

Condensateurs

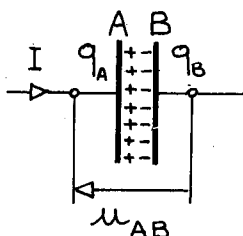
Détermination de capacités

par M. BARBASTE, L.T.E. Talence
et R. MOREAU, I.P.R. Bordeaux.

I. PRINCIPE DE LA METHODE.

L'expérience montre que la tension u_{AB} aux bornes d'un condensateur parcouru par un courant continu d'intensité constante I est une fonction linéaire du temps :

$$u_{AB} = kt. \quad (1)$$



Au cours de la charge du condensateur :

- ses armatures A et B prennent respectivement les charges q_A et q_B ,
- les fils de connexion sont parcourus par une quantité d'électricité q fonction linéaire du temps :

$$+ q_A = - q_B = q = It. \quad (2)$$

Eliminons t entre les relations (1) et (2) :

$$q = \frac{I}{k} u.$$

On définira la « capacité C du condensateur », par le rapport constant, indépendant de I :

$$C = \frac{I}{k}.$$

Ainsi, à condition de posséder un « générateur de courant » (dont nous proposons, ci-après, la réalisation pour une centaine de francs), la détermination de la capacité se réduit aux mesures :

- du coefficient k , à l'aide d'un voltmètre et d'un chronomètre,
- de l'intensité I , à l'aide d'un milliampèremètre.

II. INTERET PEDAGOGIQUE DE LA METHODE.

Grâce à ce générateur de courant peu onéreux, simple, pratique, robuste, on peut réaliser des travaux pratiques sur les condensateurs, activité assez rare dans l'enseignement secondaire

La simple mise en évidence de la fonction « générateur de courant », comme nous l'indiquons au § III, rend cette « boîte noire » moins mystérieuse que l'utilisation du « galvanomètre balistique » dont on ne justifiait guère plus l'utilisation.

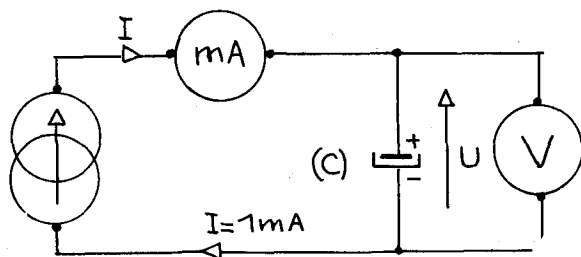
III. REALISATION DU GENERATEUR DE COURANT.

1° Principe.

Réalisons le montage ci-après, dans lequel on utilise :

- un condensateur (C) électrochimique de capacité C voisine de $5\,000\ \mu\text{F}$,
- un voltmètre de grande résistance, branché aux bornes de (C).

Il faut que l'intensité absorbée par le voltmètre demeure faible par rapport à celle que débite le générateur de courant ; si l'on a choisi par exemple $I = 1\ \text{mA}$, on veillera à ce que l'intensité absorbée par le voltmètre soit inférieure à $10^{-4}\ \text{A}$, ou encore on choisira un appareil de résistance interne supérieure à $10^4\ \Omega \cdot \text{V}^{-1}$.



a) CHARGE : si les graduations sont équidistantes, l'aiguille du voltmètre est animée d'un mouvement uniforme : la tension U croît linéairement en fonction du temps.

Par exemple, si U augmente de 1 V en 6 s, alors :

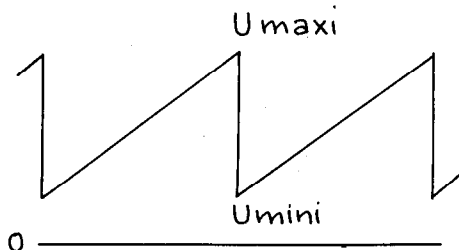
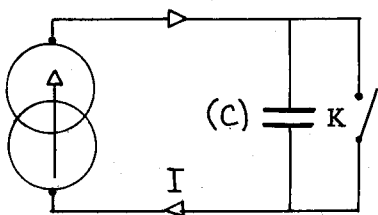
$$k = \frac{1}{6} \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$$

d'où :

$$q = \frac{10^{-3}}{1/6} u, \text{ ou encore : } q = 6 \cdot 10^{-3} u; \text{ ainsi : } C = 6\,000 \mu\text{F}.$$

b) DÉCHARGE :

