

# De l'oscilloscope à l'ordinateur

par J.C. CHATILLON  
Lycée Français de Madrid

---

## 1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, les professeurs de Sciences Physiques peuvent utiliser des ordinateurs équipés d'interface d'acquisition de données pour faire de l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (Ex.A.O.). Ce matériel informatique était employé depuis longtemps pour des opérations de mesure, de contrôle, de surveillance ou de robotique ; il peut maintenant servir dans notre enseignement expérimental à des fins pédagogiques.

Notre lycée est donc entré, lui aussi, dans l'ère de l'ordinateur outil de laboratoire puisque nous disposons d'ordinateurs équipés de carte Candibus, des logiciels et des capteurs nécessaires...

Un examen rapide du matériel nous amène à constater que, dans nos laboratoires de Sciences Physiques, l'oscilloscope est l'appareil qui ressemble le plus à l'ordinateur utilisé en Ex.A.O. Deux fils sortent de la carte : une voie 1 et une voie 2 (+ masse). Sur l'écran du moniteur nous traçons des graphes  $V = f(t)$  et, en mode XY,  $V_1 = g(V_2)$ . Nous avons une synchronisation...

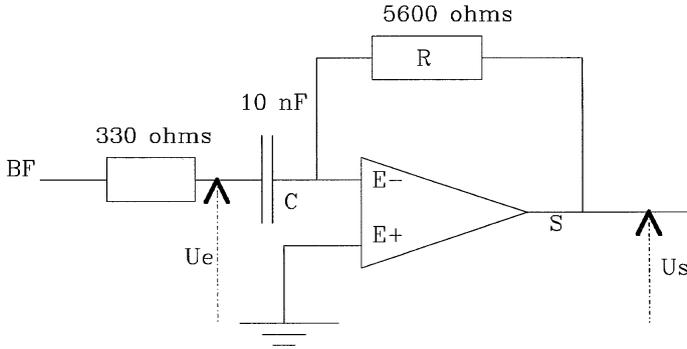
L'utilisation comparée d'un oscilloscope et d'un ordinateur dans trois manipulations nous permettra de voir jusqu'où va cette ressemblance.

## 2. ÉTUDE D'UN CIRCUIT DÉRIVATEUR

*Voir l'Annexe A (logiciel Labo) et l'Annexe B (principe de fonctionnement des convertisseurs analogiques numériques).*

### 2.1. Montage

Soit le montage dérivateur suivant :



Les voies 1 de l'oscillo et de l'ordinateur mesurent  $U_e$  .

Les voies 2 de l'oscillo et de l'ordinateur mesurent  $U_s$  .

Le générateur BF fournit un signal  $U_e$  triangulaire de fréquence 500 Hz.

### Observation des courbes

N'insistons pas sur les réglages, bien connus de tous, d'un oscilloscope : synchronisation et amplification en  $Y_1$  et  $Y_2$ .

Sur l'ordinateur, nous avons déjà lancé le logiciel LABO mais, avant de voir la courbe sur l'écran, il nous faut d'abord choisir dans le menu les **<paramètres>** d'acquisitions, le type de **<dessin>** (graphe 2D ou XY) puis lancer l'**<acquisition>**.

Nous voyons alors sur l'écran du moniteur la figure 1 avec, en plus des graphes  $U_e = f(t)$  et  $U_s = g(t)$ , la valeur des paramètres utilisés : 200 mesures, deux voies de mesures, temps entre deux mesures 100  $\mu$ s.

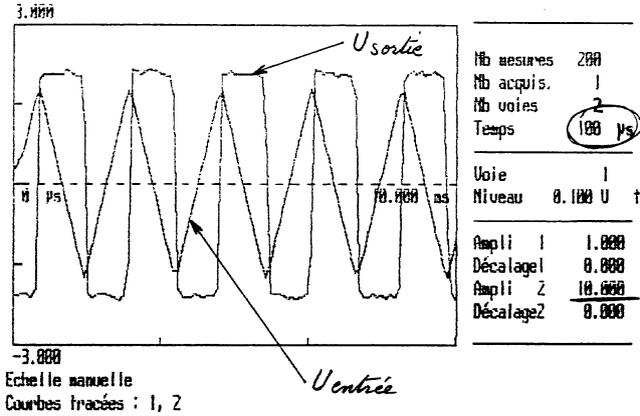
### 2.2. Étude théorique

Nous allons vérifier la relation donnée par l'étude théorique du montage :

$$U_s = -R.C. \frac{dU_e}{dt}$$

a) Avec l'oscilloscope, nous allons mesurer  $dU_e / dt$  sur l'écran, puis multiplier par  $R.C = 5,6.10^{-5}$  pour vérifier que le résultat donne bien  $U_s$  mesuré.

Acquisition en cours: 1 Mode: Normal

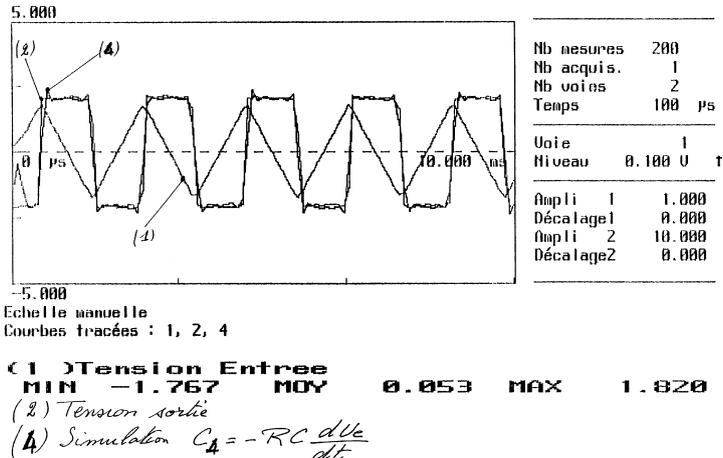


(1) Tension Entree  
MIN -1.767 MOY 0.053 MAX 1.820

Figure 1

b) Avec l'ordinateur nous allons d'abord chercher la dérivée de  $U_e$  : la courbe C3 représentera la dérivée de  $U_e$  en choisissant <Calcul> <Dérivée> dans le menu. Enfin pour obtenir  $U_s$  nous écrirons dans <Calcul> <Formule> :

$$C4 = -5,6E-5 * 10 * C3$$



(1) Tension Entree  
MIN -1.767 MOY 0.053 MAX 1.820

Figure 2

Le facteur 10 supplémentaire intervient car la courbe C2 a été amplifiée 10 fois (figures 1 et 2). Nous avons directement la figure 2 après avoir demandé l'affichage des courbes 1, 2 et 4.

