
BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Exemples d'oscillations de relaxation

par Denis GAUTHIER
Lycée Bernard Palissy - 47000 AGEN

RÉSUMÉ

Ces *expériences* et ces *enregistrements à l'ordinateur* avec la carte PC MS3 et le logiciel SYNCHRONIE s'inscrivent dans la partie du programme de terminale S, **illustration expérimentale de la complexité des phénomènes oscillants**. *Trois oscillateurs de relaxation* sont présentés ici avec leurs *trajectoires de phase*.

Le **vase de Tantale** est une illustration souvent choisie ; l'utilisation d'un capteur de pression différentielle très sensible simplifie l'enregistrement de ses oscillations (§ 1).

Une analogie électrique en est donnée par la **charge à intensité constante d'un condensateur suivie de sa décharge dans une résistance**, charge et décharge commandées par un dispositif électronique (comparateur à hystérésis et transistor en tout ou rien) (§ 2). Ce dispositif est emprunté à la chaîne électronique de régulation thermique d'un four, proposée par Monsieur l'Inspecteur Général R. MOREAU dans le cadre des précédents programmes de seconde (BUP n° 687, octobre 1986), et que j'utilise en option IESP de seconde : comme beaucoup de lycées de l'académie de Bordeaux, le lycée Bernard Palissy possède plusieurs exemplaires de cette chaîne, construits par le Centre de Fabrication de Matériel Scientifique du LTE d'Agen (maintenant fermé).

Ce **four électrique**, ainsi régulé, constitue lui aussi un exemple d'oscillateur de relaxation (§ 3).

1. OSCILLATIONS DE RELAXATION D'UN VASE DE TANTALE

L'enregistrement nécessite la réalisation **d'une tension u proportionnelle à la hauteur de liquide z dans le vase**.

Cette tension peut être obtenue en utilisant le **rhéostat d'une jauge à essence de voiture** que l'on place dans le vase et dont le flotteur fait varier la résistance avec le niveau de l'eau (Jean-Pierre DEFOSSEZ, Francis FRÉCHINET, Denis GAUTHIER : Actes des

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

septièmes journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques de Bordeaux, février 1996).

On peut aussi la créer en transformant le vase en **cuve rhéographique d'écartement variable**, avec une plaque de cuivre placée au fond et l'autre, sous un bouchon, suivant le niveau du liquide (Eric CASTET, BUP n° 792, mars 1997).

La sortie récente d'un **capteur de pression différentielle ± 20 mBar CD2000PaD1** rend la réalisation de cette tension très simple et très fiable. Ce capteur donne une tension (V) de même valeur numérique que la différence de pression (mBar) entre le fond du vase et la pression atmosphérique : on a donc, **$u(V)$ numériquement égale à $z(cm)$** .

1.1. Dispositif

1.1.1. Le capteur

Il se présente sous la forme d'un boîtier parallélépipédique de petites dimensions ($L = 6$ cm ; $l = 3$ cm ; $h = 1,8$ cm) surmonté de deux petits cylindres ($\phi = 4,8$ mm) sur lesquels on adapte des tuyaux souples pour recevoir les pressions entre lesquelles on mesure la différence : port A (+) relié au point de pression la plus forte et port B (–) relié au point de pression la plus basse.

Ce capteur est formé d'un pont piézorésistif implanté sur un substrat de silicium déséquilibré par l'existence d'une différence de pression entre A et B, et d'un dispositif de traitement donnant décalage et amplification. Il est relié par une prise DB9 (ou mini-din) à la carte du convertisseur analogique-numérique dont il utilise la tension 5 V comme alimentation V^+ et à laquelle il donne la tension u .

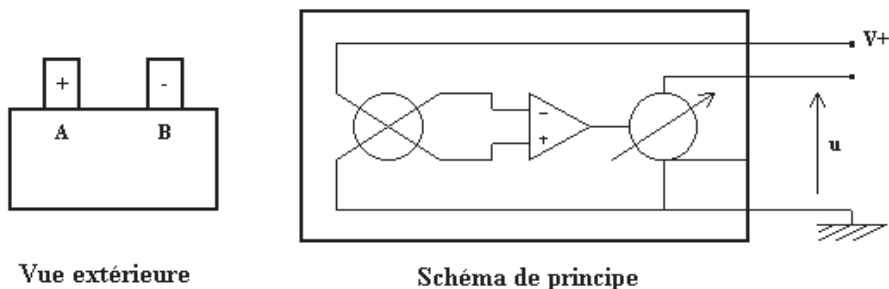


Figure 1 : Capteur de pression différentielle (20 mBar), CB2000PaD1.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

1.1.2. Le montage avec le vase

Le vase de Tantale est réalisé avec une cuve en verre cylindrique d'hydrostatique (diamètre intérieur, $D = 13,2$ cm ; hauteur 21,5 cm), munie vers le bas d'une ouverture à laquelle on adapte un tube en U recoudé (diamètre intérieur, $d = 1,1$ cm ; $h_0 = 11$ cm ; $h' = 3$ cm). On alimente le vase par un robinet de la distribution urbaine, équipé d'un tuyau caoutchouc pour éviter le clapot. Le port A (+) est mis à la pression du fond du vase par un tuyau souple et une pipette de verre fixée au vase ; le port B (–) est à la pression atmosphérique.