- * *manuelle* : à l'aide d'un bouton-poussoir (contact travail) placé en dérivation aux bornes de (C). On décharge celui-ci et on recommence la charge pour d'autres valeurs de I si on le désire ;
- * *automatique* : avec un dispositif particulier, que nous précisons ultérieurement, il est possible de décharger (C) dès que la tension à ses bornes atteint par exemple 6 V. On peut alors utiliser des condensateurs d'excellente qualité (au mylar, au tantale, etc.) dont la capacité est très proche de la valeur nominale. Mais comme ces condensateurs ont une capacité de l'ordre du μF donc se chargeant et déchargeant en quelques millisecondes (par exemple 1 V/ms, pour $C = 1 \mu\text{F}$ et $I = 1 \text{ mA}$), le phénomène sera visualisé à l'oscilloscope, on en déduira ainsi la valeur de la capacité.



K : interrupteur automatique. La décharge est incomplète.

Les valeurs U_{max} et U_{min} indiquées sur la figure étant indépendantes du condensateur choisi et de l'intensité de charge, on pourra constater que le fait de doubler la capacité du condensateur entraîne, pour un courant de charge maintenu constant, une période du phénomène qui double. Au contraire, doubler l'intensité du courant de charge pour un condensateur donné revient à diviser par deux la période des oscillations de relaxation.

Remarque.

Il est facile d'expliquer ainsi que les bases de temps des oscilloscopes utilisent ce principe en fonctionnement relaxé.

2° Schéma de la maquette (fig. 1).

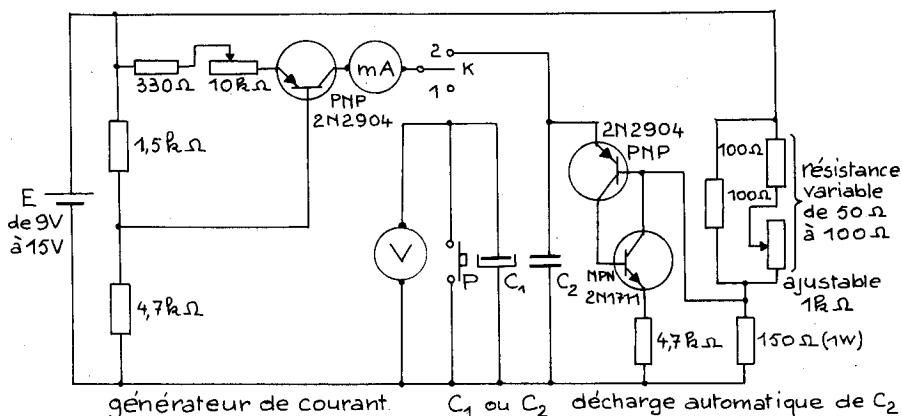


Fig. 1

On peut étudier grâce à ce schéma la charge d'un condensateur électrolytique à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. En basculant un inverseur, on peut observer la charge d'un condensateur classique ($C = 1 \mu\text{F}$) à l'oscilloscope.

La source continue E doit être bien régulée (pile ou alimentation stabilisée), sa valeur n'est pas critique; cependant, on obtient d'excellents résultats en utilisant deux piles de 4,5 V ordinaires et en les mettant en série.

Le montage fonctionne aussi bien avec d'autres transistors que ceux qui sont indiqués; en réglant la résistance ajustable de 1 k Ω , on peut fixer à 5 V, par exemple, l'amplitude des variations de la tension aux bornes du condensateur, et prévoir ainsi la période T du phénomène.