La vérification est excellente. Mais, au fait, pourquoi ai-je choisi une tension d'entrée  $U_e$  triangulaire ? Parce que c'est le seul signal pour lequel je peux mesurer facilement  $dU_e/dt$  sur l'écran d'un oscilloscope. Avec l'ordinateur j'obtiendrai toujours la dérivée quelle que soit la tension d'entrée, sinusoïdale ou même tension non périodique donnée par un micro !

**Avec l'ordinateur, je pourrai vérifier que :**

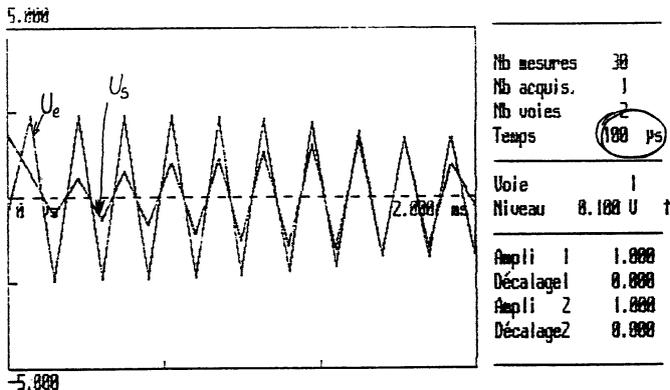
$$U_s = -R.C.dU_e/dt$$

**pour une tension d'entrée quelconque.**

### 2.3. Limite en fréquence

Alimentons maintenant le circuit avec une tension triangulaire de fréquence 5 000 Hz (période 200  $\mu$ s). Le résultat obtenu (après une nouvelle acquisition) sur la figure 3 est surprenant, mais facile à comprendre. En effet l'ordinateur a fait une mesure de  $U_e$  et  $U_s$  toutes les 100  $\mu$ s, c'est-à-dire deux mesures par période de  $U_e$  puis il a joint les points obtenus par un segment de droite. On montre ainsi que la dérivée d'un signal  $U_e$  triangulaire est une tension  $U_s$  triangulaire. Avec une tension  $U_e$  de fréquence 10 000 Hz (période 100  $\mu$ s), on trouverait même  $U_s$  constante !

Acquisition en cours: 1 Mode: Normal



Echelle manuelle  
Courbes tracées : 1, 2

Figure 3

Toutes les courbes sont tracées ainsi : il suffit d'agrandir sur l'axe Ot l'échelle du graphe de la figure 1 pour voir qu'il est en fait constitué d'une succession de segments de droites (ou pointillés, ou points...) qui passent par les 200 points de mesure !

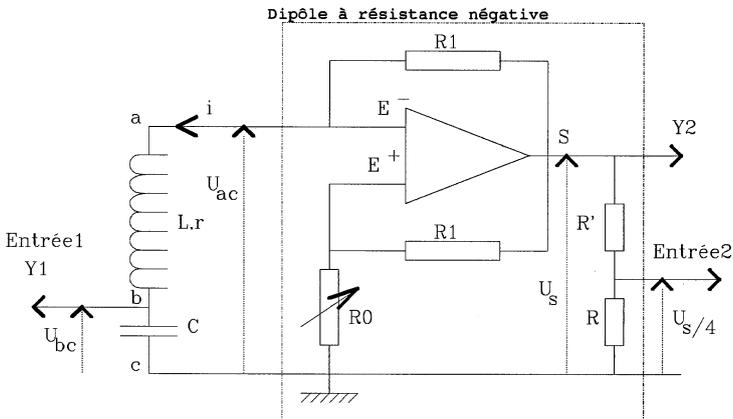
**Il sera donc impossible d'étudier avec l'ordinateur une tension de fréquence supérieure à 1 000 ou 2 000 Hz à cause du temps de conversion des convertisseurs analogiques numériques** (68  $\mu$ s minimum pour la conversion de deux tensions sur Candibus, d'autres interfaces ont des temps de conversion plus faible). Nous ne sommes pas habitués à une limite aussi basse car les oscilloscopes permettent couramment l'étude de tension dont la fréquence atteint 10 MHz.

### 3. OSCILLATIONS ENTRETENUES AVEC UN A.Op. DANS UN CIRCUIT R.L.C.

*Voir l'Annexe C (synchronisation des mesures sur un ordinateur).*

#### 3.1. Schéma du montage

$U_s$  est mesuré sur la voie  $Y_2$  de l'oscilloscope. Par contre sur l'Entrée 2 de l'ordinateur, il est nécessaire de placer un pont diviseur pour avoir  $U_s/4$ . En effet la carte Candibus ne peut pas faire la conversion de tension  $> 5$  V dans la configuration utilisée.



On a :  $R_1 = 1\,500\ \Omega$  ;  $R_0$  Résistance ajustable par décades type AOIP ;  $C = 1\ \text{mF}$  ;  $L = 35\ \text{mH}$  ce qui donne une période propre  $T_0 = 1,16\ \text{ms}$ ,  $f_0 = 850\ \text{Hz}$  environ ; la valeur de  $r$  est donnée par la

valeur  $R_0$  minimum qui donne des oscillations :  $r = 20 \Omega$  environ (Annexe D).

Avec la convention algébrique choisie on a :

$$u_{ac} = R_0 \cdot i$$

Suivant les valeurs relatives de  $R_0$  et  $r$  nous aurons différents régimes.

### 3.2. Étude du circuit

#### 3.2.a. Régime permanent - A.Op. «non saturé» $R_0 = 24 \Omega$

On obtient la figure 4. Puisque  $R_0$  est très légèrement supérieur à  $r$ ,  $U_s$  est pratiquement sinusoïdal.