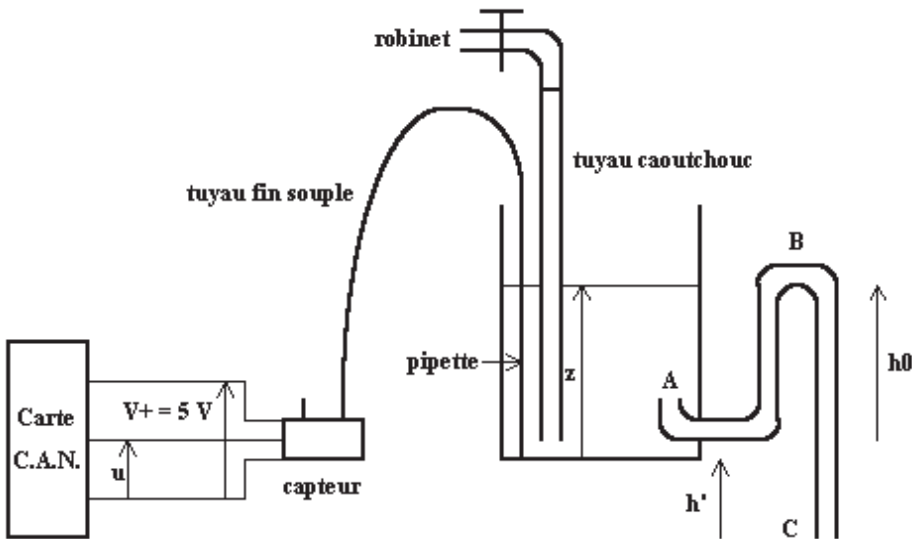


Figure 2 : Vase de Tantale avec capteur de pression.

Le débit D_0 du robinet est réglé assez faible pour permettre la vidange, mais pas trop pour donner un désamorçage net du siphon. Le deuxième coude, côté A, est difficile à réaliser ; il n'est pas indispensable mais il permet un désamorçage du siphon plus franc.

1.2. Enregistrement

Il est réalisé sur une durée de 400 s.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

1.2.1. De la courbe des oscillations, $z(t)$

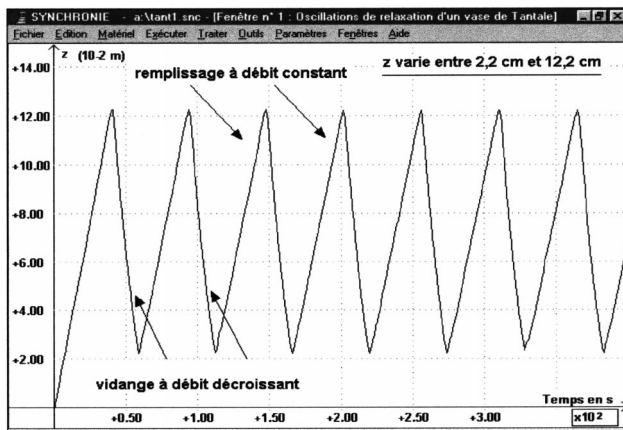


Figure 3

1.2.2. De la vitesse $v_z = dz / dt$

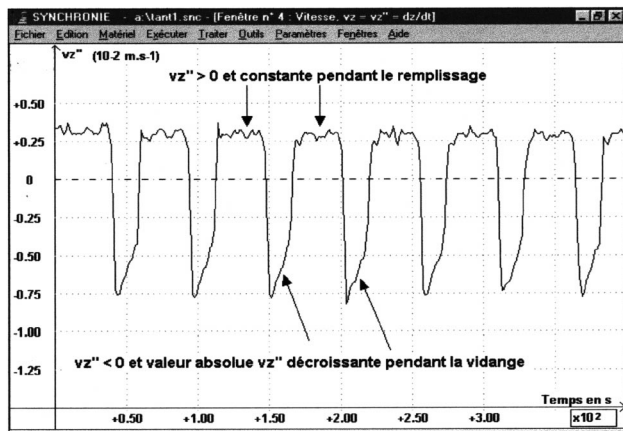


Figure 4

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

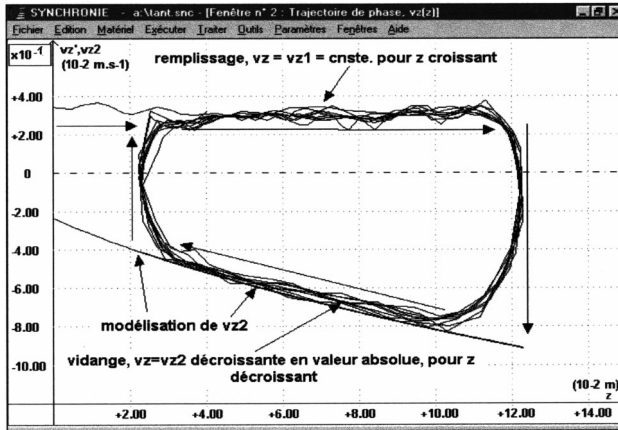
1.2.3. De la trajectoire de phase $vz(z)$ 

Figure 5

La figure 5 contient une modélisation de la vitesse, $vz = vz_2$, au cours de la vidange, traitée plus loin (§ 1.3.3.).