Application numérique :

$$I = 0,5 \text{ mA}; \quad U_{\max} - U_{\min} = 5 \text{ V}; \quad C = 1 \mu\text{F};$$

$$T = C \frac{U}{I} \Rightarrow T = 10 \text{ ms.}$$

3° Présentation du montage expérimental (fig. 2).

Le circuit électrique à réaliser à partir du générateur étant très simple nous avons pris l'option de tout rassembler dans un boîtier ($120 \times 60 \times 40$) sur lequel il n'y a plus à brancher que l'ampèremètre, le voltmètre, les condensateurs. Sur le couvercle

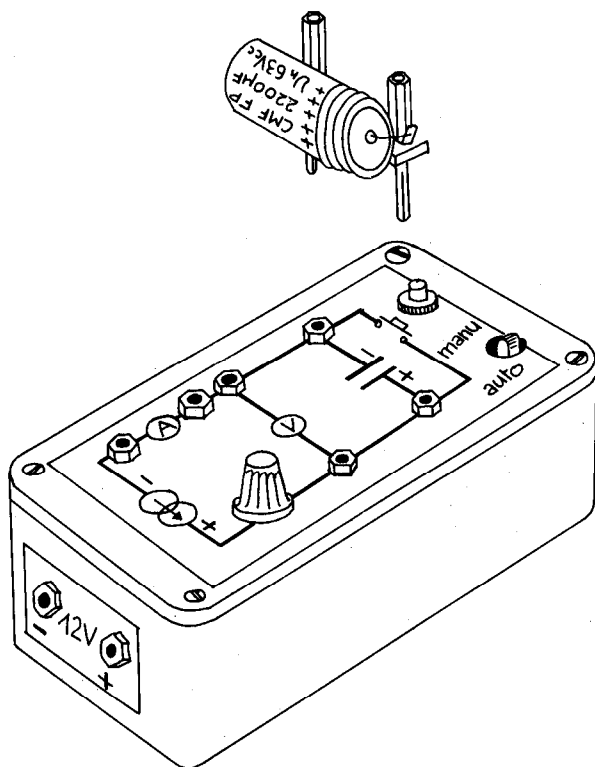


Fig. 2

du boîtier est collée une plaque sensibilisée sur laquelle est dessiné le schéma du circuit et où sont indiquées les principales fonctions et symboles des appareils de mesures et des condensateurs.

Les condensateurs sont montés sur des barrettes d'ébonite portant des fiches provenant de prises de courant : on peut les brancher aisément en parallèle ou en série.

Voici leurs références :

- 1 μ F : miniprint PHE280HG710 - 250 V = 40/100/56
- 2200 μ F : SIC SAFCO U_n 63 V_{cc} CMF FP
- 4700 μ F : SIC SAFCO U_n 16 V_{cc} CMF FP.

4° Mise en évidence de la fonction « générateur de courant ».

Ayant réglé l'intensité à une valeur proche de 1 mA, on s'assurera de cette fonction en branchant successivement à ses bornes :

- un fil électrique réalisant un court-circuit,
- un rhéostat dont on fera varier la résistance de 0 à 1 k Ω ,
- une pile de 4,5 V placée en série, puis en opposition.

Dans tous les cas, le milliampèremètre (calibre : 10 mA) indiquera une intensité constante.

IV. DETERMINATION DE FAIBLES CAPACITES.

A. Condensateurs utilisés : capacités de l'ordre du μF .

En ce qui nous concerne, nous choisirons une capacité de 1 μF .

B. Détermination automatique avec l'oscilloscope.

1. RÉGLAGES :

- a) générateur : — position : « auto »,
— intensité : 1 mA ;
- b) oscilloscope : — balayage : 1 ms/div,
— voie A : 1 V/div.

2. CALCUL DE LA CAPACITÉ :

- la droite $u = kt$ est directement donnée par l'oscilloscope,
- on détermine le coefficient directeur en la cadrant au mieux,

$$\text{on calcule : } C = \frac{I}{k}.$$

C. Comparaison entre les valeurs calculée et indiquée par le fabricant.

En général, elles sont identiques, tout au moins compatibles avec la tolérance (5 %, 10 % ou même 20 %) concernant la capacité nominale.

