

Étude expérimentale des régimes transitoires dans les circuits R-C, R-L et R-L-C à l'aide d'un micro-ordinateur

par Claude RABALLAND,
Lycée Montaigne, Bordeaux.

Le micro-ordinateur, muni d'un interfaçage A/N, réalise une acquisition de mesures expérimentales concernant l'étude des régimes transitoires en électricité, ci-dessous :

1. Réponse à un échelon de tension :

- Décharge d'une capacité dans une résistance.
- Etablissement du courant dans un circuit R-L.
- Régime pseudo-oscillant, critique ou apériodique dans un circuit R-L-C.
- Influence du couplage sur les oscillations d'un circuit R-L-C.

2. Mise sous tension sinusoïdale d'un circuit passif : régime transitoire et régime permanent forcé à partir de l'instant $t = 0$ où est appliquée l'excitation :

- Circuit R-L-C.
- Circuit R-C.
- Circuit R-L.

La numérisation des résultats permet :

- le tracé de courbes, non réalisable avec un oscilloscope ordinaire (mise sous tension sinusoïdale d'un circuit passif par exemple) ;
- le calcul des grandeurs caractéristiques du circuit : période, constante de temps, décrement logarithmique ;
- une utilisation pédagogique par la rapidité de l'acquisition des résultats (cours et travaux pratiques).

A) OBJECTIFS ET MOYENS MIS EN ŒUVRE

I. Performances.

1. Acquisition de mesures (tensions) :
 - capacité : 10 000 mesures,
 - temps minimal d'acquisition : 0,1 ms entre 2 mesures,
 - mode d'acquisition : déclenchement des mesures, soit au clavier, soit par lecture d'une tension seuil sur une deuxième entrée de l'interface jouant le rôle de commande. L'échelle de temps est donnée par l'horloge du microprocesseur.
2. Présentation d'un tableau de mesures effectuées pour une exploitation éventuelle.
3. Tracé de la courbe correspondante, selon l'étude du circuit choisi.
4. Analyse numérique des résultats expérimentaux :
 - calcul de la constante de temps,
 - calcul de la pseudo-période,
 - calcul du décrétement logarithmique,
 - troncature et échantillonnage des courbes,
 - recherche des erreurs de manipulation.
5. Traitement des courbes obtenues :
 - Agrandissement à volonté de la courbe selon l'axe des temps pour la visualisation des phénomènes rapides (constante de temps allant jusqu'à 1 ms).

II. Logiciel.

1. Acquisition des mesures : Assembleur Z 80.
2. Exploitation des résultats : Basic.

III. Applications.

1. Manipulations démonstratives de cours : la réalisation d'une série de mesures et son analyse numérique demande 1 à 2 min environ.
2. Expériences de travaux pratiques : l'élève réalise le montage électrique, fait effectuer les mesures par l'ordinateur et exploite les valeurs numériques obtenues en s'aidant de la courbe tracée et des indications fournies.

IV. Niveau.

Second cycle des lycées et classes préparatoires.

D.E.U.G.

I.U.T.

V. Matériel.

Pour un poste de travail :

SPECTRUM 48 K Péritel	2 300 F
Interface SINCLAIR 8 EA	400 F
Magnétophone cassettes	300 F
Télévision ou moniteur couleur	2 000 F
TOTAL	<u>5 000 F</u>

Prix donnés à titre indicatif.

Pour recevoir une copie du logiciel, écrire à :

M. Claude RABALLAND,
12, allée du Pas-du-Renard, 33610 Cestas.
Tél. : (56) 21.53.83.

Professeur en Mathématiques Spéciales,
Lycée Michel-Montaigne,
118, cours Victor-Hugo, 33075 Bordeaux.

