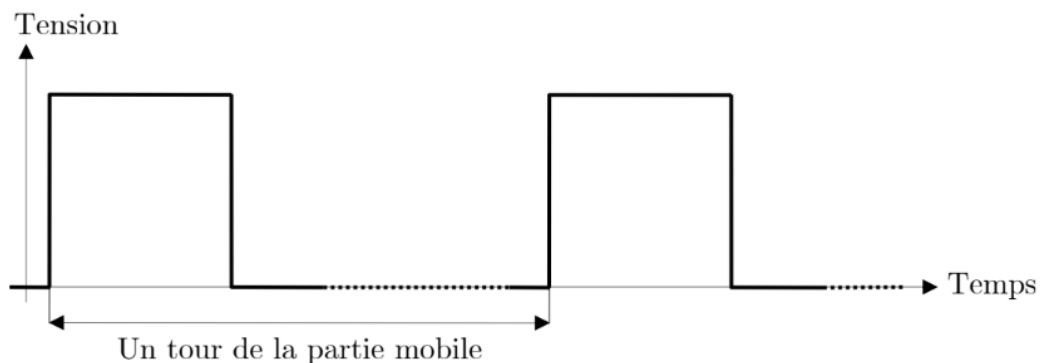


FIGURE 2 – Schématisation du signal en sortie du détecteur

La mesure en temps réel de la consommation d'eau d'une habitation peut ainsi être réalisée en comptant les impulsions issues du capteur au moyen, par exemple, d'un microcontrôleur. En pratique, le signal obtenu peut être affecté par divers phénomènes indésirables (rebond des interrupteurs à lame souple, saturation progressive des phototransistors) et il est donc nécessaire de mettre préalablement en forme les impulsions pour éviter les erreurs de comptage.

## 2. Travail demandé

Ce sujet comporte deux parties indépendantes.

**La première partie (durée conseillée : 1h30)** porte sur l'étude d'un montage électronique, utilisant un amplificateur opérationnel, destiné à mettre en forme les impulsions avant comptage.

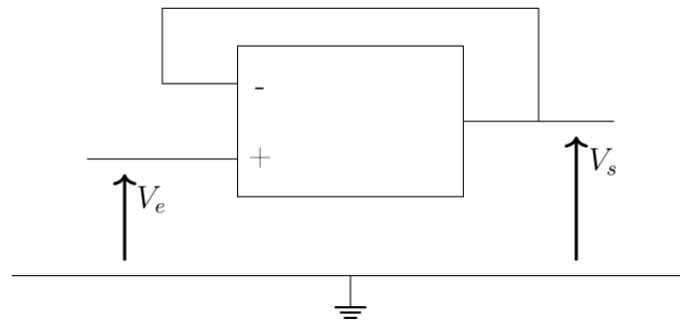
**La seconde partie (durée conseillée : 2h30)** porte sur le stockage des impulsions dans le microcontrôleur, leur traitement informatique (sur un ordinateur classique) pour reconstruire les débits et volumes consommés, la transmission cryptée des mesures vers un serveur distant mettant en œuvre une base de données, et l'exploitation de celle-ci afin d'accéder à distance au suivi de la consommation.

### **PREMIERE PARTIE : COMPTEUR D'IMPULSIONS ANALOGIQUE**

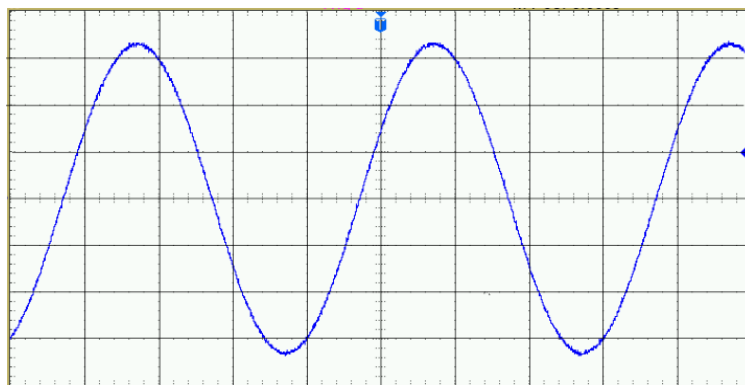
#### **PARTIE A : GÉNÉRALITÉS SUR LES ALI**

*Dans cette partie, on considère un ALI alimenté en  $+15/-15$  Volts par une alimentation à point milieu. On admettra que les tensions de saturation haute et basse sont  $+/- 15$  Volts.*