V. DETERMINATION DE GRANDES CAPACITES.

A. Condensateurs utilisés : capacités de l'ordre du mF.

Nous manipulerons avec deux condensateurs « électrochimiques » :

$$(C_1) : C_1 = 2\,200 \mu\text{F} ; (C_2) : C_2 = 4\,700 \mu\text{F}.$$

Attention.

Ces condensateurs dits « électrochimiques » étant polarisés, il convient de respecter leur polarité.

Remarque.

Les capacités des condensateurs électrochimiques varient un peu avec la tension qui leur est appliquée. De plus, leur valeur réelle est souvent différente de leur valeur nominale (elle est en général très supérieure). En choisissant, par exemple, un condensateur pouvant supporter une tension maximale de 25 V, de capacité nominale 4 700 μF , on aura ainsi une capacité bien constante de 0 à 10 V, mais cette capacité pourra atteindre la valeur de 6 000 μF .

B. Détermination manuelle avec l'emploi simultané du voltmètre et du chronomètre.

1. RÉGLAGE DU GÉNÉRATEUR : — position : « manu »,
— intensité : 1 mA.

2. PRINCIPE :

* on relève « au vol » les valeurs de U à des dates données : si les variations de U sont trop rapides, on fera deux séries de relevés dont les dates alterneront, ainsi :

1 ^{re} série :	0 s	5 s	10 s	15 s	
2 ^e série :	0 s	3 s	8 s	13 s	16 s

Bien entendu, on fera plusieurs relevés de U ,

* on trace la droite : $u = kt$ - échelles $\left\{ \begin{array}{l} t : 1 \text{ cm pour } 1 \text{ s} \\ U : 2 \text{ cm pour } 1 \text{ V,} \end{array} \right.$

* on détermine le coefficient directeur k ,

* on calcule la capacité $C = I/k \Rightarrow C = I \cdot \frac{t_0}{U_0}$; (U_0 ; t_0)
couple choisi.

Le voltmètre utilisé est de la marque Pekly que l'on rencontre dans de nombreux établissements.

3. MANIPULATION :

* avant tout début de série de mesures, maintenir le bouton-poussoir rouge enfoncé (afin que le condensateur n'ait pas de charge résiduelle) : libérer le bouton avec le départ du chronomètre,

* on utilisera les condensateurs C_1 et C_2 :

— d'abord, l'un après l'autre,

— ensuite, associés :

en série : pour former $(C_{1-2} s) \Rightarrow C_{1-2}^{-1} s = C_1^{-1} + C_2^{-1}$

en parallèle : pour former $(C_{1-2} p) \Rightarrow C_{1-2} p = C_1 + C_2$,

* nous avons réalisé deux autres groupes de manipulations en considérant le condensateur (C_3) formé de deux condensateurs (C_1) et (C_2) câblés en parallèle sur le même support.

Les résultats expérimentaux sont rassemblés ci-après :

t (s)	3	5	8	10	13	15	16	20	25
(C_1)		2,20		4,40		6,60		8,70	
(C_2)		0,85		1,70		2,50		3,20	4,0
(C_3)		0,60		1,20		1,75		2,30	2,90
$(C_{1-2} p)$		0,60		1,15		1,75		2,30	2,90
$(C_{1-2} s)$	1,60	2,90	4,70	5,80	7,50	8,80	9,40		
$(C_{1-3} p)$		0,45		0,95		1,40		1,85	2,30
$(C_{1-3} s)$	1,60	2,70	4,30	5,50	7,00	8,10	8,70		
$(C_{2-3} p)$		0,35		0,70		1,05		1,40	1,75
$(C_{2-3} s)$		1,35		2,70		4,05		5,40	6,70

A partir de ces valeurs, nous avons tracé les graphiques $u(t)$ et, en choisissant un couple de valeurs $(U_0; t_0)$ données par les différents graphiques I, II, III en fin de texte, nous en avons déduit la valeur expérimentale $C_{\text{expé}}$ de la capacité du condensateur seul ou des condensateurs associés, valeurs que nous pouvons comparer à celles fournies par le constructeur C_{constr} ou à celles calculées C_{calc} à partir des valeurs expérimentales ; nous

avons déterminé les écarts relatifs $\frac{\Delta C}{C}$.