1.3. Modélisation de vz au cours de la vidange1.3.1. Équation différentielle et expression de vz au cours des deux phases

Pour chaque phase, cette équation est donnée par la conservation, entre t et $t + dt$, du volume de liquide d'une partie élémentaire du vase (section S et épaisseur dz) ; on en tire, chaque fois, l'expression de $vz = dz / dt$. On appelle D_0 , le débit constant du robinet, et v_C la vitesse d'écoulement du liquide à la sortie C du siphon.

• Remplissage

$$D_0 \cdot dt = S \cdot dz \quad \text{et} \quad vz_1 = dz / dt = D_0 / S \quad (1)$$

• Vidange

$$S \cdot dz = D_0 \cdot dt - s \cdot v_C \cdot dt$$

et

$$vz_1 = dz / dt = D_0 / S - (s / S) \cdot v_C = vz_1 - (s / S) \cdot v_C \quad (2)$$

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Dans ce dispositif on a $S \gg s$ et on peut assimiler le régime permanent au régime permanent d'un fluide parfait. L'application du **théorème de Bernoulli** permet d'exprimer v_C par la relation, $v_C = \sqrt{2g(h' + z)}$.

1.3.2. Rapprochement avec les résultats expérimentaux

• Remplissage

$$vz_1 = D_0 / S = \text{constante} > 0$$

C'est ce que l'on constate sur les courbes $vz(t)$ de la **figure 4** et $vz(z)$ de la **figure 5**, pour les phases de remplissage. Le *bruit* des paliers de la courbe $vz(t)$ est dû à la *dérivation informatique* de la suite discrète des valeurs de z qui accentue les petites imperfections de z ; il est atténué en utilisant le paramètre MOYENNE de la rubrique ACQUISITION (pour chaque mesure demandée, le logiciel prend pour valeur la moyenne de n acquisitions successives, ici huit), et en effectuant ensuite un lissage de la courbe.

On relève, $vz_1 = 3,0 \times 10^{-1} \text{ cm.s}^{-1} = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$, et on peut en tirer le débit du robinet :

$$D_0 = vz_1 \cdot S = vz_1 \cdot \pi D^2 / 4 = 0,003 \times \pi \times (0,132)^2 / 4 = 4,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 41 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$$

• Vidange

$$vz_2 = vz_1 - (s / S) \cdot \sqrt{2g(h' + z)} = vz_1 - (d / D)^2 \cdot \sqrt{2g(h' + z)} < 0$$

Au cours de cette phase, la hauteur d'eau z diminue dans le vase ; v_C décroît, et avec, la valeur absolue de $vz_2 < 0$.

C'est ce que l'on observe sur les courbes $vz(t)$ de la **figure 4** et $vz(z)$ de la **figure 5**, pour les phases de vidange.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Remarque : On pourrait avoir v_C et par suite v_{z_2} pratiquement constantes en utilisant un dispositif dans lequel h' serait grand devant $z_{\max}$.

1.3.3. Modélisation de $v_{z_2}(z)$

a - Tracé de la courbe $v_{z_2}(z)$ modélisée

Avec les paramètres du dispositif utilisé et en prenant la valeur expérimentale de $v_{z_1} = 0,3 \text{ cm.s}^{-1}$, on peut exprimer v_{z_2} par la relation :

$$v_{z_2} (\text{cm.s}^{-1}) = 0,3 - 0,007 \sqrt{1962 (3 + z (\text{cm}))}$$

La FEUILLE DE CALCUL du logiciel permet de tracer la courbe $v_{z_2}(z)$ en programmant :

$$v_{z_2} = 0,3 - 0,007 * SQRT (1962 (3 + z))$$

Cette courbe est représentée dans la **figure 5**.

b - Rapprochement avec la courbe expérimentale

Dans le domaine de z décroissant et correspondant au régime permanent de la vidange [10,2 cm ; 2,7 cm], on note **une bonne coïncidence entre les courbes de $v_{z_2}(z)$ modélisée et de $v_{z_2}(z)$ expérimentale** sur la trajectoire de phase de la **figure 5**.

1.3.4. Conclusion

Ce rapprochement donne une vérification expérimentale satisfaisante des approximations faites conduisant à l'application du **théorème de Bernoulli** et de l'expression, $v_C = \sqrt{2g(h'+z)}$.

2. OSCILLATIONS DE RELAXATION D'UN CONDENSATEUR

On peut obtenir **une analogie électrique des oscillations précédentes** avec un condensateur dont la charge à intensité constante et la décharge dans une résistance sont déterminées par un *interrupteur électronique*, commandé par la valeur et le sens de variation de la tension u_{AM} aux bornes de ce condensateur.