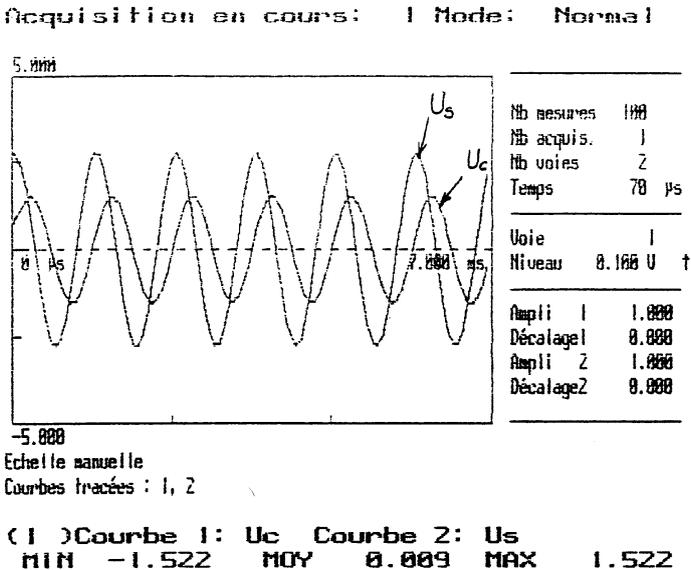


Figure 4

Il y a peu de différences dans l'utilisation des appareils, si ce n'est que l'ordinateur permet d'obtenir les graphes sur imprimante et que l'oscilloscope semble moins «lourd» à manipuler. Pour l'ordinateur il faut rentrer tous les paramètres d'acquisition au clavier !

Il est cependant possible, par exemple pour faire une présentation à des élèves, de sauvegarder dans un fichier dit «de configuration» tous les paramètres d'une acquisition. Il suffira de charger ce fichier avant de faire la manipulation.

### 3.2.b. Régime permanent - A.Op. «saturé» $R_0 = 124 \Omega$

Même chose que pour le paragraphe précédent, nous obtenons la figure 5.

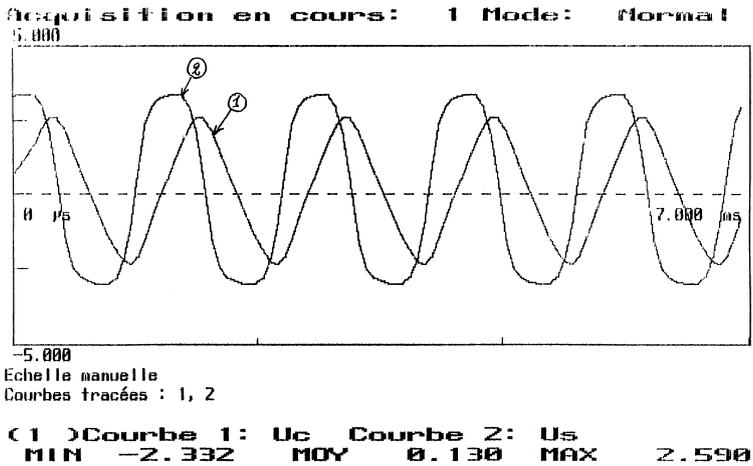


Figure 5

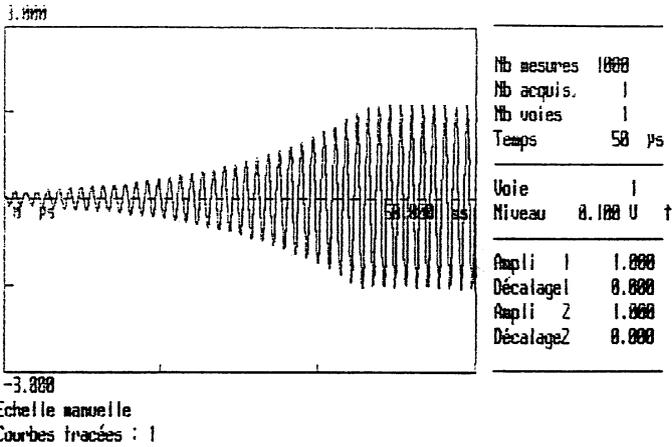
### 3.2.c. Régime transitoire - A.OP. «non saturé» $R_0 = 24 \Omega$

Donnons à  $R_0$  la valeur initiale  $R_0 = 14 \Omega$ , il n'y a pas d'oscillation. Augmentons  $R_0$  de  $10 \Omega$ , les oscillations apparaissent puisque  $R_0$  devient supérieur à  $r = 20 \Omega$ . Ce phénomène non périodique n'est pas observable à l'oscilloscope (sauf si l'on utilise un oscilloscope à mémoire); nous verrons seulement le régime permanent établi au bout de quelques fractions de seconde.

Avec l'ordinateur je vais utiliser la synchronisation qui n'a pas, comme nous allons le voir, le même rôle que celle de l'oscilloscope (annexe C).

Donnons à  $R_0$  la valeur  $R_0 = 14 \Omega$ , il n'y a pas d'oscillation. Choisissons dans synchronisation <niveau> 0,1 V et <sens> croissant. Je lance alors l'«Acquisition», puis je donne à  $R_0$  la valeur  $R_0 = 24 \Omega$ .

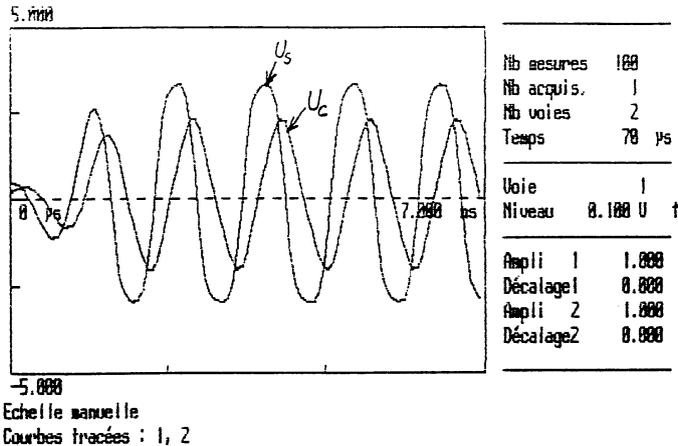
Acquisition en cours: 1 Mode: Normal



(1) Courbe 1: Deb oscil Ro=24 ohms  
 MIN -1.560 MOY -0.001 MAX 1.630

Figure 6

Acquisition en cours: 1 Mode: Normal



(1)  $U_c$  et  $U_s$  Deb oscil Ro=124ohms  
 MIN -2.050 MOY 0.155 MAX 2.315

Figure 7

Les oscillations apparaissent et dès que  $U_c$  atteint la valeur  $U_c = 0,1 \text{ V}$  dans le **sens croissant**, l'ordinateur commence à faire les 1 000 mesures demandées toutes les 50  $\mu\text{s}$ .