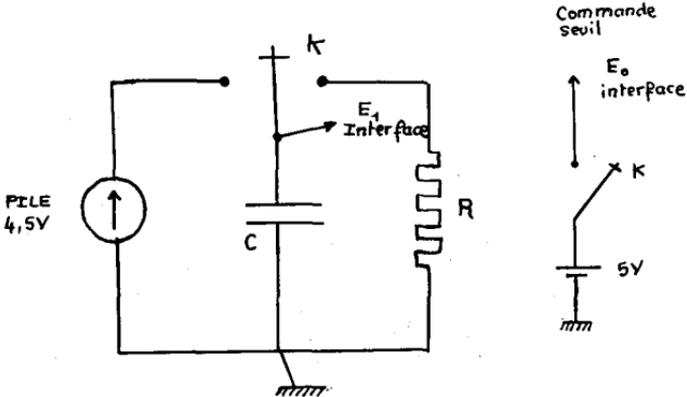
Joindre une enveloppe 16 × 23 timbrée à 4,00 F à votre adresse.

B) PROGRAMME ACQUISITION SPECTRUM 48 K INTERFACE A/N
Régimes transitoires

Exemples de montages utilisés

I. Réponse à un échelon de tension.

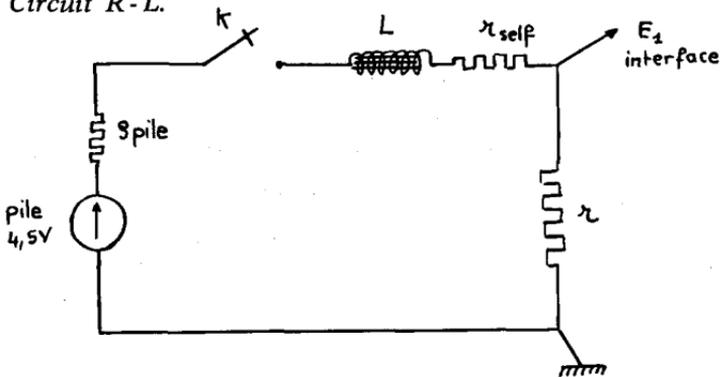
1. Circuit R-C.



$R = 100 \text{ K}$ 1 000 mesures
 $C = 2 \mu\text{F}$ 1 ms/mesure

Fig. 1

2. Circuit R-L.

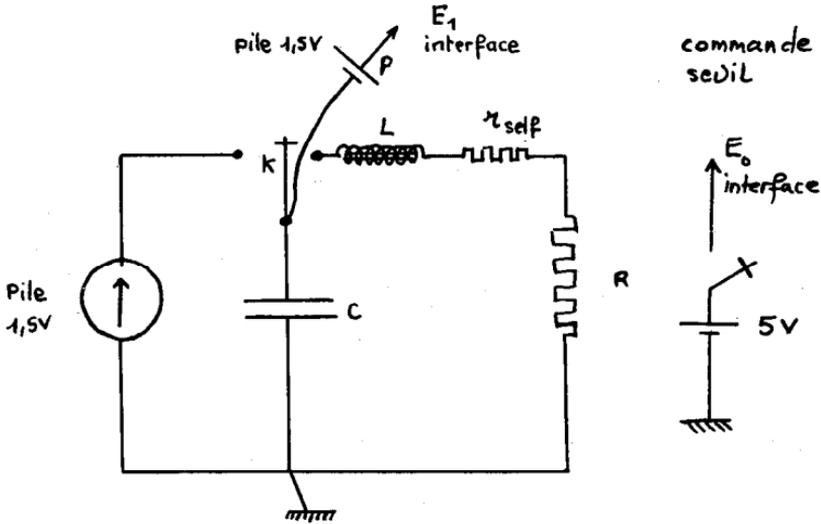


$r_{self} = 7 \Omega$ $L = 1 \text{ H}$ (noyau de fer doux)
 $r = 10 \Omega$ 1 000 mesures
1 ms/mes

Fig. 2

Attention : Débrancher E_1 avant d'ouvrir le circuit à nouveau (effet de self).