Les résultats sont rassemblés dans ce deuxième tableau :

	point choisi		$C_{\text{expe}}^{(\mu\text{F})} = I t_0 / U_0$	$C_{\text{const}}^{(\mu\text{F})}$	$C_{\text{calc}}^{(\mu\text{F})}$	$\frac{\Delta C}{C} \%$
	U_0 (V)	t_0 (V)				
(C ₁)	6,60	15	2273	2200		3,3
(C ₂)	4,10	25	6097	4700		30
(C ₃)	2,90	25	8621	6900		25
(C _{1-2 p})	2,90	25	8621		8370	3
(C _{1-2 s})	8,80	15	1705		1656	3
(C _{1-3 p})	2,30	25	10870		10894	0,2
(C _{1-3 s})	8,70	16	1840		1800	0,2
(C _{2-3 p})	1,70	25	14706		14718	0,8
(C _{2-3 s})	6,70	25	3731		3571	4,4

C. Remarques concernant :

1. LE CONSTRUCTEUR :

- pour (C₁) il y a un bon accord entre la valeur donnée par le fabricant et celle trouvée expérimentalement,
- pour (C₂), la valeur indiquée par le constructeur est approximative,
- pour (C₃) formé à partir de deux autres condensateurs du même type que (C₁) et (C₂) montés en parallèle sur le même support, l'accord est parfait : il semblerait qu'il y ait donc une bonne fabrication des condensateurs d'un même type.

2. LA MANIPULATION :

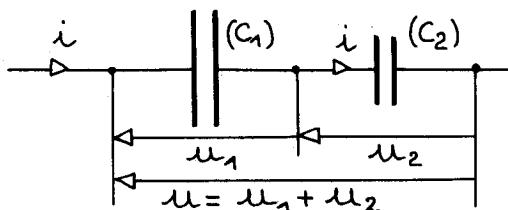
En ce qui concerne les condensateurs associés en série ou en parallèle, il y a un bon accord entre la valeur expérimentale et la valeur calculée à partir des valeurs expérimentales de (C₁), (C₂) et (C₃).

Lorsque les élèves ont bien compris le déroulement des opérations, il faut une demi-heure pour relever les valeurs de U (1^{er} tableau) et une autre demi-heure pour tracer les droites et obtenir les capacités C (2^e tableau).

D. Autre exploitation graphique des mesures en vue de la détermination de la capacité du condensateur équivalent.

On porte en abscisse, non plus le temps t (s) mais la quantité d'électricité : $q = I \cdot t$, car c'est la même qui charge (C_1) et (C_2). Comme nous utiliserons des courants de l'ordre du milliampère (1 mA, précédemment), on gradue directement l'axe des abscisses en millicoulombs (mC).

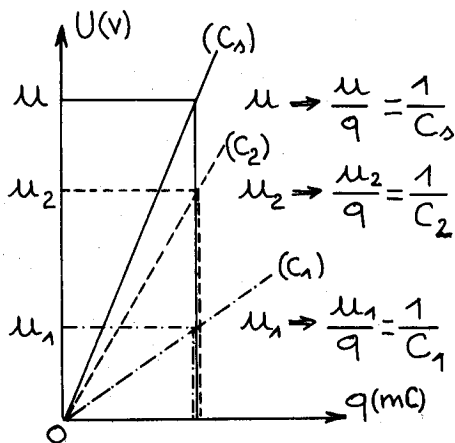
1. (C_1) et (C_2) en série :



A partir des droites : $u = Kq$, obtenues pour chaque condensateur :

* pour une même valeur de q :

- on ajoute les tensions u_1 et u_2 ,
- on obtient la droite (C_s).