Nous obtenons la figure 6.

### 3.2.d. Régime transitoire - A.Op. «saturé» $R_0 = 124 \Omega$

Nous pratiquons la même démarche avec  $R_0$  passant de 14 à 124  $\Omega$  et nous obtenons la figure 7.

Nous constatons, comme le prévoit la théorie, que le temps mis pour arriver au régime permanent est plus faible que précédemment.

## 3.3. Étude théorique

### 3.3.a. Apparition des oscillations

La théorie nous montre que nous avons dans le circuit :

$$u_{ac} = u_{ab} + u_{bc} = u_{ab} + U_c$$

en dérivant nous avons :

$$L \cdot d^2i/dt^2 + (r - R_0) \cdot di/dt + i/C = 0$$

Nous trouvons finalement :

$$U_c = A \cdot e^{\frac{-(r-R_0)t}{2 \cdot L}} \cdot \cos \left[ \frac{1}{2} \sqrt{4 \omega_0^2 - \frac{(r-R_0)^2}{L^2}} \cdot t + \phi \right]$$

Nous allons tracer cette courbe théorique sur l'écran et la comparer avec la courbe expérimentale.

Plusieurs problèmes se posent dans le choix des différentes grandeurs :

- nous ne connaissons pas  $r$  de façon précise (voir annexe D),
- à  $t=0$ , nous savons que  $U_c = 0,1 \text{ V}$  croissant, pour la courbe expérimentale. Choisissons  $A = 0,1 \text{ V}$  et  $\phi = 0 \text{ rad}$ .

Dans <Calcul> <Formule> nous écrivons alors :

$$C2=0.1*\exp(60*t)*\cos(5350*t)$$

60 et 5350 étant obtenus en remplaçant les grandeurs  $r$ ,  $R_0$ ,  $L$  et  $C$  par leurs valeurs numériques approchées.

Puis nous demandons l'affichage des courbes 1 et 2. Par approximations successives, en modifiant les coefficients numériques, nous essayons de superposer les deux courbes. Nous obtenons ainsi la figure 8 pour :

$$U_c = 0,1 e^{75t} \cos 5440t$$

ce qui est très proche de la valeur théorique.

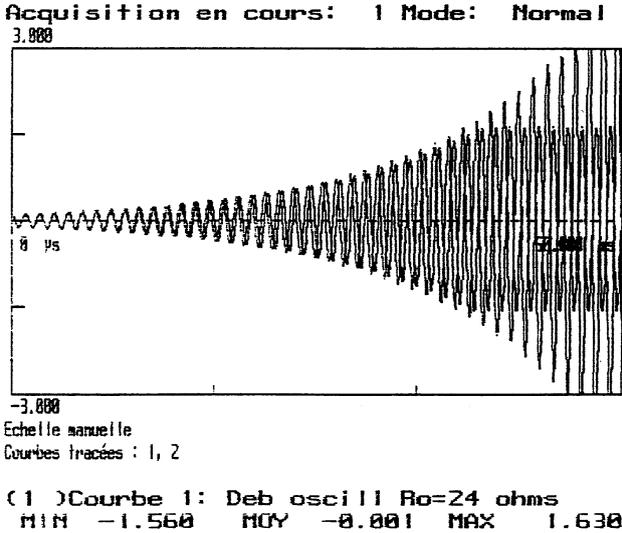


Figure 8

### 3.3.b. Énergie

L'énergie emmagasinée dans un condensateur est donnée par  $1/2.C.V^2$ . L'énergie magnétique nécessaire pour établir un champ magnétique dans une bobine est  $1/2.L.I^2$ . Dans le circuit, en régime permanent, les pertes  $r.i^2.t$  par effet joule sont compensées par l'énergie apportées par l'AOp. On devrait pouvoir vérifier que  $1/2.C.V^2 + 1/2.L.i^2$  est constant.

Calculons les énergies en microjoules.

Toujours dans le menu <Calcul> nous obtenons la courbe C2 dérivée de C1 :

$$C2 \text{ dérivée de } U_c = \frac{dC1}{dt} \quad \text{soit } I = C \cdot \frac{dU_c}{dt} = C.C2$$

L'énergie magnétique est donnée par :

$$C3 = 1/2.L.i^2 = 1/2.L.C^2.(C2)^2$$

On écrit :  $C3 = 1.74E-8 * \text{sqr}(C2)$

L'énergie dans le condensateur est donnée par :

$$C4 = 1/2.C.(C1)^2$$

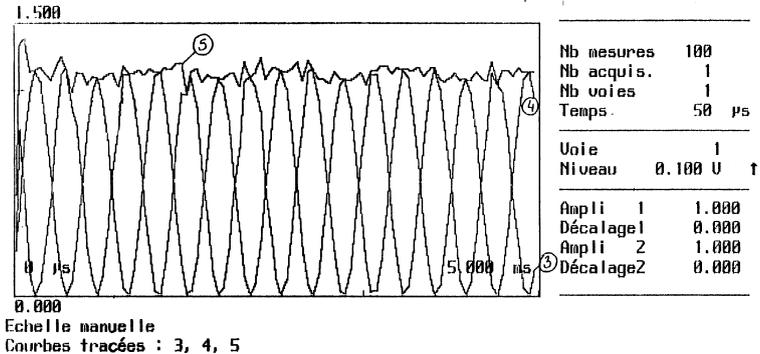
On écrit :  $C4 = 0.5 * \text{sqr}(C1)$

L'énergie totale sera donnée par :

$$C5 = C3 + C4$$

Nous demandons l'affichage des courbes 3, 4 et 5. Nous obtenons la figure 9.

**Acquisition en cours: 1 Mode: Normal**



**(3) Energie en microjoule**  
**MIN 0.000 MOY 0.590 MAX 1.245**

Figure 9

#### 4. PENDULE PESANT

##### 4.1. Le pendulor

Le pendulor est un pendule pesant dont la rotation se fait autour de l'axe d'un potentiomètre «sans frottement».

En oscillant le pendule entraîne le curseur et si les frottements sont négligeables nous pouvons admettre, et vérifier qu'il y a conservation

de l'énergie mécanique. Après étalonnage, on peut déterminer l'angle que fait le pendule avec la verticale en fonction de la résistance mesurée entre le curseur et une extrémité du potentiomètre.

