

9/86
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

«*»
«*»
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

«*»
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Simulation hydraulique des
processus dans les reacteurs
fermés isothermes**

Proposé par :

M.A. CIESLAK

Etudié par :

M. BELHADDAD Abdelkader

Dirigé par :

M.A. CIESLAK

PROMOTION : JUIN 1986

E.N.P. 10 , Avenue Hacem Badi — EL-HARRACH - ALGER

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Simulation hydraulique des
processus dans les reacteurs
fermés isothermes**

Proposé par :

M.A. CIESLAK

Etudié par :

M. BELHADDAD Abdelkader

Dirigé par :

M.A. CIESLAK

PROMOTION : JUIN 1986

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

Département : Genie chimique
Promoteur : Mr CIESLAK
Elève Ingénieur : Mr BELHADDAD ABDELKADER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

ملخص :

في هذا البحث تعرضنا إلى مبادئ
تربط لمختلف التفاعلات الكيماوية في وعاء مغلق ذو
حرارة ثابتة. صورة هذا التشابه تنمهر جوهريا في رواج
لماء عبر أنبوب رفيع أين تتركز لدينا الخسارة في لشحنة
لغده لتولية جاهزة لأن تستعمل كأداة سهلة في
مجال دراسة الحركة الكيماوية.

Résumé :

Dans cette memoire, nous avons proposé les analogues hydrauliques des différentes réactions chimiques, dans un réacteur fermé isotherme. La conception de cette analogie est basée essentiellement sur l'écoulement de l'eau à travers, un capillaire à l'intérieur du quel la perte de charge est totalement concentrée.

Notre installation pourra être utiliser comme étant un objet commode dans le domaine de l'instruction de la cinétique chimique.

Abstract :

In this memory, the hydraulic analogous of the isothermal batch reactor has been proposed. It has shown how a few burettes, and capillaires propely connected can be the basis for a large number of simple experiments, to teach the principales of data fitting in cremical reaction engineering.

DEDICACES

à :

- ma mere
- mon pere
- mes freres
- tous les membres de la famille
- mes ami(e)s
- tous ceux qui sont chers

je dédie ce modeste travail .

Président de jury.

- Melle YAICI

Membres de jury.

- Mme DERRICHE

- Mme ABBAS TURKI

- Mr DOUCHANOV

REMERCIEMENTS

la présente étude a été réalisée dans le cadre du projet de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie chimique de l'École Nationale Polytechnique d'Alger .

ce travail a été proposé et dirigé par monsieur CIKSLAK qui je tiens à exprimer ma vive reconnaissance pour tous les précieux conseils qu'il a bien voulu me donner, et pour les laborieuses discussions que nous avons échangées. je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants et professeurs du primaire, du secondaire du moyen et du supérieur , qui ont contribué à ma formation. mes remerciements s'adressent aussi au président du jury aussi bien que pour les examinateurs qui ont bien voulu m'honorer de leur présence dans ce jury.

je tiens de même à remercier toute personne ayant participé à l'élaboration de ce projet de loin ou de près.

en fin que tous mes ami(es) trouvent dans ce présent travail, ma profonde sympathie.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PARTIE THEORIQUE

TABLE DES MATIERES

I - REACTEURS CHIMIQUES	
différents types de réacteur	
définition	I
II- MECANIQUE DES FLUIDES	
définition	4
dynamique des fluides incompressibles	6
pertes de charge	7
III- CONCEPTION DES ANALOGUES HYDRAULIQUES	
DE DIFFERENTES REACTIONS DANS UN REACTEUR	
FERME'ISOTHERME.	
x modèle cinétique d'une réaction élémentaire	
irréversible	13
modèle cinétique d'une succession de deux	
réactions irréversibles	18
x modèle cinétique d'une réaction parallèle	
(jumelle)	22
modèle cinétique d'une succession de 2 réactions	
réversibles	23
réversible - irréversible	24
irréversible - réversible	25
modèle cinétique d'une réaction	
particulière	26
VI - INTERPRETATION GLOBALE	32
V → CONCLUSION	42

INTRODUCTION

après de brillants débuts, la théorie de similitude entra quelque peu dans l'ombre, au cours des années (1928 - 1930) aujourd'hui, le principe de similitude habilement mis en oeuvre peut être très utile, non seulement au chercheur, mais aussi à l'ingénieur de fabrication. c'est pourquoi il est indispensable à l'ingénieur moderne, de s'initier à l'étude de la similitude physique, pour pouvoir ensuite appliquer cette méthode à son domaine particulier.

les apports d'information sont divisés en deux étapes :
à la première, le modèle est comparé au phénomène, et est considéré comme satisfaisant s'il n'en diverge pas de beaucoup.

à la seconde étape, on confronte ce à quoi l'on s'attend avec ce qu'indique le modèle.

ce processus est appelé (simulation) .

la simulation physique, se ramène à reproduire la constance des critères de similitude caractéristiques, et dans le modèle, et dans le système étudié. pratiquement, cela signifie, que les lois de la similitude physique peuvent servir de guide dans l'extrapolation de la maquette à l'échelle industrielle .

effectivement, notre installation présente un type analogique entre le phénomène hydraulique, et le phénomène dans un réacteur chimique. ce type d'analogie pourra être assimilé à celui entre la conduction thermique, et la conduction électrique .

si cette hypothèse est vraie, on peut conclure sur certaines grandeurs caractéristiques au réacteur chimique, à partir des grandeurs propres à l'écoulement hydraulique. notre simulation à pour but essentiel, est de remplacer l'analyse des processus qui sont compliqués (et même parfois plus chers) par d'autres plus simples .

REACTEURS CHIMIQUES

I- différents types de réacteurs

définition : un réacteur est la portion d'espace où est réalisée la transformation chimique .

I-1 ce réacteur peut être fermé (pas d'échange de matière avec l'extérieur) . les réactifs sont introduits en une seule fois et les produits sont évacués en une seule fois . c'est une méthode d'étude statique , le régime est forcément transitoire et les opérations discontinues .

I-2 si un constituant n'est ni apporté ni extrait pendant la réaction , le réacteur est dit semi fermé .

I-2-1 à entrée ouverte , si on introduit au moins un réactif au fur et à mesure .

I-2-2 à sortie ouverte , si on extrait au moins un produit au fur et à mesure .