3. Circuit R-L-C.

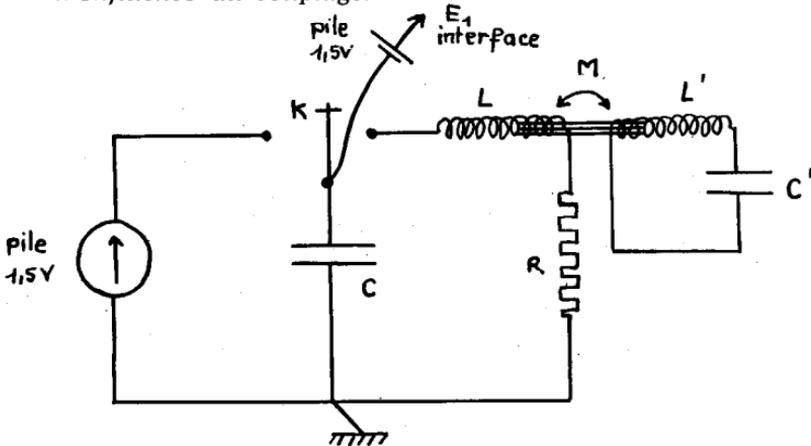


$r_{self} = 7 \Omega$
 $R = 10 \Omega$
 $L = 1 \text{ H}$
 $C = 470 \mu\text{F}$

1 000 mesures
 1 ms/mes
 La pile P rend positive
 quelque soit t la tension
 envoyée sur E_1

Fig. 3

4. Influence du couplage.

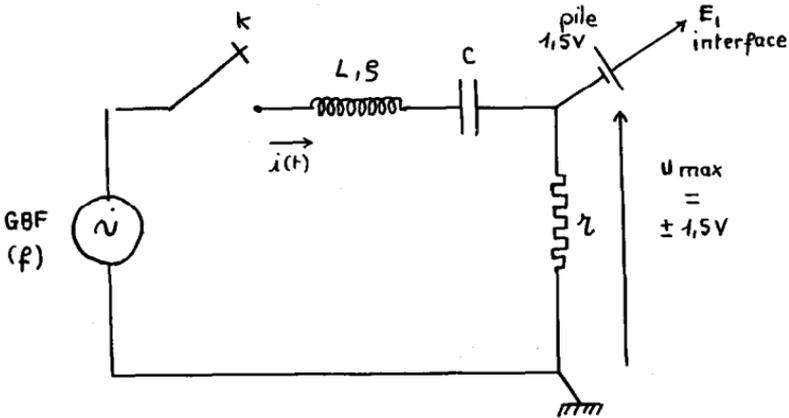


$r_{self} = 7 \Omega$
 $R = 10 \Omega$
 $C = 0,5 \mu\text{F}$
 $L = 0,5 \text{ H}$

$L' : 500$ spires
 $C' = 10 \mu\text{F}$
 Couplage par noyau de fer doux
 10 000 mesures 0,1 ms/mes

Fig. 4

II. Mise sous tension sinusoïdale.



$r = 10 \Omega$
 $C = 1 \mu F$
 $L = 1 H$
 $f = 145 Hz$

10 000 mesures
 0,1 ms/mes
 → mesure de $i(t)$

Pour la mesure de $U_C(t)$ et $U_L(t)$,
 se placer aux bornes de C ou L.
 Pour l'étude de R-C ou R-L,
 court-circuiter L ou C.

Fig. 5

Interface 8 EA SINCLAIR.

Entrées 0-5V

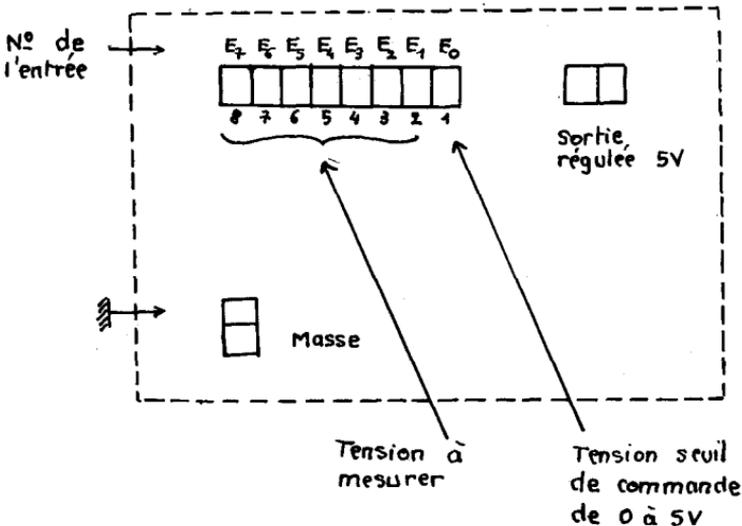


Fig. 6

C) PRINCIPE DE L'ANALYSE NUMERIQUE DES RESULTATS

Réponse à un échelon de tension

I. Circuit R - C.

Equation du circuit :