Si avec l'ordinateur nous mesurons cette résistance toutes les 10 ms, nous pourrions tracer :

$$\text{angle } \alpha = f(t)$$

Il nous faut alors introduire la masse  $m$ , la distance  $OG = d$  et le moment d'inertie déterminé par la mesure de la période.

Nous utilisons ici le logiciel **Pendule** qui est une version optimisée de **Labo** pour l'étude du penduloir.

Avec l'oscilloscope nous pouvons aussi obtenir une déviation du spot sur l'écran. Malheureusement, la période du pendule étant de l'ordre de la seconde, nous n'avons pas d'image fixe et permanente.

#### 4.2. Étude de l'énergie mécanique

Après avoir fait l'<Acquisition> de  $\alpha = f(t)$ , nous passons dans le module Analyse. Nous voyons directement l'angle et la vitesse angulaire (obtenue par dérivation) en fonction du temps (figure 10).

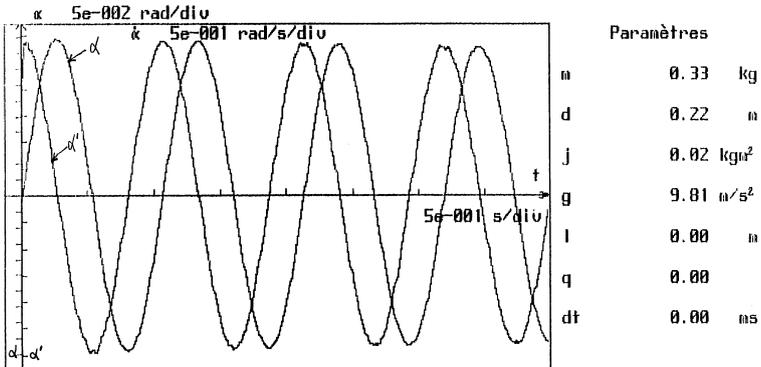


Figure 10

Dans le menu <Calcul> nous entrons alors les formules suivantes au clavier :

$$ec=1/2*j*sqr(\alpha')$$

$$ep = m * g * d * (1 - \cos(\alpha))$$

$$et = ec + ep$$

Après calcul des grandeurs, nous obtenons la figure 11 et un puits de potentiel figure 12.

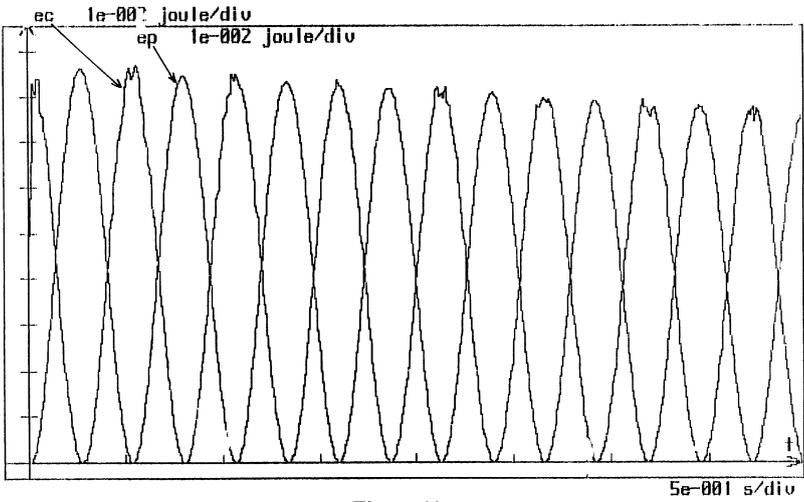


Figure 11

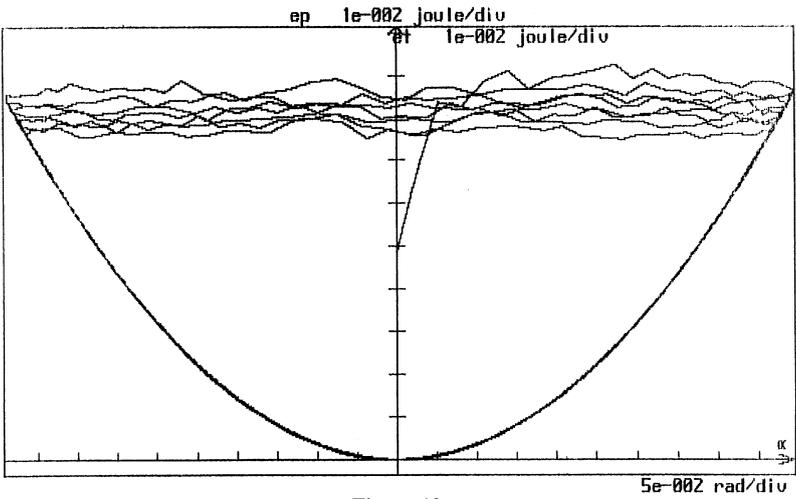


Figure 12

Dans les basses fréquences, l'oscilloscope est inutilisable, par contre le temps entre deux mesures par ExAO peut être compris entre quelques millisecondes, quelques minutes, voire plusieurs heures. Ceci permet de faire de nouvelles manipulations en mécanique, calorimétrie, cinétique chimique qui étaient infaisables avec un oscilloscope.

## 5. CONCLUSION

### 5.1. Oscilloscope ou ExAO

- En ExAO, le temps de conversion des Convertisseurs Analogique Numérique ne permet pas d'étudier des fréquences supérieures à quelques milliers de Hertz. Depuis que les oscilloscopes atteignent facilement 10 MHz, nous n'étions plus habitués à cette limitation.

Par contre nous pouvons travailler dans les basses fréquences en dessous du Hertz ; c'est un avantage en mécanique, domaine pratiquement inaccessible à l'oscilloscope.

- La synchronisation de l'oscilloscope ajuste la période du balayage sur la période du signal étudié. En ExAO la synchronisation fixe les conditions de départ d'une série de mesures (début d'une **<acquisition>**). L'ordinateur n'est pas limité aux phénomènes périodiques, on pourra par exemple faire en calorimétrie des mesures de température pendant plusieurs heures, étudier le son donné par un microphone...

- D'une manière générale en ExAO toutes les entrées de **<paramètres>** **<données>** **<Synchro>**... sont longues, même en utilisant une souris ou un fichier de configuration préalablement enregistré sur disquette. Avec l'oscilloscope, tous les élèves (et même les professeurs) savent qu'il suffit de «bidouiller» les boutons, parfois même sans trop réfléchir, pour finir par obtenir quelque chose...