Ce dispositif est formé d'un amplificateur opérationnel comparateur à hystérésis et d'un transistor en tout ou rien, pris dans la chaîne électronique de Monsieur MOREAU.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

2.1. Montage

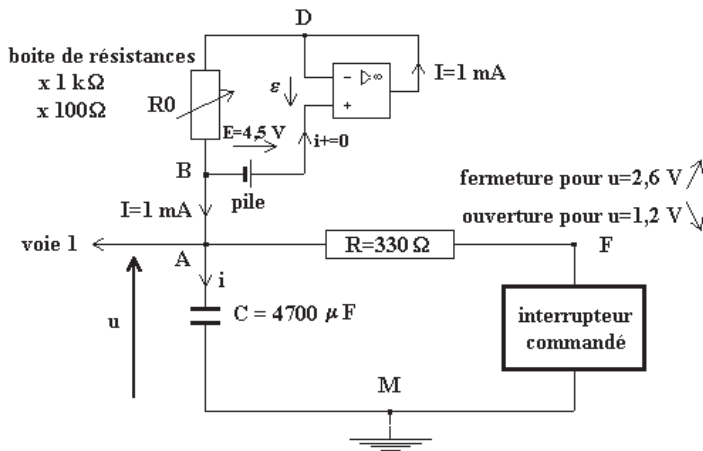


Figure 6

2.1.1. Le générateur de courant

La pile ne débite pas : on a donc $U_{PN} = E = \text{constante}$. Par ailleurs :

$$V_D - V_A = -\varepsilon + E = E \quad \text{et} \quad V_D - V_A = R_0 \cdot i$$

d'où $i = E / R_0 = \text{constante, réglable par } R_0$.

Avec un milliampèremètre, on ajuste, $i = I = 1 \text{ mA}$.

2.1.2. L'interrupteur commandé par u_{AM}

a - Le comparateur à hystérésis

La tension u_{AM} , aux bornes du condensateur, est appliquée à un amplificateur opérationnel comparateur à hystérésis dont on peut régler la tension de milieu de cycle et la largeur du cycle grâce à deux rhéostats P_1 et P_2 .

On a : $R_1 = 470 \Omega$; $P_1 = R_2 + R_3 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 2,7 \text{ k}\Omega$; $P_2 = R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_6 = 150 \text{ k}\Omega$.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

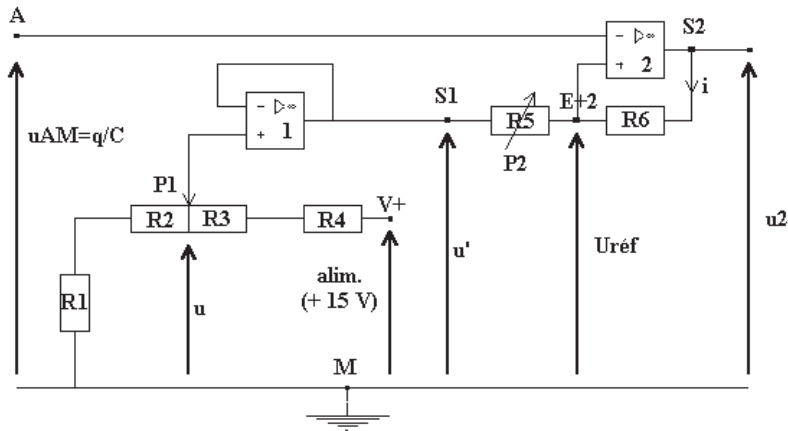


Figure 7

• Expression de u

L'ensemble (R_1 , R_2 , R_3 et R_4) forme un pont diviseur donnant :

$$u = ((R_1 + R_2) / (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)) \cdot V^+$$

• Expression de u'

L'amplificateur opérationnel 1 est monté en suiveur avec : $u' = u$.

• Expression de u_2

L'amplificateur opérationnel 2 est monté en comparateur à hystérésis. Suivant les valeurs de u_{AM} et de $U_{réf}$ u_2 ne peut prendre que deux valeurs :

$$u_2 = -V_{sat} \quad \text{et} \quad u_2 = +V_{sat}$$

• Expression de $U_{réf}$

Sur la maille (M , S_1 , $E+2$, S_2 , M) : $-u - (R_5 + R_6) \cdot i + u_2 = 0$

et

$$i = (u_2 - u) / (R_5 + R_6)$$

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Sur la maille $(M, E+2, S_2, M) : -U_{réf} - R_6 \cdot i + u_2 = 0$

et
$$i = (u_2 - U_{réf}) / R_6$$

On en tire :
$$U_{réf} = (R_5 \cdot u_2 + R_6 \cdot u) / (R_5 + R_6)$$

et ses deux valeurs possibles, liées aux deux valeurs de u_2 ,

$$U_{réf1} = (-R_5 \cdot V_{sat} + R_6 \cdot u) / (R_5 + R_6)$$

et

$$U_{réf2} = (R_5 \cdot V_{sat} + R_6 \cdot u) / (R_5 + R_6)$$

• Caractéristiques du cycle d'hystérésis

Tension au milieu du cycle,

$$U_m = (U_{réf1} + U_{réf2}) / 2 = (R_6 / (R_5 + R_6)) \cdot u, \text{ réglable par } P_2 = R_5 \text{ et par } P_1 \text{ faisant varier } u.$$