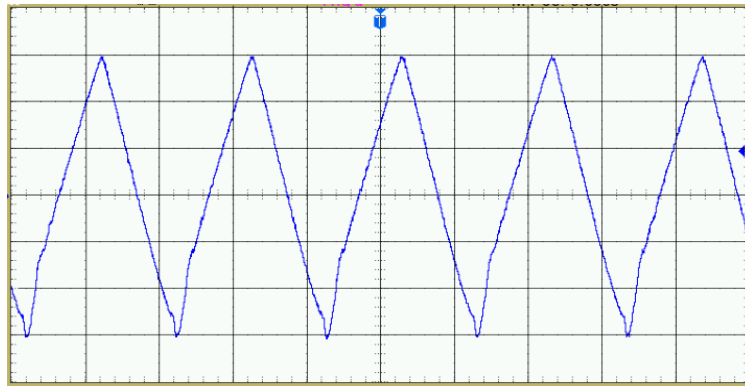
1. Représenter la tension de sortie en fonction de la tension différentielle d'entrée, en indiquant clairement les ordres de grandeur considérés (on indiquera la partie correspondant au régime linéaire et celle correspondant au régime saturé).
2. On s'intéresse au montage représenté ci-dessous. Montrer que  $V_s = V_e$ . Comment s'appelle ce montage ? Quel est son intérêt ? (on considérera le gain de l'ALI comme infini)



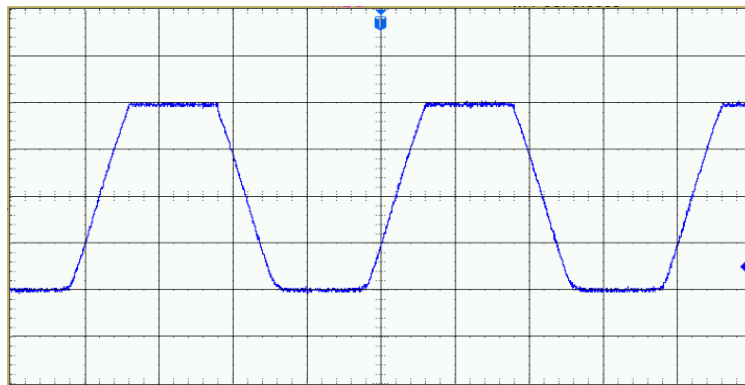
3. On alimente ce montage avec en entrée la tension dont l'oscillogramme est donné ci-dessous. Les réglages sont  $2\text{ V/div}$  et  $100\text{ }\mu\text{s/div}$ , quelles sont les caractéristiques de cette tension ? Peut-on raisonnablement penser observer la même chose en sortie ?



4. Toutes choses égales par ailleurs, on augmente la fréquence et on observe en sortie la tension ci-dessous. Les réglages sont  $2\text{ V/div}$  et  $1\text{ }\mu\text{s/div}$ . Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence ? Evaluer sa valeur numérique.



5. On revient à la fréquence de la question 3, et on ajoute une résistance de charge  $R_0 = 50 \Omega$  entre la sortie et la masse. Les réglages sont  $2 \text{ V/div}$  et  $100 \mu\text{s/div}$ . Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence ? Evaluer sa valeur numérique.

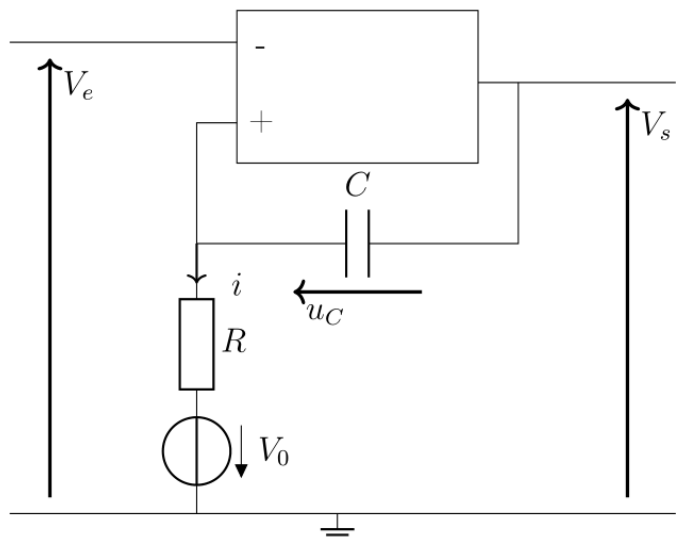


6. Donner le schéma d'un montage amplificateur non-inverseur utilisant un ALI et 2 résistances. Établir l'expression du gain de ce montage.
7. Proposer des valeurs pour les résistances pour avoir des gains de 10, 100 et 1000. Jusqu'à quelle valeur de gain peut-on aller avec un tel montage avec une tension d'entrée continue ? Avec une tension d'entrée sinusoïdale de fréquence  $10 \text{ kHz}$  ? (de simples ordres de grandeur sont attendus)
8. On alimente ce montage, en prenant un gain de 10, avec la tension d'entrée de la question 3. Dessiner l'allure de la tension attendue en sortie.

## PARTIE B : COMPTEUR D'IMPULSION

Le montage ci-dessous permet de réaliser un **compteur d'impulsions analogique**. L'ALI est alimenté en  $+V_{cc}/-V_{cc}$  avec  $V_{cc} = 7 \text{ Volts}$  par une alimentation à point milieu. Dans toute cette partie, il fonctionne en régime saturé et les tensions de saturation  $+V_{sat}$  et  $-V_{sat}$  sont considérées comme égales aux tensions d'alimentation  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ . On considérera que le temps de réponse de l'ALI est négligeable (on bascule de  $+/-V_{sat}$  à son opposé de manière instantanée).