Curieusement, cette relative longueur des réglages dans une acquisition par ordinateur a un aspect positif. Dans les manipulations que j'ai faites avec des élèves, j'ai constaté que l'obligation de taper des chiffres sur un clavier demande davantage de réflexion sur les phénomènes étudiés : période, valeur maximum de la grandeur mesurée ou calculée par l'ordinateur.

**Enfin cette «lourdeur» des réglages dans une acquisition en Ex.A.O. rapproche le manipulateur de l'expérience. A priori on penserait plutôt l'inverse.**

### 5.2. Apports spécifiques de l'ExAO

- En sortant d'une séance de T.P., l'élève dispose de graphes propres, tirés sur imprimante. Finie la course au compte-rendu du T.P. de la semaine dernière qu'il fallait rendre aujourd'hui dernier délai. Adieu les résultats «trafiqués».

D'aucuns vous diront que les élèves ne sauront plus tracer de graphes...

- La partie simulation d'une expérience est particulièrement intéressante.

Dans le circuit dérivateur je peux mesurer,  $dU_e / dt$  d'un signal triangulaire sur l'écran de l'oscilloscope et vérifier que le signal de sortie est bien égal au produit  $R.C.dU_e/dt...$  Mais si je peux entrer directement sur le clavier de l'ordinateur la formule  $U_s = -R.C.dU_e/dt$  et vérifier que la courbe expérimentale et la courbe théorique se superposent, j'ai une démonstration beaucoup plus directe.

Dans le cas du régime transitoire, la vérification de la loi d'apparition des oscillations dans le circuit RLC était certainement impossible à réaliser expérimentalement avant l'apparition de ce type de matériel (voir oscillo à mémoire).

- C'est finalement dans le domaine des énergies que les résultats sont les plus spectaculaires. Vérifier la conservation de l'Énergie Mécanique, voir un puits de potentiel, vérifier que  $1/2.L.I^2 + 1/2.C.V^2 = Cte$  rendra ces notions moins abstraites.

De même, la possibilité de superposer plusieurs acquisitions d'une même expérience (ce dont je n'ai pas parlé ici) permettra d'appréhender différemment la notion d'incertitude.

- Enfin ces interfaces, qui viennent seulement de faire leur apparition dans l'enseignement, existent depuis longtemps dans l'industrie, il serait donc dommage de ne pas familiariser nos élèves avec ce matériel.

### BIBLIOGRAPHIE

On trouve de nombreux livres, mais en général ils demandent des connaissances électroniques et informatiques sérieuses, de plus ils sont chers et vieillissent très rapidement. L'Union des Physiciens propose un certain nombre de publications adaptées à nos préoccupations !...

## *Annexe A*

---

Comme la plupart des logiciels professionnels, **Labo** est un logiciel à menus déroulants.

Nous avons :

1 - Les menus traditionnels :

– <**Fichiers**>, <**Éditions**>, <**Notice**>, <**Outils**> .

2 - Les menus spécifiques à l'ExAO :

– <**Paramètres**> pour choisir les conditions d'acquisition des mesures : temps entre deux mesures, nombre de voies utilisées...

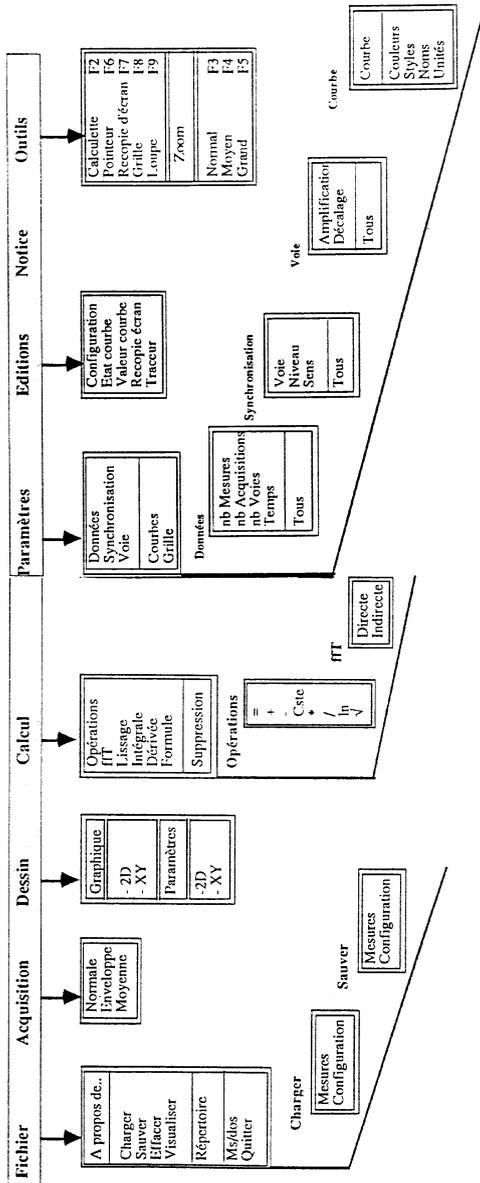
– <**Acquisition**> pour effectuer les mesures.

– <**Dessin**> pour afficher les graphiques obtenus : axes, échelles...

– <**Calcul**> pour faire un traitement sur les mesures et définir de nouvelles grandeurs.

### Organigramme général des menus

Représentons l'arbre de tous les menus et sous-menus du logiciel LABO



## *Annexe B*

---

Nous utilisons deux types de grandeurs :

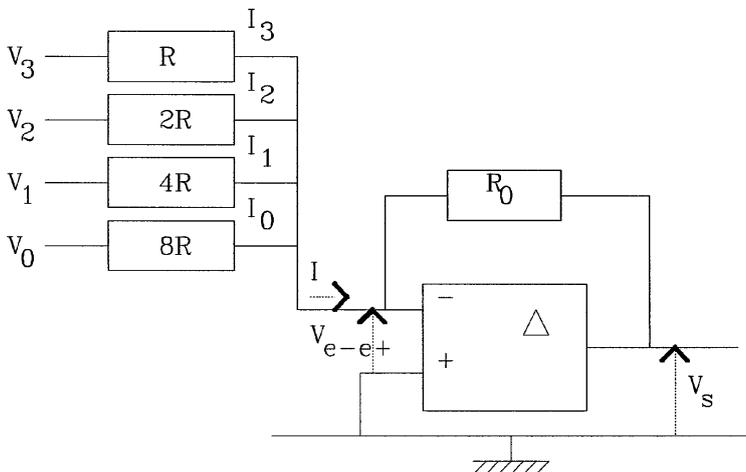
- les grandeurs analogiques telles que 5,65 Volts, 23,5°C... représentées par des nombres réels, variant de façon continue,
- les grandeurs numériques utilisées dans les circuits logiques. Un nombre est constitué d'une succession de chiffres 0 et 1 soit, physiquement, d'une succession de fils au potentiel 0 V ou 5 V. Les appareils de mesures numériques (multimètres, oscilloscopes à mémoire) et les ordinateurs utilisent ces grandeurs.