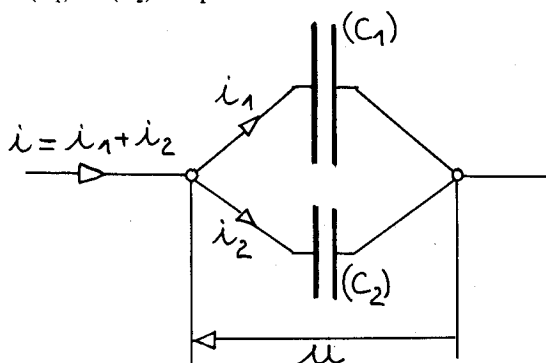
ou :

$$\frac{u}{q} = \frac{u_1}{q} + \frac{u_2}{q}$$

soit :

$$C_s^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1}.$$

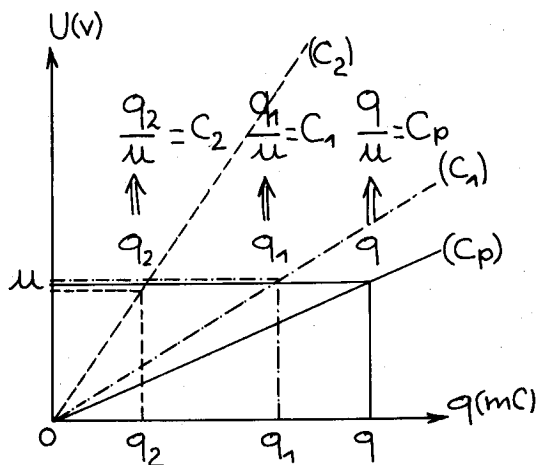
2. (C_1) et (C_2) en parallèle.



A partir des droites : $u = Kq$, obtenues pour chaque condensateur :

* pour une même valeur de u :

- on ajoute les quantités d'électricité q_1 et q_2 ,
- on obtient la droite (C_p).