On prend pour ce montage  $R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 650 \text{ nF}$  et  $V_0 = 1 \text{ V}$ .



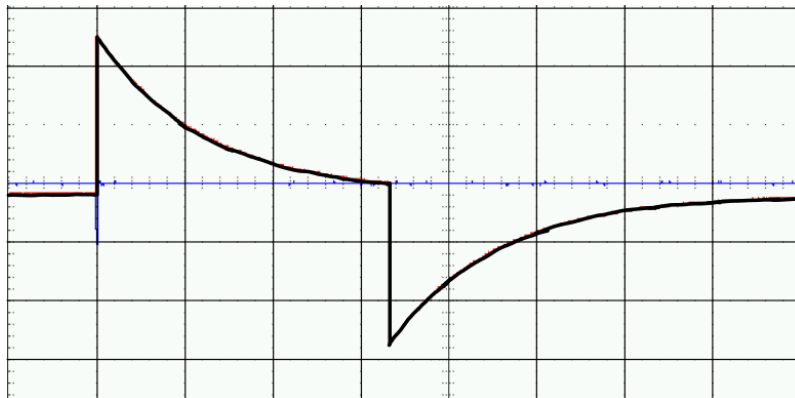
9. Quelle est la valeur de  $i$  en régime stationnaire ? De  $V_+$  ? Justifier le fait que  $V_s = -V_{\text{sat}}$  en régime stationnaire si  $V_e = 0$ . Quelle est alors la valeur de  $u_C$  ?
10. À  $t = 0$ , on envoie en entrée une impulsion très brève de durée  $\Delta t$  :  $V_e$  passe instantanément de 0 à  $-5$  volts puis, un temps  $\Delta t$  plus tard, repasse à 0 (toujours instantanément). Représenter cette impulsion.
11. Que signifie très brève pour  $\Delta t$  ? (Avec quelle grandeur caractéristique du circuit faut-il comparer). En déduire une condition sur  $\Delta t$ . Expliquer pourquoi la valeur de  $u_C$  ne varie quasiment pas entre  $t = 0$  et  $t = \Delta t$ .
12. Expliquer pourquoi le passage de  $V_e$  de 0 à  $-5$  volts à  $t = 0$  fait basculer la sortie à  $+V_{\text{sat}}$ , et pourquoi le retour à 0 à  $t = \Delta t$  ne provoque pas un autre basculement.
13. Montrer que, suite au basculement (on prend  $t = 0$  au moment du basculement),  $u_C$  évolue de la manière suivante :

$$u_C = 2 V_{\text{sat}} e^{(-t/\tau)} - (V_{\text{sat}} + V_0)$$

Donner l'expression de  $\tau$  ainsi que son sens physique.

14. À quel instant  $t_1$  la sortie va-t-elle repasser en saturation basse ? Donner l'expression en fonction de  $R$ ,  $C$ ,  $V_{\text{sat}}$  et  $V_0$  et faire l'application numérique. On donne  $\ln(14) \approx 2,6$ .

On donne ci-dessous un enregistrement de la tension  $V_+$  suite à une impulsion. L'instant  $t = 0$  est décalé à une division après la gauche de l'écran. Les réglages sont  $5 \text{ V/div}$  et  $5 \text{ ms/div}$ .



15. Expliquer les deux phases de l'évolution de cette tension (expliquer en particulier la valeur minimale prise par  $V_+$ ).
16. Sur la même échelle de temps que l'enregistrement précédent, représenter l'évolution des tensions  $u_C$  et  $V_s$ .

Le montage reçoit en entrée des impulsions périodiques, toujours de largeur  $\Delta t$  et avec une période  $T$ , dans le but de pouvoir mesurer la fréquence  $f$  de ces impulsions.

17. Quelle condition doit respecter  $T$  vis-à-vis des caractéristiques du montage ?
18. Représenter sur un même graphe, sans échelle mais en respectant les conditions des questions 11 et 17, les tensions  $V_e$  et  $V_s$  (sur au moins une période  $T$  et au plus deux). Indiquer clairement les trois temps caractéristiques.
19. Donner l'expression de la valeur moyenne  $\langle V_s \rangle$  de  $V_s$  en fonction de  $V_{\text{sat}}$ ,  $f$  et  $t_1$ .
20. Quel type de filtre pourrait-on utiliser en aval du montage précédent pour obtenir  $\langle V_s \rangle$  ? Préciser comment il doit être branché (faire un schéma) et proposer des valeurs pour ses composants si  $f = 10 \text{ Hz}$ .
21. On souhaite obtenir avec un voltmètre une tension directement proportionnelle à  $f$ . Expliquer comment compléter le montage en aval du filtre pour obtenir ce résultat.