I-2-3 à entrée et sortie ouvertes , si on combine une alimentation continue en certains réactifs avec une élimination continue de certains produits . ce troisième cas entraîne un courant de matière qui est dit courant partiel , car au moins un constituant n'est pas entraîné par le courant , c'est une méthode dynamique à courant partiel , le régime est transitoire et les opérations discontinues .

I-3 le réacteur est dit ouvert , quand tous les réactifs sont introduits et tous les produits sont éliminés par le courant de matière , c'est une méthode dynamique à courant total . le réacteur ouvert peut fonctionner en régime permanent , ce qui a l'avantage de fournir une production régulière , il y'a bien sûr un régime transitoire au démarrage et à l'arrêt du réacteur .

I-3-I si l'agitation est suffisante pour que le mélange réactionnel soit homogène dans tout le réacteur, on l'appelle réacteur parfaitement agité.

I-3-2 pour un réacteur ouvert, il peut arriver que réactifs et produits progressent en bloc, en tranches parallèles n'échangeant pas de matière entre elles, le réacteur est dit à écoulement piston.

I-4 dans un réacteur, on peut faire en sorte que les échanges thermiques avec l'extérieur maintiennent une température uniforme dans le réacteur et constante dans le temps. le réacteur est appelé réacteur isotherme.

propriétés physiques de l'eau douce à la pression atmosphérique ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$)

$T (^{\circ}\text{C})$	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
$\rho (\text{kg m}^{-3})$ $\cdot 10^3$	1,77	1,57	1,31	1,01	0,82	0,65	0,54	0,45	0,36	0,27
$\bar{\omega} (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	999,9	1000,0	999,7	998,2	995,7	992,2	988,1	983,2	971,8	958,4
$\nu (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$ $\cdot 10^6$	1,77	1,57	1,31	1,01	0,83	0,66	0,55	0,46	0,37	0,29
$\Gamma (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$ $\cdot 10^3$	7,71	7,63	7,57	7,43	7,26	7,10	6,90	6,76	6,38	6,00

dans les calculs hydrauliques ordinaires, on prend $\bar{\omega} = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ et $\rho = 10^{-3} \text{ kg m}^{-3} \text{ s}^{-1}$

MECANIQUE DES FLUIDES

définition : tous les corps peuvent changer de forme mais les déformations sont plus au moins faciles à obtenir pour un solide, il faut utiliser un marteau par contre un liquide tel que l'eau prend automatiquement, la forme du récipient dans le quel il est versé. on appelle fluide, un corps qui peut changer de forme sous l'action d'une force très faible .

viscosité dynamique et cinématique

la viscosité d'un fluide est la propriété qui exprime sa résistance à une force tangentielle. la viscosité est due principalement à l'interaction entre les molécules du fluide .

le coefficient de viscosité s'exprime en poiseuille (pI) dans le système international (SI) . et en poise (po) dans le système c.g.s rappelons que $1(pI) = 10 PO$

l'inverse de la viscosité dynamique s'appelle la fluidité on utilise aussi fréquemment, le coefficient de viscosité cinématique .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

sa formule dimensionnelle est ($L^2 T^{-1}$), les unités employées sont le (m^2/s), dans (SI) et le (cm^2/s), ou stocks dans le système (c.G.s) .

viscosité	dimension	C.G.S	M.K.S.A
μ	$M L^{-1} T^{-1}$	poise (PO) $g.cm^{-1}.s^{-1}$	poiseuille $kg.m^{-1}.s^{-1}$
ν	$L^2 T^{-1}$	stocks (st) $cm^2.s^{-1}$	$m^2.s^{-1}$

poids spécifique

le poids spécifique ($\bar{\omega}$) d'une substance est le poids de l'unité de volume, de la substance. pour les liquides on peut considérer que $(\bar{\omega})$ est constant au cours des variations de pression, intervenant dans la pratique courante. le poids spécifique de l'eau pour les variations courantes, de la température est de 1000 kg/m³

tension superficielle

une molécule située à l'intérieur d'un liquide, est soumise à des forces d'attraction agissant dans toutes les directions, et la somme vectorielle de celle-ci est nulle. cependant, une molécule située à la surface d'un liquide est soumise à une force de cohésion bien déterminée, dirigée vers l'intérieur et perpendiculaire à la surface. la tension superficielle d'un liquide, est le travail nécessaire pour amener à la surface, suffisamment de molécules de l'intérieur du liquide, pour former une nouvelle unité de cette surface. dans la plupart des problèmes de mécanique des fluides élémentaires, la tension superficielle n'a pas particulièrement d'importance.

capillarité

l'absorption ou la répulsion d'un liquide dans un tube capillaire, est due à la tension superficielle, et dépend de la grandeur relative des forces de cohésion du liquide, et des forces d'adhésion du liquide aux parois du récipient. les liquides montent dans les tubes qu'ils mouillent (adhésion > cohésion) et tombent dans les tubes qu'ils ne mouillent pas (cohésion > adhésion). la capillarité est importante, quand on utilise des tubes de diamètre inférieur à environ 1 cm de diamètre.

pression d'un fluide

un fluide transmet les pressions dans toutes les directions, celle-ci agissent normalement. dans un liquide les intensités de la pression, dans un même sens sont égales dans un même plan horizontale.

influence de la pression et de la température sur le coefficient de viscosité

la viscosité dynamique des fluides, décroît lorsque la température augmente, ainsi pour

$$\begin{array}{l} \text{à } 20^{\circ} \quad \mu = 10^{-3} \text{ PI} \\ \text{l'eau : à } 90^{\circ} \quad \mu = 0,316 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

il n'existe pas de relations rigoureuses liant (μ et T) généralement, on peut utiliser l'équation empirique du

GUZMAN - ANDRADE

$$\mu = A e^{B/T}$$

A et B étant des constantes dépendant de la nature du liquide, la pression n'a que peu d'influence sur la viscosité des liquides .

I- DYNAMIQUE DES FLUIDES INCOMPRESSIBLES

la dynamique des fluides, est l'étude des fluides en mouvement soit une canalisation de forme quelconque, contenant un fluide.

a) la canalisation est complètement remplie par le fluide, on dit alors qu'il y a écoulement à pleine section.



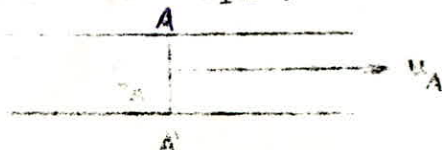
(A) canalisation pleine de fluide



(B) canalisation partiellement remplie

b) soient, S_A une section droite quelconque de la canalisation, U_A la vitesse moyenne du fluide au niveau de cette section.