Largeur du cycle,

$$2 \delta U = U_{réf2} - U_{réf1} = (2 R_5 / (R_5 + R_6)) \cdot V_{sat} = (2 / (1 + R_6 / R_5)) \cdot V_{sat}, \text{ réglable par } P_2 = R_5.$$

b - Le transistor

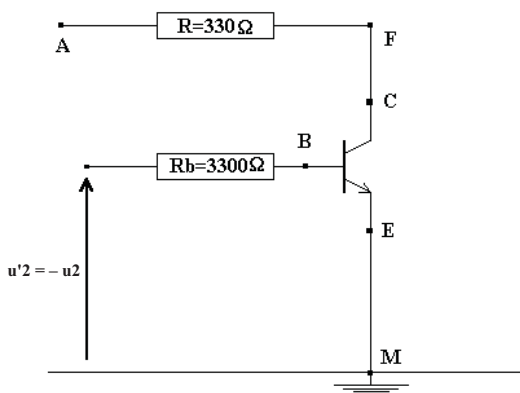


Figure 8

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

La tension $u'_2 = -u_2$ (u_2 inversée par un amplificateur opérationnel) est appliquée entre la base et l'émetteur d'un transistor NPN (transistor de puissance TIP 111 dans la chaîne pour conduire un courant élevé alimentant le four électrique, pas nécessaire ici avec un courant faible).

Quand $u'_2 = -V_{sat}$, le transistor est bloqué, assimilable à un interrupteur ouvert. Quand $u'_2 = +V_{sat}$, le transistor est passant saturé, assimilable à un interrupteur fermé avec, $u_{CE} = U_t = 0,7 \text{ V} = \text{constante}$ (mesuré avec un voltmètre) dans le domaine de fonctionnement utilisé, $1,2 \text{ V} < u = u_{AM} < 2,6 \text{ V}$; **il relie alors l'armature M du condensateur) à la résistance $R = 330 \Omega$.**

Remarque : Le signe de tension u_2 est changé pour obtenir la fermeture (décharge du condensateur) pour la limite supérieure ($U_{réf2}$), et l'ouverture (charge du condensateur) pour la limite inférieure ($U_{réf1}$) : le fonctionnement du dispositif est ici inversé par rapport à la chaîne de Monsieur MOREAU.

2.2. Réglages

Les tensions limites, entre lesquelles vont se faire les charges et décharges successives du condensateur, sont données par les valeurs de la tension au centre du cycle d'hystérésis U_m et de la largeur de ce cycle $2\delta U$.

Pour effectuer ces réglages, on applique en tension u à l'entrée du comparateur, la tension sinusoïdale d'un GBF avec une amplitude supérieure à 4 V et une fréquence de quelques centaines de Hertz. Cette tension u est transmise à la voie 1 et la tension de sortie u_2 à la voie 2 d'un oscilloscope en XY.

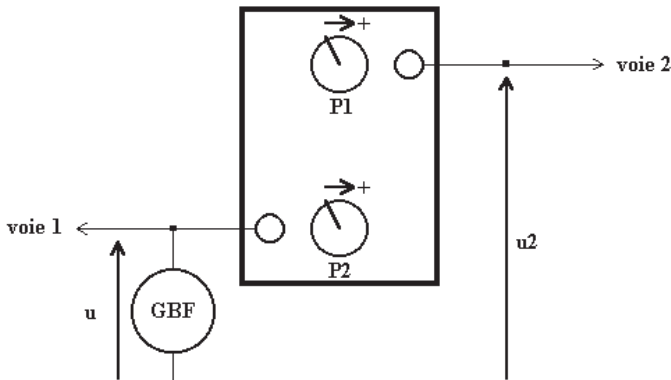


Figure 9

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

2.2.1. Réglage de U_m

On rend, $\delta U = V_{sat} / (1 + R_6 / R_5) \approx 0$ en tournant P_2 à fond dans le sens + pour donner à R_5 sa valeur minimale ; ce qui entraîne, $U_{réf1} \approx U_{réf2} \approx U_m$.

On règle ensuite, $U_m = (R_6 / (R_5 + R_6)) \cdot u$, en modifiant u grâce à P_1 que l'on ne touchera plus quand la valeur souhaitée pour U_m sera obtenue.

2.2.2. Réglage de δU

Le cycle est élargi en tournant P_2 en sens négatif jusqu'à obtenir les valeurs limites souhaitées pour $u = u_{AM}$.

2.2.3. Enregistrement du cycle d'hystérésis

Les tensions u et u_2 sont appliquées en voies 1 et 2 de l'ordinateur pour une acquisition sur trois ou quatre périodes et on fait tracer $u_2 = f(u)$.

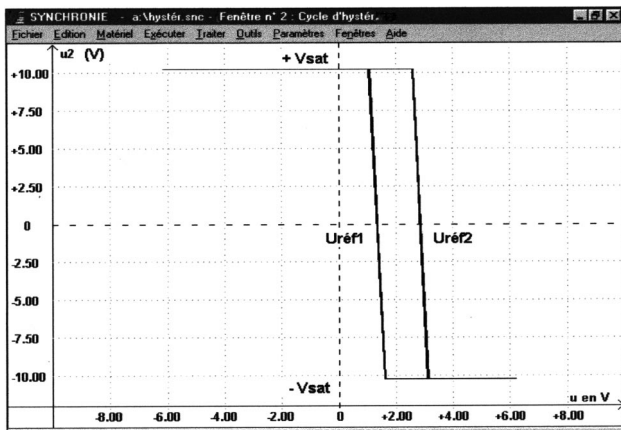


Figure 10

2.3. Enregistrement

Les réglages précédents donnent pour limites de u : 1,2 V et 2,6 V. On prend une durée d'acquisition de 60 s.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