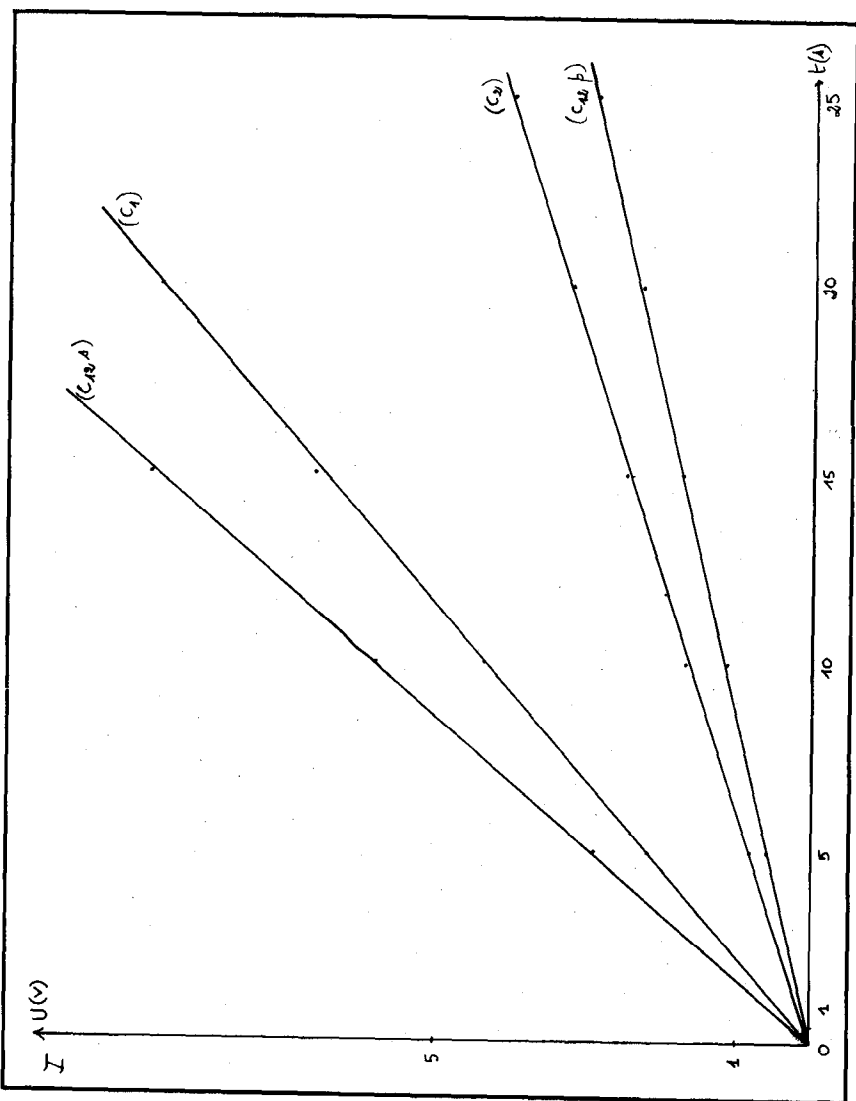


ou :

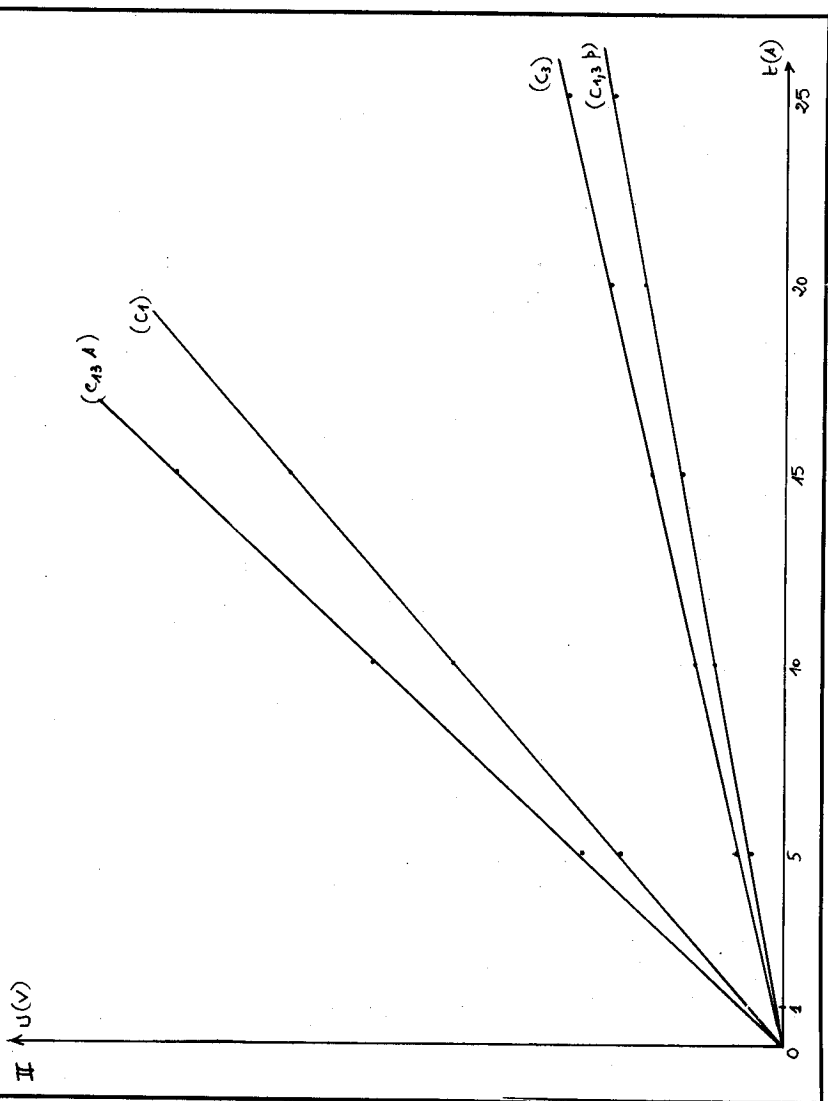
$$\frac{q}{u} = \frac{q_1}{u} + \frac{q_2}{u}$$

soit :