$Q = S_A U_A$ représente le volume de fluide, traversant la section droite pendant l'unité de temps .



I-I théorème de BERNOUILLI

l'équation de (BERNOUILLI) représente un cas limite idéal. elle s'applique à l'écoulement permanent d'un fluide incompressible , mais suppose en plus :

- le fluide parfait .
- un écoulement dans une conduite rectiligne, lisse ne contenant aucun obstacle placé sur le trajet fluide, et ne présentant pas des variations brusques de section .

l'équation de BERNOUILLI :

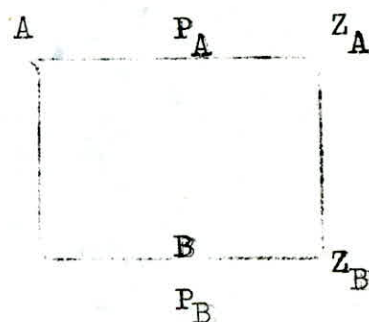
$$\frac{P}{\rho} + Z + \frac{U^2}{2g} = \text{constante}$$

I-2 théorème de toricelli

un réservoir de grande dimension, contenant un fluide, est percé d'une ouverture à sa base (fig b).

appliquons le théorème de BERNOUILLI AUX points A et B

$$\frac{P_A}{\rho} + Z_A + \frac{U_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho} + Z_B + \frac{U_B^2}{2g}$$



$$P_A = P_B = P_0 \text{ (pression atmosphérique)}$$

$$U_A \text{ est négligeable vis à vis de } U_B \text{ (} S_A U_A = S_B U_B \text{)}$$

et

$$S_A \gg S_B$$

$$\text{on a donc : } U_B = \sqrt{2g(Z_A - Z_B)}$$

on constate que la vitesse d'écoulement est indépendante de la nature du liquide .

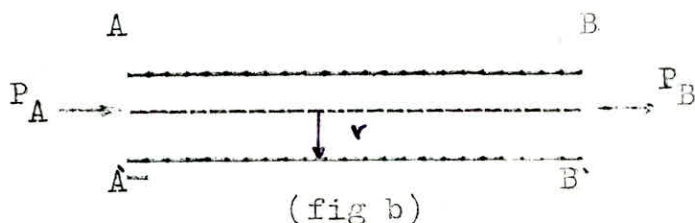
PERTES DE CHARGE

a) régime laminaire : (équation de poiseuille)

en régime laminaire, les différentes couches liquide glissent les unes sur les autres parallèlement à l'axe, en raison de viscosité du fluide .

ces couches se freinent mutuellement, et sont freinées par la paroi de sorte que dans une même section (AA'), il y a une distribution des vitesses . (U) est maximale dans l'axe du tube, et décroît constamment au fur et à mesure qu'on se rapproche de la paroi .

soit un tube horizontale, de section uniforme (fig b) dans le quel s'écoule un liquide en régime laminaire, la pression statique décroît progressivement le long du tube en raison des frottements. elle est égale à (P_A) au niveau de la section (AA') et à (P_B) au niveau de la section (BB')



considérons le cylindre de même axe que le tube, de rayon (r) limité par les sections (AA') et (BB') distantes de (L) .
le liquide contenue dans ce cylindre, est soumis à deux forces.

- une force due à la différence de pression (P_A - P_B)

$$\boxed{F_I = \pi r^2 (P_A - P_B)}$$

force dérivée vers le sens
(AB)

- une force due à l'action de viscosité, sur la paroi latérale du cylindre .

$$\boxed{F_2 = \mu S \frac{du_r}{dr}}$$

S est la surface latérale du cylindre. S = 2πrL

u_r est la vitesse du fluide au niveau de la paroi latérale du cylindre .

F_2 est dirigée dans le sens (BA) car $\frac{du_r}{dr} < 0$

(u_r décroît quand r croît)

Le cylindre est en équilibre, sous l'action de ces deux forces .

$$F_1 + F_2 = 0 \implies (P_A - P_B)\pi r^2 + 2\pi r L \mu \frac{du_r}{dr} = 0$$

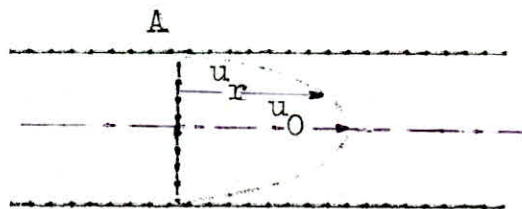
$$\frac{du_r}{dr} = - \frac{P_A - P_B}{4 L \mu}$$

en intégrant et en tenant compte de $U_r = 0$ pour $r = R$
 R(rayon de la conduite)

$$U_r = \frac{P_A - P_B}{4 L \mu} (R^2 - r^2)$$

nous constatons que $U_r = f(r)$, est une parabole

$$U_0 = \frac{P_A - P_B}{4 L \mu} R^2$$



fig(b)

U_0 est la vitesse maximale :

- vitesse moyenne :

nous pouvons calculer le débit en volume \dot{Q} à partir de ces résultats . par définition :

$$\dot{Q} = \text{section} \times \text{vitesse moyenne}$$

le débit élémentaire $d\dot{Q}$ passant entre les deux cylindres de rayon, r et $r+dr$ est donné par l'expression suivante .

$$d\dot{Q} = U_r \cdot 2\pi r dr$$

nous avons :

$$U_r = \frac{P_A - P_B}{4 L \mu} (R^2 - r^2)$$

en reportant cette valeur, et en intégrant .