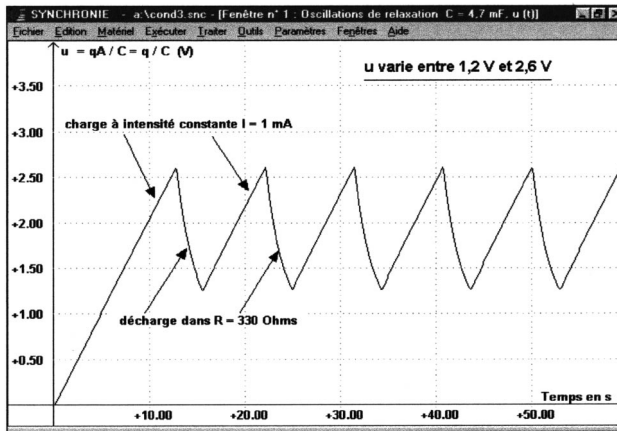
2.3.1. Courbe $u(t)$ 

Figure 11

2.3.2. Courbe $i(t)$

☆ Avec $u = u_{AM} = q_A / C = q / C$ et le sens + choisi pour i rentrant dans l'armature A, on a :

$$i = dq / dt = C \cdot du / dt$$

La FEUILLE DE CALCUL permet au logiciel de tracer $i(t)$ en écrivant :

$$i = C * \text{dériv}(u, t) = 0,0047 * \text{dériv}(u, t)$$

(cf. figure 12)

☆ On retrouve les deux phases :

- $i = I = 1 \text{ mA} = \text{constante} > 0$, pendant la charge ;
- $i < 0$, croissant en valeur algébrique et décroissant en valeur absolue, de façon exponentielle pendant la décharge.

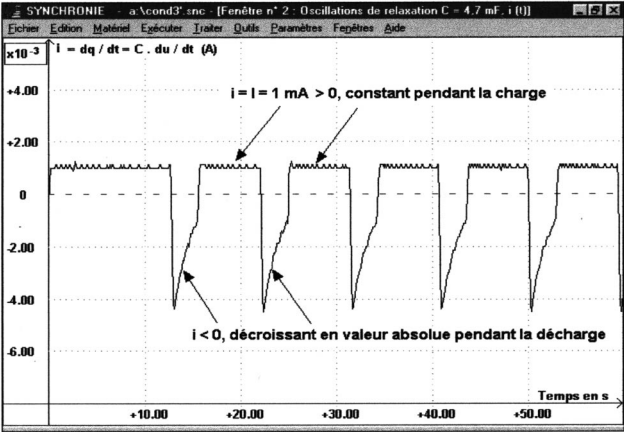


Figure 12

2.3.3. Trajectoire de phase, $i(u)$

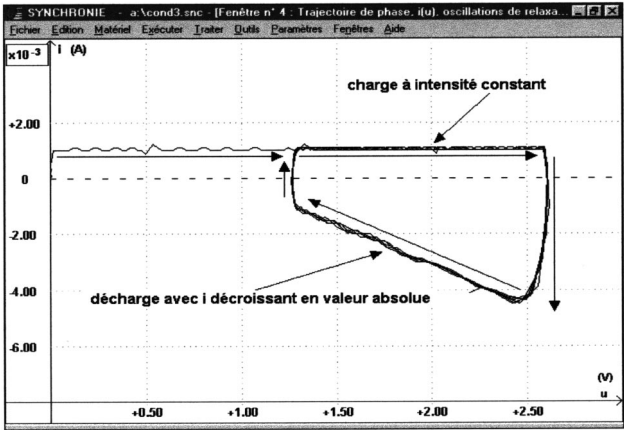


Figure 13

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

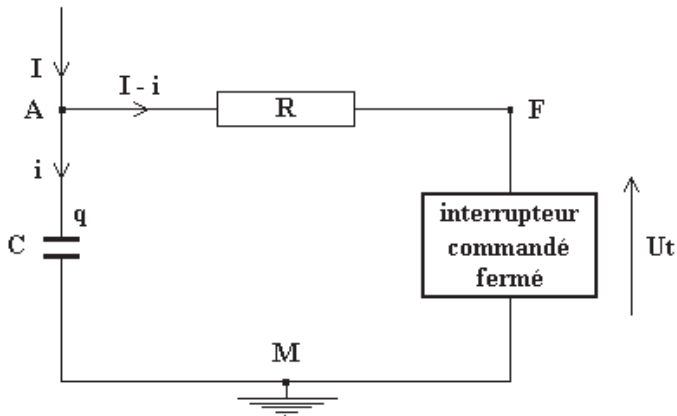
2.4. Modélisation de $i(t)$ au cours de la décharge2.4.1. Équation différentielle et expression de $i(t)$ 