$$\frac{du}{dt} + \frac{u}{RC} = 0 \Rightarrow$$

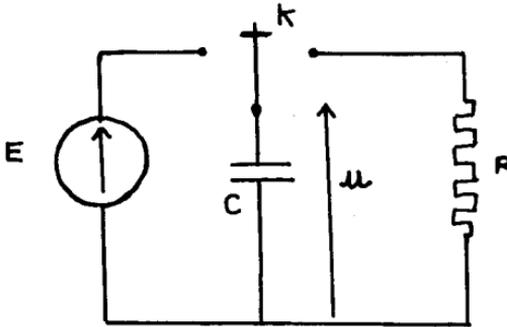


Fig. 7

$$u = u_0 e^{-t/\tau};$$

 $\tau = RC$ constante de temps ;

 u_0 tension initiale.
La grandeur mesurée est u .

On calcule :

$$\ln \frac{u}{u_0} = -\frac{t}{\tau} ;$$

on obtient une droite de pente $-\frac{1}{\tau}$ calculée par régression

linéaire (méthode des moindres carrés) sur les résultats de mesure numérisés.

II. Circuit R - L.

Equation du circuit : $L \frac{di}{dt} + Ri = E \Rightarrow$

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau});$$

 $R = \mathfrak{R} + r$ résistance totale ;

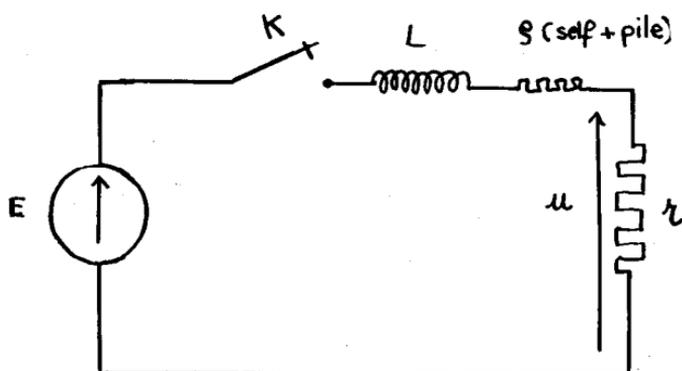


Fig. 8

$$\tau = \frac{L}{R} \text{ (constante de temps.)}$$

La grandeur mesurée est $u = ri \Rightarrow :$

$$u = u_0(1 - e^{-t/\tau});$$

$u_0 =$ tension pour t_∞ .

On calcule :

$$\ln\left(1 - \frac{u}{u_0}\right) = -t/\tau ;$$

on obtient une droite de pente $-\frac{1}{\tau}$ calculée par régression linéaire.

III. Circuit R - L - C.

Equation du circuit :

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{du}{dt} + \frac{u}{LC} = 0.$$

Pour le régime pseudo-périodique :

$$\lambda = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega = \omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\omega_0}\right)^2}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ pseudo-période ;}$$

$$\Rightarrow u = u_0 e^{-\lambda t} \left(\cos \omega t + \frac{\lambda}{\omega} \sin \omega t \right).$$