$$\dot{Q} = \frac{P_A - P_B}{4 L \mu} \int_0^R 2\pi (R^2 r - r^3) dr$$

$$\dot{Q} = \frac{P_A - P_B}{8 L \mu} \pi R^4$$

avec : $U = \frac{\dot{Q}}{\pi R^2}$ soit $U = \frac{P_A - P_B}{32 L \mu} d^2$

$$P_A - P_B = \frac{32 L \mu}{d^2} U$$

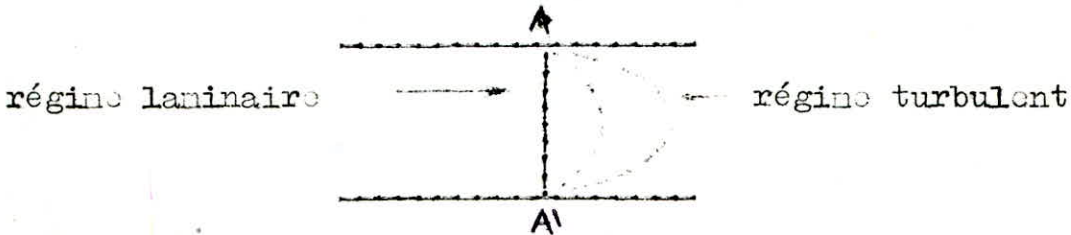
loi de poiseuille

d: est le diamètre de la conduite, nous pouvons vérifier que $U_{\text{noy}} = \frac{1}{2} U_{\text{max}}$

b) régime turbulent :

en régime turbulent la courbe, $U_r = f(r)$ est plus aplatie qu'en régime laminaire (fig(a)).

$$\frac{U_{\text{noy}}}{U_{\text{max}}} = f(Re) \quad \text{avec} \quad Re = \frac{d U_{\text{max}} \rho}{\mu}$$



c) différents régimes d'écoulement

$$Re = \frac{d u \rho}{\mu} \quad (\text{nombre de renolds})$$

- $Re < 2100$ le régime est laminaire .
- $2100 < Re < 3000$ transitoire .
- $Re > 3000$ turbulent .

d) écoulement dans un tube capillaire :

$$Re < 2100 \quad \frac{\rho \, du}{\mu} < 2100$$

avec: $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et $\mu = 10^{-3} \text{ PI}$

supposons que l'on étudie l'écoulement, dans un tube capillaire de diamètre $d = 10^{-4} \text{ m}$. le régime est laminaire si $u = 2 \text{ m/s}$ en pratique, la vitesse du fluide est toujours inférieure à cette valeur; l'écoulement dans un capillaire, se fait donc en régime laminaire .

$$d \, u < 2,1 \cdot 10^{-3}$$

e) perte dans les élargissement :

dans un élargissement brusqué, il y a toujours, une perte de charge du type .

$$\Delta H = n \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g}$$

que l'on appelle perte de charge du type (BORDA)

u_1 : représente la vitesse dans le tronçon, de plus faible diamètre .

u_2 : la vitesse dans le tronçon de plus grand diamètre

n : le coefficient expérimentale en tout rigueur, on doit encore introduire un terme correctif, due à saint-venant on obtient alors :

$$\Delta H = n \left(1 - \frac{s_1}{s_2}\right) \frac{u_1^2}{2g} = K \frac{u_1^2}{2g}$$

s_1 et s_2 : étant les sections.

la valeur de K est donnée par la table .

f) perte dans les retrécissements

les pertes de charge dans un retrécissement, résultant surtout des pertes par élargissement, dues au passage de la sec-

tion contractés (3) à la section (2) au point de vue pratique, on écrit aussi .

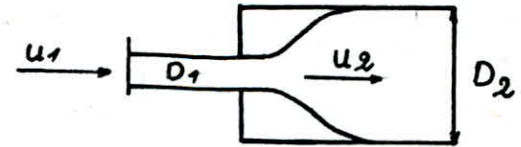
$$\Delta H = K \frac{u_2^2}{2g}$$

la valeur de K est donnée par la table suivante, qui donne aussi la valeur du coefficient de contraction $n = s_3' : s_2$

on considère, deux cas : $s_3 = s_2$ et $s_3 < s_2$

elargissements brusques. valeurs du k

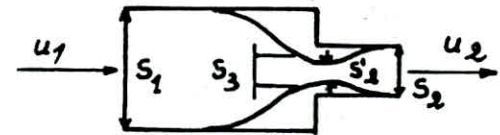
de la formule : $\Delta H = k u_1^2 / 2g$



D_1/D_2 u_1	$\sim 0,01$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0,60	1,00	1,00	0,96	0,86	0,74	0,60	0,44	0,29	0,15	0,04
1,50	0,96	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,41	0,27	0,14	0,04
3,00	0,93	0,91	0,86	0,77	0,67	0,54	0,40	0,26	0,13	0,04
6,00	0,86	0,84	0,80	0,72	0,62	0,50	0,37	0,24	0,12	0,04
12,00	0,81	0,80	0,75	0,68	0,58	0,47	0,35	0,22	0,11	0,03

retrecissements brusques. valeurs du k

de la formule : $\Delta H = k u_1^2 / 2g$



S_3/S_2	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
$m = S_3/S_2$	0,60	0,61	0,62	0,65	0,70	0,77	1,00
K	0,49	0,45	0,42	0,33	0,22	0,13	0,00

S_3/S_2	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,000
m	0,616	0,614	0,612	0,610	0,607	0,605	0,601	0,596
K	232	51	18	9,60	5,30	3,10	1,20	0,48

a) $S_3 = S_2$

b) $S_3 < S_2$

conceptions des analogues
hydrauliques de différentes réactions
dans un réacteur fermé et isotherme

a) modele cinétique d'une réaction élémentaire
irréversible (A \xrightarrow{k} B)

nous nous restreindrons aux installations les plus simples ,
c'est à dire pour les quels :

$$\dot{V} = - \frac{dv}{dt}$$

pour ceux-ci nous supposons vérifiées une loi cinétique simple
et, nous en déduirons comment varient au cours du temps, les vo-
lumes des différentes burettes .

soit, l'écoulement non permanent d'un liquide à travers un capi-
llaire, par l'intermédiaire d'un tube de diamètre plus grand .
comme, il est indiqué sur le schéma n= I dans la partie expéri-
mentale .

nous avons su au préalable, que l'écoulement à travers un capi-
llaire est toujours laminaire . en outre , pour calculer la per-
te de charge durant cette écoulement, nous appliquons l'equati-
on de poiseuille .

$$\Delta P = \frac{32 L \mu}{d^2} u$$

u: vitesse moyenne d'écoulement.

$$u = \frac{4 \dot{V}}{\pi d^2}$$

ou \dot{V} : (débit volumique)

$$\Delta P = \frac{128 L \mu}{\pi d^4} \dot{V} \quad \Rightarrow \quad \dot{V} = \frac{d^4 \pi}{128 L \mu} \Delta P$$

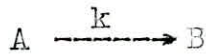
or : $\Delta P = \rho g \Delta H$ et $\Delta H = \frac{4 V}{\pi D^2}$

$$\dot{V} = \frac{\rho g d^4}{32 L \mu D^2} V$$

nous avons aussi pour un écoulement non permanent :

$$\dot{Q} = - \frac{dv}{dt} \longrightarrow - \frac{dv}{dt} = k V$$

par analogie à la cinétique chimique, on constate que l'équation précédente est la même que celle, utilisée pour la description de la variation de la concentration d'un réactif dans un réacteur fermé, isotherme pour la réaction élémentaire irréversible .