Figure 14

☆ L'additivité des tensions successives permet d'écrire :

$$u_{MA} + u_{AF} + u_{FM} = -q / C + R \cdot (I - i) + U_t = 0$$

avec

$$i = dq / dt$$

$$R \cdot dq / dt + q / C = U_t + RI = U$$

$$RC \cdot dq / dt + q = CU$$

Cette équation a une solution de la forme :

$$q = K \cdot e^{-t/RC} + CU$$

L'interrupteur commandé se ferme à $t = 0$, quand la tension $u = u_{AM}$ atteint $u_{\max} = 2,6 V$ en croissant : on a donc à $t = 0$, $q = q_0 = C \cdot u_{\max}$. La référence aux conditions initiales permet de calculer K et d'exprimer q :

$$q_0 = C \cdot u_{\max} = K + CU \quad \text{d'où} \quad K = C \cdot (u_{\max} - U)$$

et

$$q = C \cdot (u_{\max} - U) \cdot e^{-t/RC} + CU$$

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

☆ On en déduit :

$$i = dq / dt = - \left((u_{\max} - U) / R \right) \cdot e^{-t/RC} = - \left((u_{\max} - U_t - RI) / R \right) \cdot e^{-t/RC}$$

$$i = - \left(\left((u_{\max} - U_t) / R \right) - I \right) \cdot e^{-t/RC} \quad (1)$$

soit

$$i = - I_0 \cdot e^{-t/RC}$$

avec

$$I_0 = \left((u_{\max} - U_s) / R \right) - I$$

2.4.2. Modélisation de $i(t)$

a - Tracé de la courbe $imod(t)$

Avec les paramètres du montage l'équation (1) donne :

$$I_0 = \left((2,6 - 0,7) / 330 \right) - 0,001 = 4,7 \times 10^{-3} \text{ A} \quad \text{et} \quad RC = 1,55 \text{ s}$$

La FEUILLE DE CALCUL du logiciel permet de tracer la courbe $imod(t)$, définie physiquement sur un intervalle de temps correspondant à la décharge du condensateur, en programmant avec t_{0n} date de début d'une décharge :

$$imod = - 0,0047 * \exp\left(- (t - t_{0n}) / 1,55\right)$$

soit pour l'intervalle [12,9 s ; 15,5 s],

$$imod = - 0,0047 * \exp\left(- (t - 12,9) / 1,55\right)$$

b - Rapprochement avec la courbe expérimentale $i(t)$

La courbe $imod(t)$ obtenue est représentée sur la **figure 15** avec la courbe $i(t)$ expérimentale.

Dans le domaine de définition physique ($12,9 \text{ s} < t < 15,5 \text{ s}$), **ces deux courbes ont une bonne coïncidence montrant la validité de cette modélisation.**

2.5. Conclusion

Dans cet exemple, on trouve **des grandeurs électriques ayant des variations analogues à celles des grandeurs mécaniques** utilisées avec le vase de Tantale : $u(t)$ (ou $q(t) = u(t) / C$) et $z(t)$; $i(t)$ et $vz(t)$.

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

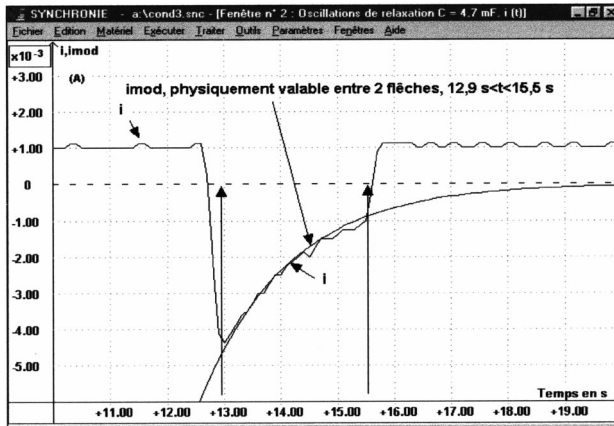


Figure 15

3. OSCILLATIONS DE RELAXATION D'UN FOUR ÉLECTRIQUE RÉGLÉ EN TEMPÉRATURE

3.1. Présentation synoptique de la chaîne

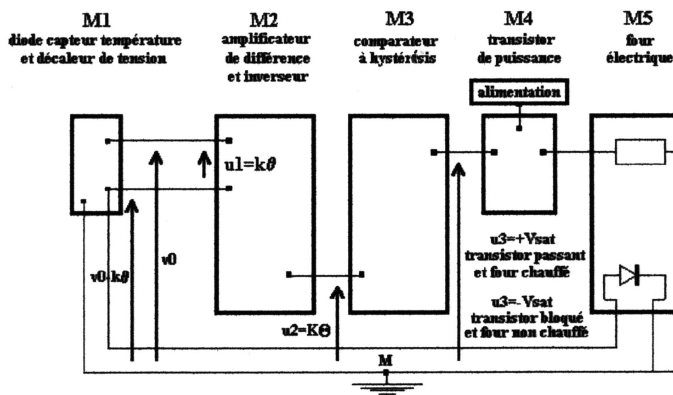


Figure 16

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Cette chaîne est formée de cinq modules et on y retrouve les modules M3 et M4, utilisés pour les oscillations du condensateur. Le capteur de température est une diode silicium traversée par un courant constant de 1 mA, fourni par un générateur de courant construit à partir de l'alimentation + 15 V et d'un transistor NPN ; la tension, $v = u_{AK}$, aux bornes de cette diode est alors une fonction affine décroissante de la température, $v = v_0 - k\theta$. Les modules M1 et M2 permettent d'obtenir une tension, $u_2 = K\theta$ avec $K = 0,1 \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Actuellement, cette tension u_2 peut être aussi obtenue avec **un capteur thermique intégré LM35** donnant, $v = K_0\theta$ avec $K_0 = 0,01 \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ et une amplification par 10.