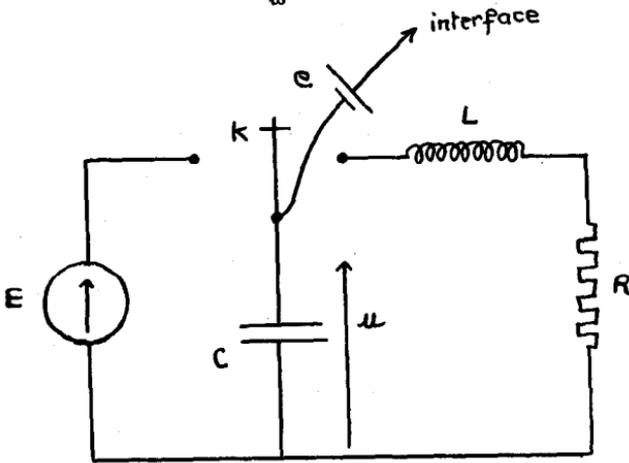


Fig. 9

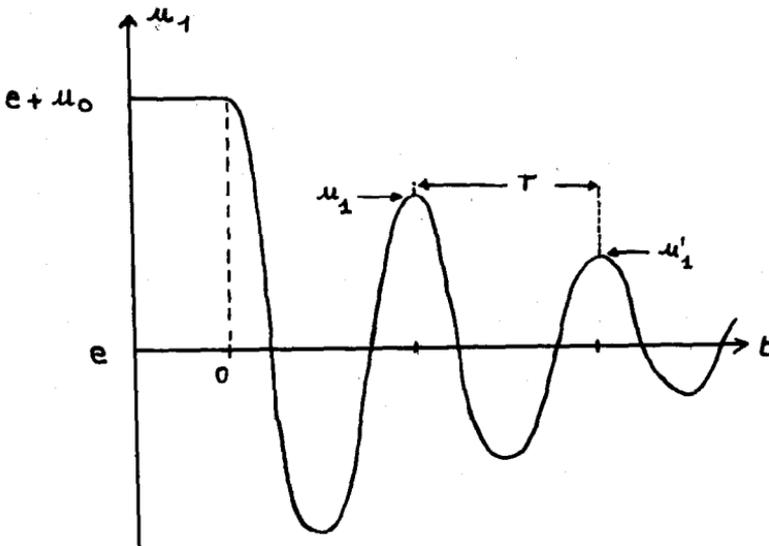


Fig. 10

La grandeur mesurée est $u_1 = u + e$ où $e \simeq E$ est délivrée par une pile de façon à obtenir une tension constamment positive sur l'entrée interface :

$$0 < u_1 < 5 \text{ V}$$

u_0 est la tension initiale.

La valeur $u_{1\infty} = e$ théorique n'est pas atteinte de façon précise (perturbations inductives du milieu extérieur).

On calcule une valeur acceptable pour T en prenant la durée séparant deux maximums consécutifs de u_1 (plusieurs en fait) et le décrement :

$$\delta = \ln \frac{u_1 - e}{u'_1 - e}$$

Une seule analyse numérique est nécessaire pour obtenir ces deux résultats, ce qui réduit le temps de calcul de l'ordinateur.

On en déduit λ par $\delta = \lambda T$.

Remarque :

Dans le cas où l'on emploie un noyau de fer doux pour augmenter L, il faudrait tenir compte des *courants de Foucault* induits dans la masse du fer. Si le feuilletage est convenable, on pourra les supposer négligeables.