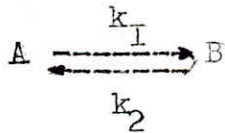
$$- \frac{dC_A}{dt} = k C_A$$

la loi cinétique, implique : $\dot{Q} = - \frac{dv}{dt} = kv$ soit $\frac{dv}{v} = -k dt$
 et par intégration :

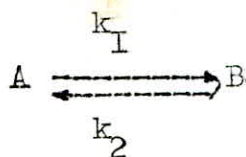
$$\begin{aligned} \text{et} \quad v &= v_0 e^{-kt} \\ \dot{Q} &= kv_0 e^{-kt} \end{aligned}$$

le volume dans la burette (A) et le débit volumique décroissent, exponentiellement au cours du temps. l'existence d'une dépendance linéaire de $\ln(v)$ en fonction du temps, est le critère principal permettant d'estimer, que l'écoulement envisagé est assimilé à une réaction simple irréversible de premier ordre .

b) modèle cinétique d'une réaction réversible



nous considérons, le cas où l'écoulement est toujours non permanent comme l'indique le schéma (n° 2)
 en réalité cet écoulement, peut décrire une réaction réversible



dans ce cas, la perte de charge est due à la variation des deux hauteurs (H_1 et H_2)

$$\Delta P = \rho g \Delta H = \rho g (H_1 - H_2)$$

et:

$$H_1 = \frac{4v_1^2}{\pi D_1^2}, \quad H_2 = \frac{4v_2^2}{\pi D_2^2}$$

alors:

$$\dot{Q} = \frac{\rho g d^4}{32 L \mu D_1^2} v_1 - \frac{\rho g d^4}{32 L \mu D_2^2} v_2$$

en fin:

$$\boxed{-\frac{dv_1}{dt} = k_1 v_1 - k_2 v_2}$$

qui correspond effectivement, à $-\frac{dc_A}{dt} = k_1 c_A - k_2 c_B$

conditions initiales : à $t=0$ $v = v_0 = v_1 + v_2$
 $H_2 = 0$

$$-\frac{dv_1}{dt} = k_1 v_1 - k_2 (v_0 - v_1) \quad \text{avec : } v_2 = f(v_1) = v_0 - v_1$$

$$-\frac{dv_1}{dt} = (k_1 + k_2) v_1 - k_2 v_0$$

$$\boxed{\frac{dv_1}{dt} + (k_1 + k_2) v_1 = k_2 v_0}$$

équation différentielle du premier ordre .

posons : $k = k_1 + k_2$

$$\frac{dv_1}{dt} + k v_1 = 0 \quad \text{équation différentielle du premier ordre sans second membre .}$$

$$v_1 = \lambda e^{-kt} \quad \textcircled{II} \quad \text{solution particulière .}$$

$$\lambda = f(t)$$

$$\frac{dv_1}{dt} = -\lambda k e^{-kt} + \frac{d\lambda}{dt} e^{-kt}$$

$$\frac{dv_I}{dt} + kv_I = \frac{d\lambda}{dt} e^{-kt} \quad \text{par identification}$$

nous avons : $\frac{d\lambda}{dt} e^{-kt} = k_2 v_0$; $\frac{d\lambda}{dt} = k_2 (v_0 e^{kt})$

qui donne par intégration :

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{k_2}{k} v_0 (e^{kt} - 1)$$

nous remplaçons par son expression dans l'équation (II)
on aura :

$$v_I = \frac{k_2}{k} v_0 (e^{kt} - 1) + e^{-kt} + \lambda_0 e^{-kt}$$

$$v_I =$$

$$v_I = \frac{k_2}{k} v_0 (1 - e^{-kt}) + \lambda_0 e^{-kt}$$

à $t = 0$, $v_0 = \lambda_0$

donc : $v_I = \frac{k_2}{k_I + k_2} v_0 + (1 - \frac{k_2}{k_I + k_2}) v_0 e^{-kt}$

$$v_I = \frac{v_0}{k_I + k_2} (k_2 + k_I e^{-kt})$$

solution générale :

$$v_2 = \frac{k_I v_0}{k_I + k_2} (1 - e^{-kt})$$

la condition d'équilibre s'écrit :

$$\left(\frac{v_2}{v_I} \right)_{\text{éq}} = k^0 \quad (\text{loi d'action des masses}) .$$

à l'équilibre, il n'y a plus de variation de volumes donc

$$\frac{dv_I}{dt} = 0 \quad \text{c'est à dire } (\dot{v}_1)_{eq} = (\dot{v}_2)_{eq}$$

$$\text{ou : } k_I (v_I)_{eq} = k_2 (v_2)_{eq} \quad \text{et } \frac{(v_2)_{eq}}{(v_I)_{eq}} = \frac{k_I}{k_2}$$

en choisissant des états standard convenable, le rapport des résistances hydrostatiques $\left(\frac{k_I}{k_2}\right)$ à la même mesure que la constante d'équilibre k^c . k_2

on peut remarquer, que $k_I v_I = k_2 v_2$ est obtenue quand t tend vers l'infini c'est à dire :

$$(v_I)_{eq} = \frac{k_2}{k_I + k_2} v_0 \quad \text{et} \quad (v_2)_{eq} = \frac{k_I}{k_I + k_2} v_0$$

il est souvent, plus intéressant dans les calculs d'utiliser directement les conditions d'équilibre .

les résistances hydrostatiques k_I et k_2 peuvent être déterminées à partir de la dépendance de v_I et v_2 avec le temps. mais il est souvent plus commode de les déterminer en deux étapes .

on détermine un volume à l'équilibre, $(v_I)_{eq}$ ou $(v_2)_{eq}$. ce qui permet à partir de (k^c) d'évaluer.