Pour mesurer avec un ordinateur une tension de 3,47 V, il nous faut convertir cette grandeur analogique en une grandeur numérique constituée d'une série de 0 et de 1 (en général une série de huit chiffres). Nous utilisons pour cela un convertisseur analogique numérique.

L'opération inverse, conversion d'une grandeur numérique en une grandeur analogique, se fait dans un convertisseur numérique analogique.

Voyons le principe de fonctionnement de deux convertisseurs.

### 1 - Convertisseur Numérique Analogique



Soit par exemple un CNA réalisé avec un A.Op. en montage sommateur. Il transforme une grandeur numérique constituée d'un nombre de quatre chiffres binaires en une tension analogique comprise entre 0 et 5 V.

Nous avons :  $V_i = A_i.E$

avec :  $E = 5 \text{ V}$  et  $A_i = 0$  ou  $1$

d'où en remarquant que :

$$I = I_3 + I_2 + I_1 + I_0$$

$$I = (A_0/8 + A_1/4 + A_2/2 + A_3/1) E/R$$

$$I = (2^3.A_3 + 2^2.A_2 + 2^1.A_1 + 2^0.A_0) E/8R$$

Nous avons à la sortie de l'A.Op. :  $V_s = - R_0.I$ .

Un petit programme basic permettra de réaliser cette manipulation avec Candibus en utilisant les bits  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  et  $b_3$  du port A d'adresse 28C. En entrant au clavier des nombres compris entre 0 et 15, nous pourrons avoir :

décimal	binaire	$V_s$
15	1111	5 V
.....		
9	1001	3 V
8	1000	2,67 V
		.....
0	0000	0 V.

La tension de sortie ne varie pas tout à fait de façon continue, elle varie par sauts de 0,33 V. En effet entre 0 et 5 V il y a seulement 15 valeurs possibles.

Attention au calcul des résistances, l'interface ne peut pas débiter un courant supérieur à 1 mA !

## 2 - Convertisseur Analogique Numérique.

Comme pour les CNA, il en existe de plusieurs types. Voyons le cas d'un CAN à approximations successives (schéma ci-dessous). Nous pouvons facilement comprendre son fonctionnement si nous connaissons le raisonnement permettant de trouver un nombre par dichotomie.

Décidons que 0 V sera représenté dans l'ordinateur par le nombre binaire 0000001 et 5 V par le nombre binaire 11111111 ; dans ces conditions 2,5 V sera donné par le chiffre intermédiaire  $128 = 1000000$ .

La tension à mesurer arrive sur l'entrée  $E^+$  d'un A.Op. fonctionnant en comparateur. Simultanément l'octet 10000000 est envoyé sur le CNA qui le transforme en une tension de 2,5 V. La comparaison dans l'A.Op. donne une tension de sortie  $U_s$  positive si  $V$  à mesurer est supérieur à 2,5 V.  $U_s$  sera négative dans le cas contraire.

Suivant le résultat, un circuit logique générera une tension de 3,75 V ou 1,25 V qui sera comparée, etc.

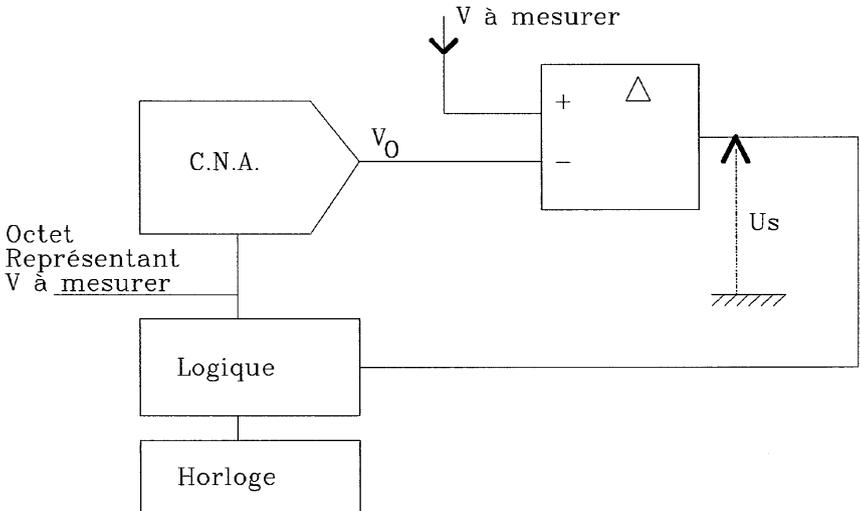


Schéma de principe d'un CAN à approximation successive.

Il faut retenir :

- Ces opérations demandent un certain nombre de cycles d'horloge de l'ordinateur, donc un certain temps. Il est impossible de faire la mesure d'une tension «en continu» comme c'est le cas avec un oscilloscope. La mesure faite par un ordinateur sera donc en fait un échantillonnage des valeurs de la tension prises à intervalles de temps réguliers. Ces mesures sont rassemblées dans un tableau et les graphes seront tracés à partir de ces valeurs discrètes.

- Avec un interface équipé d'un CAN du type décrit ci-dessus, le temps de conversion ne sera pas constant puisqu'il dépend du nombre de comparaisons effectuées ; il est donc nécessaire d'utiliser d'autres circuits électroniques sur la carte.

Dans tous les cas, un certain temps s'écoulera entre deux mesures : 50  $\mu$ s quand nous mesurons une tension avec Candibus et 68  $\mu$ s pour la mesure de deux tensions simultanément. Le temps maximum entre deux mesures de tension par CAN pourra être aussi grand que l'on veut.