D) PROGRAMME ACQUISITION SPECTRUM 48 K INTERFACE A/N

Régimes transitoires

Résultats obtenus. Exemples

1. Réponse à un échelon de tension.

1. Circuit R-L-C.

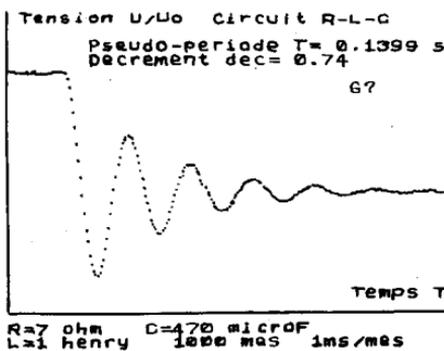


Fig. 11

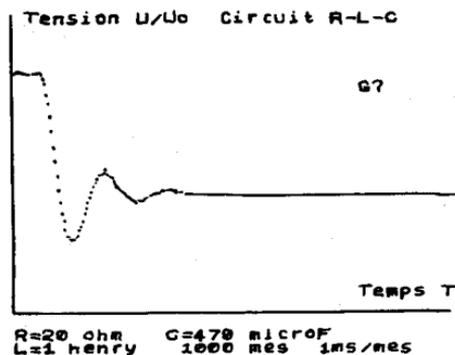


Fig. 12

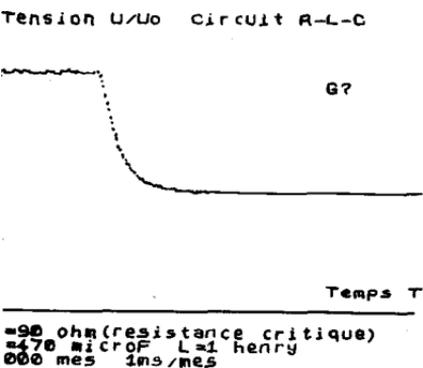


Fig. 13

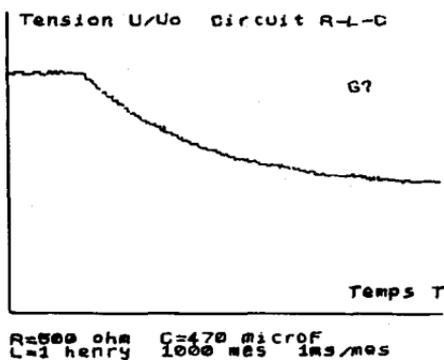


Fig. 14

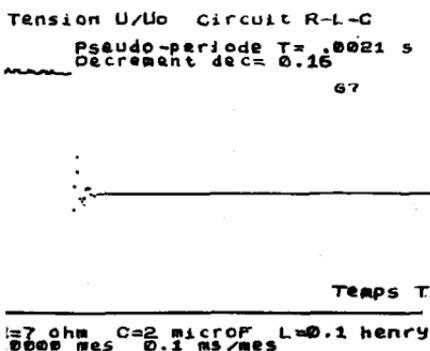


Fig. 15

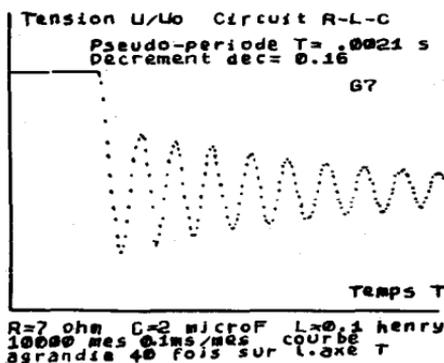


Fig. 16

N.B. — Les résistances données sont les *valeurs ohmiques*. Dans le cas où l'on emploie un noyau de fer doux pour augmenter la valeur de la self L, il faut tenir compte éventuellement des pertes par courants de Foucault dans le fer.