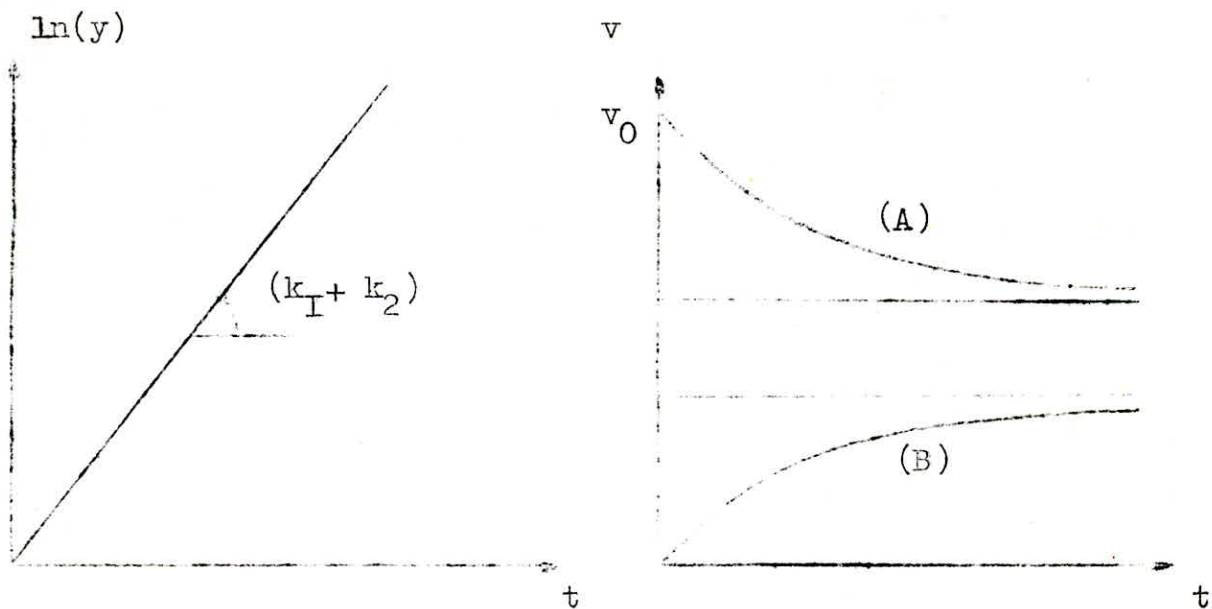
$$\boxed{\frac{k_I}{k_2} = \frac{v_0 - (v_I)_{eq}}{(v_I)_{eq}}}$$

on étudie ensuite, la valeur de (v_I) ou (v_2) en fonction du temps . d'ou :

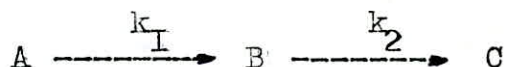
$$k_I + k_2 = \frac{I}{t} \ln \left(\frac{v_0 - (v_I)_{eq}}{v_I - (v_I)_{eq}} \right)$$

$$\boxed{\ln \left(\frac{v_0 - (v_I)_{eq}}{v_I - (v_I)_{eq}} \right) = (k_I + k_2) t}$$

une droite ayant pour pente : $k = k_I + k_2$



c) modèle cinétique d'une succession de deux réactions du premier ordre



le schéma n° 6 représente un écoulement non permanent, à travers cette fois ci deux capillaires par l'intermédiaire de deux tubes de sections plus grandes :

$$\Delta P_I = \rho g H_I = \frac{32 L \mu}{d^2} u_I \quad \text{avec : } u_I = \frac{4 \dot{\varphi}_1}{\pi d_I^2}$$

$$\dot{\varphi}_1 = - \frac{dv_I}{dt} = \frac{\rho g d^4}{32 L_I \mu d_I^2} v_I \quad \text{donc : } - \frac{dv_I}{dt} = k_I v_I$$

on procède de la même façon qu'au préalable, on trouve

$$\frac{dv_3}{dt} = k_2 v_2 \quad \text{avec : } k_i = \frac{\rho g d^4}{32 L_i \mu D_i^2}$$

on constate que : $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3 \quad \text{---} \quad \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3$

ou encore : $\frac{dv_2}{dt} = k_I v_I - k_2 v_2$

on se place dans le cas, ou on est parti de (v_I) pur .
écrivons la loi cinétique d'une façon générale .

$$(1) - \frac{dv_I}{dt} = k_I v_I \quad \text{et} \quad \frac{dv_2}{dt} = k_I v_I - k_2 v_2 \quad (3)$$

$$(2) \quad \frac{dv_3}{dt} = k_2 v_2 \quad \text{avec :} \quad v_{02} = v_{03} = 0$$

$$(1) \text{ s'intègre en} \quad v_I = v_0 e^{-k_I t}$$

(fonction monotone, décroissante de concavité tournée vers le haut)

$$(2) \text{ s'écrit :} \quad \frac{dv_2}{dt} + k_2 v_2 = k_I v_0 e^{-k_I t}$$

de solution générale :

$$v_2 = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 e^{-k_I t} + \lambda e^{-k_2 t}$$

soit, en utilisant les conditions initiales :

$$v_2 = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 (e^{-k_I t} - e^{-k_2 t})$$

la conservation implique : $v_I + v_2 + v_3 = v_0$

d'où :

$$v_3 = v_0 \left(1 + \frac{k_I e^{-k_2 t} - k_2 e^{-k_I t}}{k_2 - k_I} \right)$$

d'après (3) : $\frac{dv_2}{dt} = 0$ donne $v_2 = \frac{k_I}{k_2} v_I$ soit :

$$\frac{e^{-k_2 t_0}}{e^{-k_I t_0}} = \frac{k_I}{k_2} \quad \text{soit au temps} \quad t_0 = \frac{1}{k_I - k_2} \cdot \ln \left(\frac{k_I}{k_2} \right)$$

le volume (v_2) , passe par un maximum de valeur :

$$v_{2t_0} = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 (e^{-k_I t_0} - e^{-k_2 t_0})$$

$$v_{2t_0} = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 (e^{-\frac{k_I}{k_I - k_2} \frac{\ln(\frac{k_I}{k_2})}{k_2}} - e^{-\frac{k_2}{k_I - k_2} \frac{\ln(\frac{k_I}{k_2})}{k_2}})$$

$$v_{2t_0} = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 (e^{\frac{\ln(\frac{k_I}{k_2})}{k_2} - \frac{k_I}{k_I - k_2}} - e^{\frac{\ln(\frac{k_I}{k_2})}{k_2} - \frac{k_2}{k_I - k_2}})$$