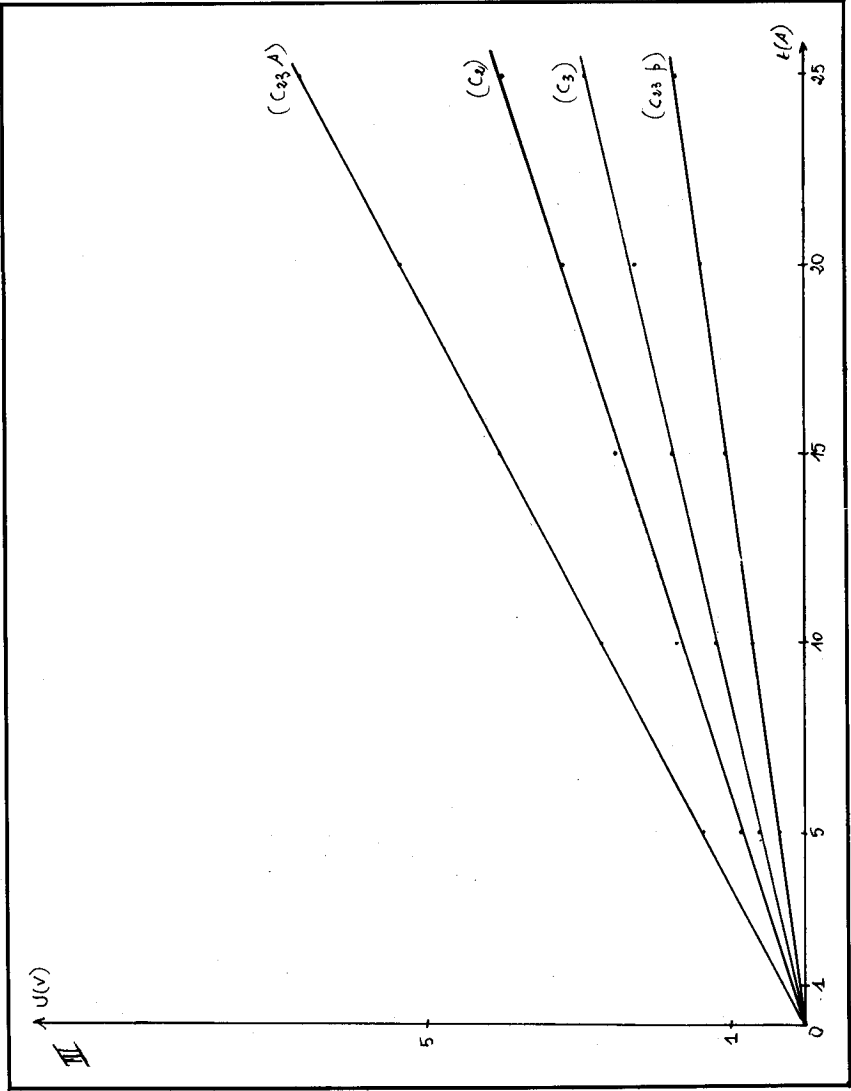
$$C_p = C_1 + C_2.$$



Graphiques $u(t)$ expérimentaux concernant les condensateurs (C_1) et (C_2) seuls, en série : (C_{1-2^s}) , en parallèle : (C_{1-2^p}) .



Graphiques $u(t)$ expérimentaux concernant les condensateurs (C_1) et (C_3) seuls, en série : (C_{1-3^s}) , en parallèle : (C_{1-3^p}) .



Graphiques $u(t)$ expérimentaux concernant les condensateurs (C_2) et (C_3) seuls, en série : (C_{2-3}^s) , en parallèle : (C_{2-3}^p) .