2. Influence du couplage.

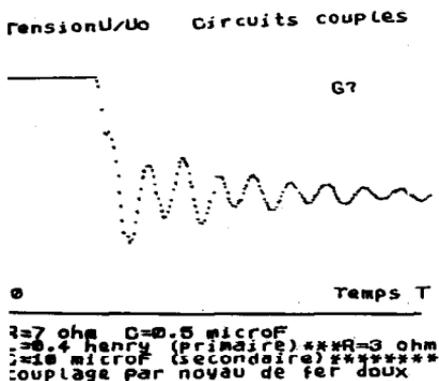


Fig. 17

3. Circuit R-C.

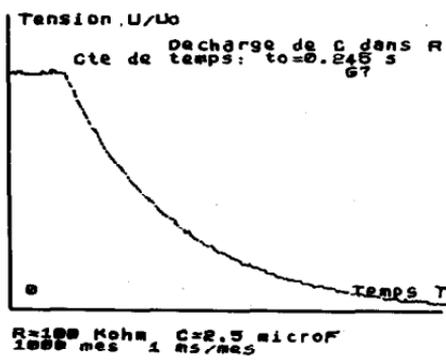


Fig. 18

4. Circuit R-L.

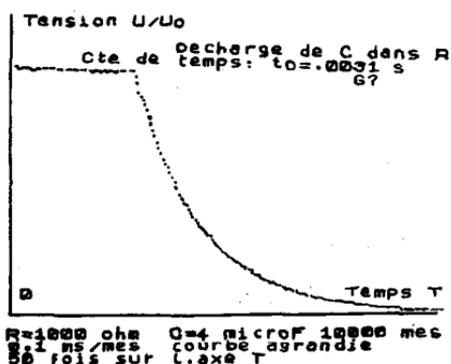


Fig. 19

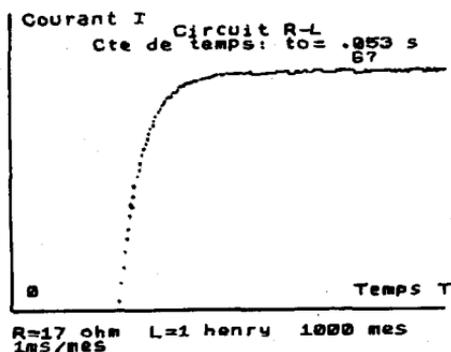


Fig. 20

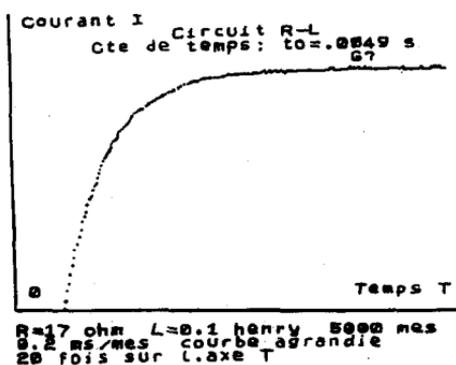


Fig. 21

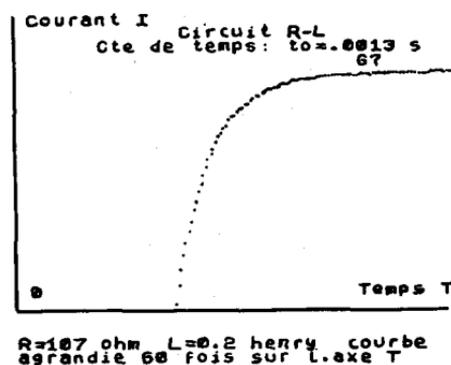


Fig. 22

N.B. — Les valeurs données pour R ne prennent pas en compte la résistance interne du générateur ni les pertes par courants de Foucault éventuelles dans le noyau du fer doux (L).