$$v_{2t_0} = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 ((\frac{k_I}{k_2})^{\frac{k_I}{k_2 - k_I}} - (\frac{k_I}{k_2})^{\frac{k_2}{k_2 - k_I}})$$

$$v_{2t_0} = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 ((\frac{k_I}{k_2})^{\frac{k_2}{k_2 - k_I}} - (\frac{k_I}{k_2})^{\frac{k_I - k_2}{k_2 - k_I}} - I)$$

$$v_{2t_0} = v_0 (\frac{k_I}{k_2})^{\frac{k_2}{k_2 - k_I}}$$

à $t=t_0$:

$$\frac{dv_3}{dt} = v_0 (\frac{-k_I k_2 e^{-k_2 t} + k_I k_2 e^{-k_I t}}{k_2 - k_I})$$

$$\frac{d^2 v_3}{dt^2} = v_0 (\frac{k_I k_2^2 e^{-k_2 t} - k_I^2 k_2 e^{-k_I t}}{k_2 - k_I})$$

$$\frac{d^2 v_3}{dt^2} = k_2 \frac{dv_2}{dt} = 0$$

on remarque que la fonction $v_3 = f(t)$, passe bien par un point d'inflexion .

$$v_{I t_0} = v_0 \left(\frac{k_I}{k_2} \right) \frac{k_I}{k_2 - k_I}$$

et :

$$v_{3 t_0} = v_0 \left(I + \frac{k_I \left(\frac{k_I}{k_2} \right) \frac{k_2}{k_2 - k_I} - k_2 \left(\frac{k_I}{k_2} \right) \frac{k_I}{k_2 - k_I}}{k_2 - k_I} \right)$$

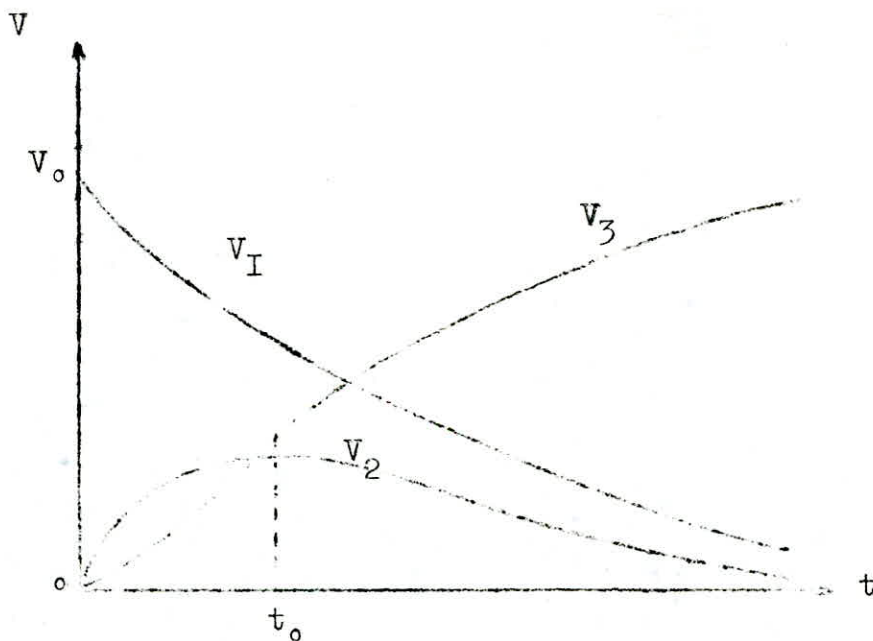
au temps $t = 0$: $\frac{dv_3}{dt} = 0$ (tangente horizontale) et $\frac{dv_2}{dt} = k_I v_0$

au temps $t = t_0$ la tangente d'inflexion vaut :

$$\left(\frac{dv_3}{dt} \right)_{t_0} = k_2 v_0 \left(\frac{k_I}{k_2} \right) \frac{k_2}{k_2 - k_I}$$

quant $t \longrightarrow \infty$, $v_I \longrightarrow 0$, $v_2 \longrightarrow 0$, $v_3 \longrightarrow v_0$

l'allure des courbes est représentée sur la figure suivante :



- cas particulier : $k_I \gg k_2$

l'équation (3) devient : $\frac{dv_2}{dt} \approx k_I v_I = - \frac{dv_I}{dt} = \dot{v}_I$

et :

$$v_I = v_0 e^{-k_I t}$$

$$v_2 = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_0 (e^{-k_I t} - e^{-k_2 t}) \approx v_0 e^{-k_2 t}$$

c'est à dire $v_2 \gg v_I$ car $e^{-k_2 t} \gg e^{-k_I t}$ sauf au voisinage de

$$t = 0 \quad (\text{puisque : } v_{o2} = 0)$$

$$v_3 \approx v_o (1 - e^{-k_2 t}) \text{ obtenu clairement par : } v_3 = v_o - v_2$$

autrement dit, à partir d'une valeur de (t) suffisamment éloignée de (t = 0), on peut supposer ($v_I \approx 0$) et tout revient alors à l'étude de la seule étape .



- cas particulier : $k_I \ll k_2$

$$v_I = v_o e^{-k_I t}, \quad v_2 = \frac{k_I}{k_2 - k_I} v_o (e^{-k_I t} - e^{-k_2 t}) \approx \frac{k_I}{k_2} v_I \ll v_I$$

$$v_3 = v_o (1 - e^{-k_I t}) \quad (v_3 \approx v_o - v_I), \quad \frac{dv_I}{dt} = k_I v_o e^{-k_I t}$$

$$\frac{dv_2}{dt} = k_I v_I - k_2 v_2 \quad (\text{différence de 2 termes du même ordre de grandeur .})$$

$$\frac{dv_2}{dt} \ll k_I v_I \quad \text{et} \quad \ll k_2 v_2 \quad (\text{sauf au voisinage de } t = 0)$$

soit: $\frac{dv_2}{dt} \approx 0$ au bout d'un temps suffisamment grand .

$$\frac{dv_3}{dt} = k_2 v_2 = k_I v_I \quad \text{pour la burette intermédiaire (B)}$$

son volume est très faible .

$$v_2 = \frac{k_I}{k_2} v_I \ll v_I$$

et que par conséquent, son volume est invariable dans le temps sauf au démarrage . ($\frac{dv}{dt} = 0$), cela signifie que la burette (B) ne peut pas