Des réglages sur le cycle d'hystérésis, identiques à ceux du paragraphe précédent, permettent de fixer les températures limites θ_1 et θ_2 entre lesquelles est régulée la température du four.

Le four est formé d'une petite enceinte (boîte en carton ou boîte métallique), chauffée par une résistance de 3,3 k Ω et une alimentation de puissance 6 V ou 12 V.

3.2. Enregistrement

Les réglages permettent d'avoir pour limites de θ : 27,5°C et 37,5°C. On fait une acquisition sur 2000 s.

3.2.1. Courbe $\theta(t)$

On a θ (°C) numériquement égale à $10 u_2$ (V). On obtient la courbe $\theta(t) = \text{tempé}(t)$ en enregistrant $u_2(t)$ avec une amplification par 10 (cf. figure 17).

3.2.2. Courbe $v_{\text{tempé}}(t) = d\theta / dt$

Cette courbe doit être améliorée par un pré-lissage de $\text{tempé}(t)$ (paramètre MOYENNE de la rubrique ACQUISITION) et un post-lissage de $v_{\text{tempé}}(t)$ (cf. figure 18).

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

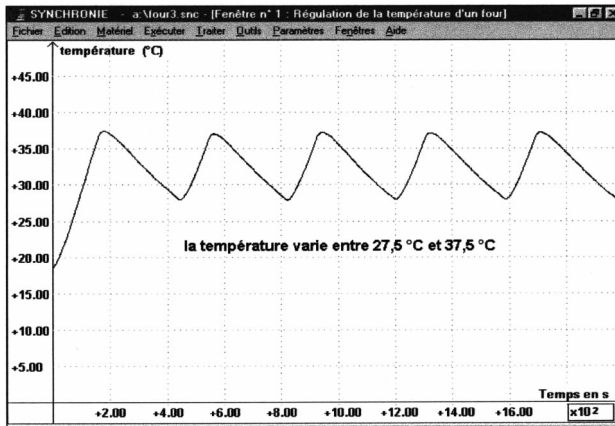


Figure 17

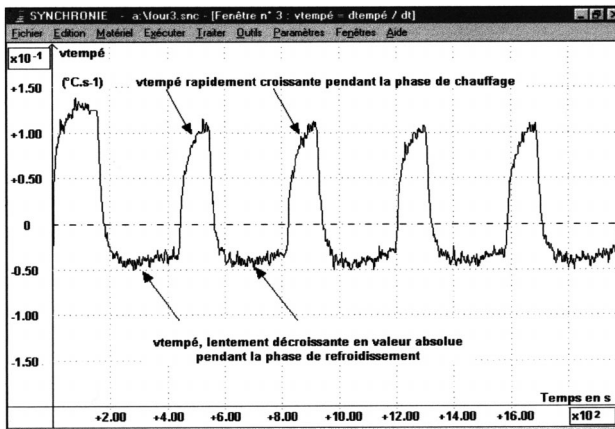


Figure 18

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

3.2.3. Trajectoire de phase $v_{temp}(\theta)$

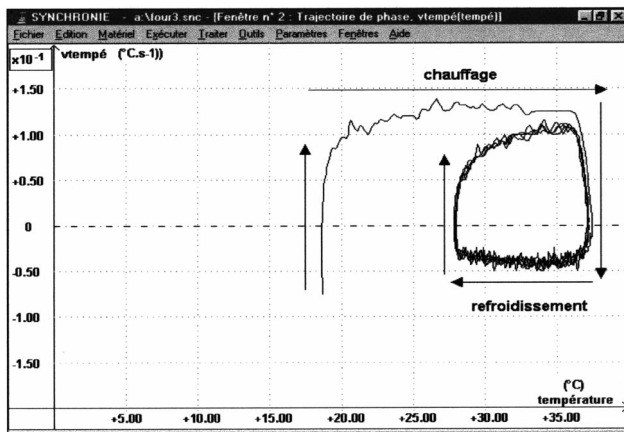


Figure 19

4. CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour chacun de ces oscillateurs de relaxation, **un paramètre varie périodiquement dans le temps entre deux valeurs limites** : le niveau z de l'eau, pour le vase de Tantale ; la tension u entre ses bornes (ou la charge q), pour le condensateur ; la température θ , pour le four électrique.

Les oscillateurs de relaxation n'ont pas d'état d'équilibre. Ils évoluent entre deux états extrêmes avec, en général comme dans ces exemples, deux phases : une phase pendant laquelle ils reçoivent de l'énergie et une phase pendant laquelle ils cèdent de l'énergie au milieu extérieur.

BIBLIOGRAPHIE

R. MOREAU : «Un montage électronique pour la classe de seconde» - BUP n° 687, octobre 1986.

E. CASTET : «Vase de Tantale et trajectoire de phase expérimentale» - BUP n° 792, mars 1997.

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

CAPTEUR

Capteur de pression différentielle ± 20 mBar CD2000PaD1 : Langage et Informatique.

LOGICIELS

- Logiciel d'acquisition, SYNCHRONIE et carte PCMS3 : Eurosmart.
- Logiciel de tracé des schémas, L'ARDOISE DE L'ÉLECTRICITÉ :
Langage et Informatique.