- Les mesures sont enregistrées dans la mémoire de l'ordinateur et si nous arrêtons le courant dans le montage étudié, rien ne change sur l'écran de l'ordinateur. Il en est de même si nous modifions les paramètres du circuit : rien ne change sur l'écran tant que nous n'avons pas fait une autre acquisition. Ce n'est pas le cas avec un oscilloscope, une modification du circuit étudié apparaît aussitôt sur l'écran.

- Le tension mesurée est donnée en fait par encadrement entre deux valeurs. La précision de la mesure sera donnée par un «calcul» différent de celui que l'on fait avec un voltmètre analogique. La carte Candibus convertit sur 12 bits (soit  $2^{12} = 4096$  valeurs binaires possibles) des tensions comprises entre + 5,12 V et - 5,12 V. On peut donc avoir une «erreur» sur une mesure de :

$$10,24 \text{ V} / 4096 = 2,5 \text{ mV.}$$

## *Annexe C*

---

### **Synchronisation**

Dans l'oscilloscope, la tension appliquée sur les plaques est directement proportionnelle à la tension mesurée.

Pour que l'oscillogramme paraisse fixe et lisible, il faut donc qu'à chaque balayage la courbe soit superposée à celle que l'on a obtenue au passage précédent. Ceci est réalisé en ajustant les périodes du balayage et du signal étudié ; on ne peut donc étudier que des signaux périodiques.

Nous connaissons tous ce problème de synchronisation en déclenché, relaxé... Et je ne le mentionne ici que pour souligner la différence entre l'oscilloscope et l'ordinateur utilisé en ExAO.

Nous avons vu que, par l'intermédiaire des CAN, l'ordinateur enregistre dans un tableau de mesures les valeurs de  $U$  à intervalles réguliers. Il en fait un graphe, exactement comme le ferait un élève. L'image est obtenue par affichage permanent du contenu de la mémoire de l'ordinateur ; le balayage sur l'écran du moniteur ressemble donc plutôt à celui d'un poste de TV donnant une image fixe. Il n'est pas nécessaire d'étudier un phénomène périodique !

**Quel est donc le rôle de la synchronisation en ExAO ? Elle intervient pour déclencher le début de l'acquisition d'une série de mesures :**

- Lors du lancement du logiciel **Labo**, la synchronisation est (pré)-réglée sur :

0 V, sens croissant, voie 1

Quand je choisis **<Acquisition>**, lors de l'étude du circuit dérivateur, l'ordinateur teste régulièrement la tension mesurée par la voie 1. Dès que cette tension atteint 0 V dans le sens croissant, il commence l'enregistrement des 200 valeurs de  $U_e$  et  $U_s$  toutes les 100  $\mu$ s.

- Pour l'étude de l'entretien des oscillations par un A.Op. dans un circuit RLC, la synchronisation sera réglée de même.

Par contre, lorsque je voudrai «voir la naissance des oscillations», je devrai procéder différemment.

Je dois faire 1000 mesures espacées de 50  $\mu\text{s}$  (cela fait environ 16 mesures pour une période  $T = 2 \pi (LC)^{1/2}$ ). La durée totale de l'enregistrement sera donc d'environ 50 ms. Il faudra que pendant ce temps-là, la tension  $U_c$  passe de 0 V jusqu'au régime permanent !

Si j'augmente  $R_0$ , le temps d'établissement du régime permanent sera bien inférieur à 50 ms mais je me rapprocherai de la saturation de l'A.Op...

Je vais plutôt éliminer le début de l'apparition des oscillations, irrégulier, peu visible sur le graphe. Je réglerai donc la **<Synchronisation>** sur :

Voie 1, 0,1 V, sens croissant.

L'**<Acquisition>** ne débutera que lorsque  $U_c$  atteindra cette valeur.

**Le fait de taper «Entrée» pour lancer une <Acquisition> met l'ordinateur en attente jusqu'à ce que les conditions choisies dans <Synchronisation> soient atteintes.**

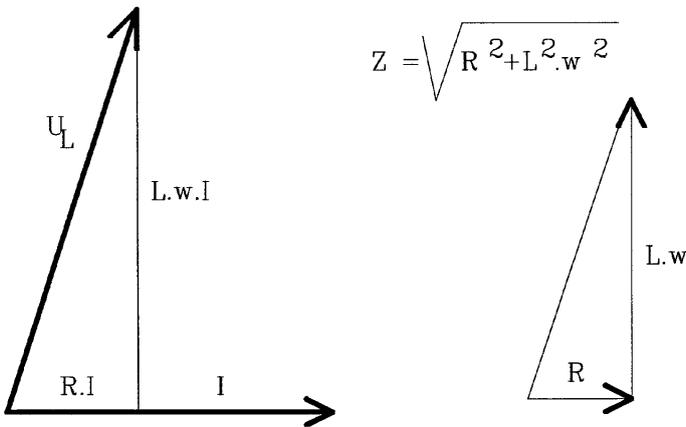
## *Annexe D*

---

### Résistance statique et dynamique d'une bobine

Lorsque nous étudions une bobine possédant une inductance en courant sinusoïdal, nous constatons que  $i$  est en retard, par exemple de  $85^\circ$ , sur  $u_L$ . Nous en déduisons la construction de Fresnel ci-dessous et nous en déduisons aussi un peu hâtivement que la bobine possède une résistance  $R$  ohms.

Or si nous mesurons cette résistance avec un ohmmètre, nous trouvons une valeur  $r$  inférieure.



En effet la puissance moyenne ou puissance active dépensée dans le circuit est donnée par :

$$P = U.I.\cos\phi = R.I^2.$$

Dans cette puissance il y a certes celle qui correspond aux pertes par effet Joule  $rI^2$ , mais il y a aussi les pertes d'énergie dues à l'énergie magnétique rayonnée par la bobine :

$$R.I^2 = r.I^2 + \text{Énergie magnétique/temps.}$$

$R$  est donc supérieure à  $r$ . Certains ouvrages parlent de résistance dynamique pour  $R$ .

Pour mesurer  $R$ , nous pouvons obtenir directement la construction de Fresnel par ExAO. La difficulté provient du fait que la puissance magnétique rayonnée dépend de l'environnement : substance ferromagnétique ou même courant de Foucault dans un conducteur à proximité de la bobine.

Une méthode simple mais peu précise consiste, dans le cadre de cette manipulation, à chercher la valeur minimum de  $R_0$  qui permet d'avoir des oscillations ; on aura  $R_0 = R$ .