II. Mise sous tension sinusoïdale.

1. Circuit R-L-C.

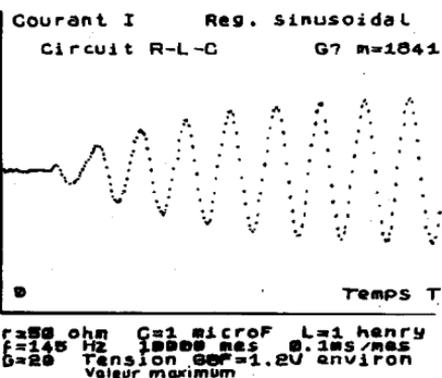


Fig. 23

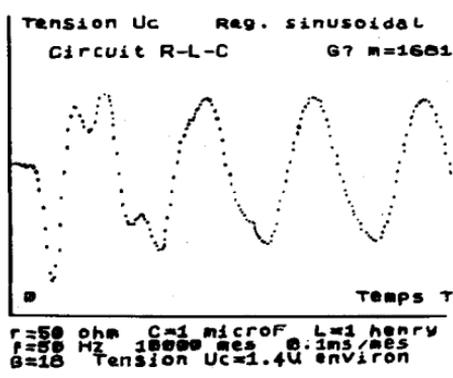


Fig. 24

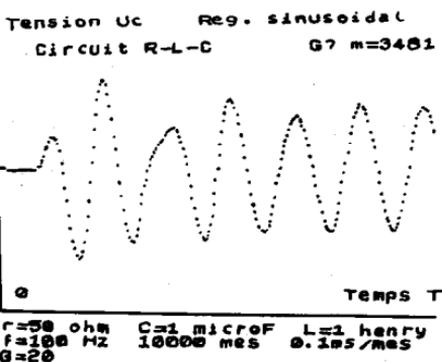


Fig. 25

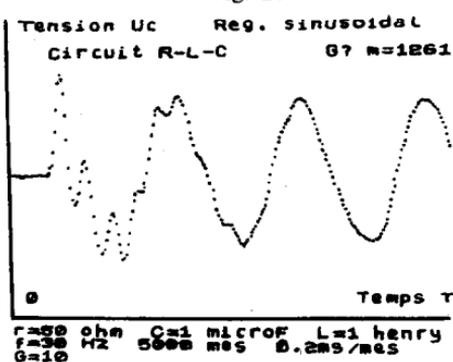


Fig. 26

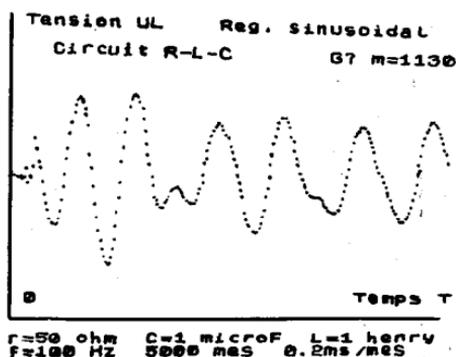


Fig. 27

m désigne le numéro de la première mesure prise en compte pour le tracé de la courbe.

2. Circuit R-C.

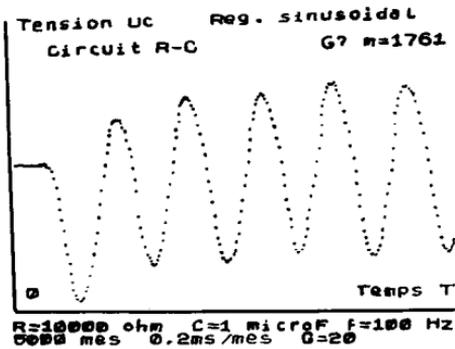


Fig. 28

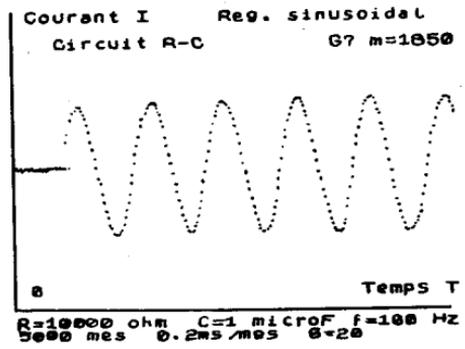


Fig. 29

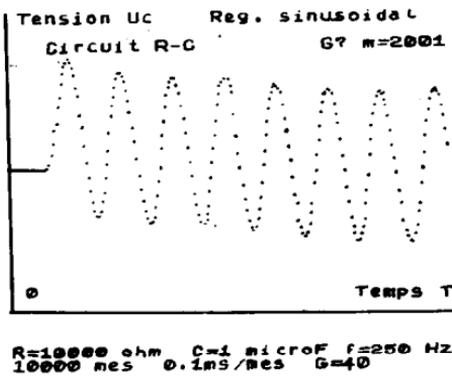


Fig. 30

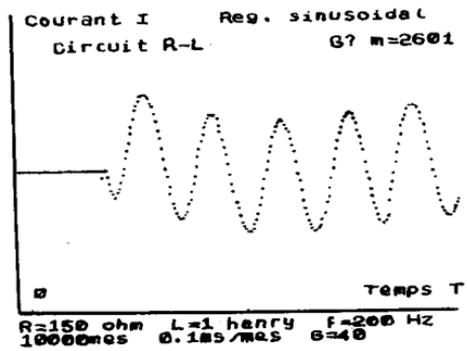


Fig. 31

m désigne le numéro de la première mesure prise en compte pour le tracé de la courbe.

Commentaires :

On peut se rendre compte que l'allure des courbes représentant le régime transitoire précédant le régime permanent forcé est très variable : elle dépend fortement en particulier du choix de l'instant initial (front montant ou front descendant de la sinusoïde excitatrice) et de la fréquence appliquée. On constate l'existence de surtensions ou de surintensités instantanées qui peuvent être responsables de détériorations d'appareils non protégés lors de leur mise sous tension.