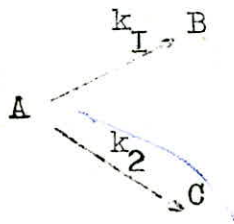
s'accumuler dans le temps, en volume important .

les deux étapes successives, se produisent avec le même débit volumique: ($k_I v_I = k_2 v_2$) c'est le débit de l'écoulement globale .

l'inégalité ($k_2 \gg k_I$) signifie qu'aux volumes égaux ,

la deuxième étape, se produirait beaucoup plus rapidement que la première ; mais elle n'en a pas la possibilité car elle est limitée par l'étape précédente, qui est appelée étape limitante .

d) modèle cinétique d'une réaction parallèle
(jumelle)



en appliquant la loi cinétique, on trouve les équations de débit volumique suivantes :

$$\dot{U}_2 = k_1 v_I \quad \text{avec :} \quad k_1 = \frac{\rho g d^4}{32 L_1 \nu D_I^2}$$

$$\dot{U}_3 = k_2 v_2 \quad \text{avec :} \quad k_2 = \frac{\rho g d^4}{32 L_2 \nu D_I^2}$$

et comme : $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{U}_3$

alors : $-\frac{dv_I}{dt} = k_1 v_I + k_2 v_2 = (k_1 + k_2) v_I$

$$\boxed{-\frac{dv_I}{dt} = (k_1 + k_2) v_I}$$

à partir de cette équation du débit volumique, nous pouvons confirmer que ce modèle cinétique, coïncide avec celui dont l'écoulement décrit une réaction élémentaire irréversible de résistance hydrostatique $k = (k_1 + k_2)$.

$$v_I = v_0 e^{-(k_1 + k_2)t} \quad \text{avec :} \quad \frac{dv_2}{dt} = k_1 v_I \quad \text{et} \quad \frac{dv_3}{dt} = k_2 v_I$$

d'où :

$$v_2 = v_{02} + \frac{k_1}{k_1 + k_2} v_0 (1 - e^{-(k_1 + k_2)t})$$

et

$$v_3 = v_{03} + \frac{k_2}{k_1 + k_2} v_0 (1 - e^{-(k_1 + k_2)t})$$

dans ce cas particulier :

$(v_2)_0 = (v_3)_0 = 0$, et l'intégration de $\frac{dv_2}{dv_3} = \frac{k_1}{k_2}$

donne :

$$\boxed{\frac{v_2}{v_3} = \frac{k_1}{k_2}}$$

la conservation implique : $v_1 = v_0 - v_2 - v_3 = v_0 e^{-(k_1 + k_2)t}$
soit :

$$\boxed{k_1 + k_2 = -\frac{1}{t} \ln \left(\frac{v_0 - v_2 - v_3}{v_0} \right)}$$

c) modèle cinétique d'une succession de deux réactions réversibles



le schéma n° 3 : représente un écoulement non permanent qui passe à travers deux capillaires .

la loi cinétique donne :

$$-\frac{dv_A}{dt} = k_1 v_A - k_{-1} v_B$$

$$-\frac{dv_B}{dt} = k_1 v_A - k_{-1} v_B - k_2 v_B + k_{-2} v_C$$

$$\frac{dv_C}{dt} = k_2 v_B - k_{-2} v_C$$

il est clair que :

$$-\frac{dv_A}{dt} = \frac{dv_B}{dt} + \frac{dv_C}{dt}$$

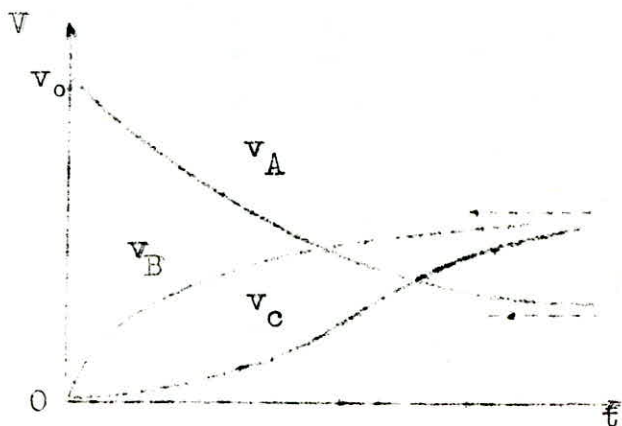
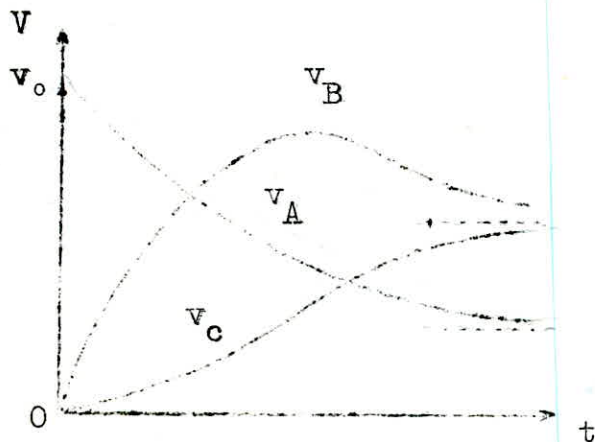
à l'équilibre :

$$k_I = \frac{k_{-I}}{K_{II}} = \left(\frac{v_B}{v_A} \right)_{eq} \quad \text{et} \quad K_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \left(\frac{v_C}{v_B} \right)_{eq}$$

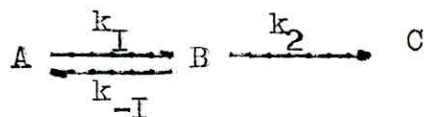
l'allure des courbes : $V = f(t)$

premier cas : $(k_I > k_2)$

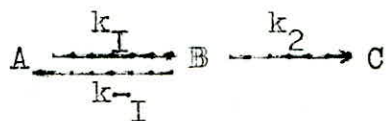
deuxième cas : $(k_I < k_2)$



f) modèle cinétique d'une succession de deux réactions (réversible - irréversible)



le schéma n° 4 : représente un écoulement non permanent, dont il décrit la réaction suivante .



la loi cinétique donne :

$$-\frac{dv_A}{dt} = k_I v_A - k_{-I} v_B$$

$$\frac{dv_B}{dt} = k_I v_A - k_{-I} v_B - k_2 v_B = k_I v_A - (k_{-I} + k_2) v_B$$

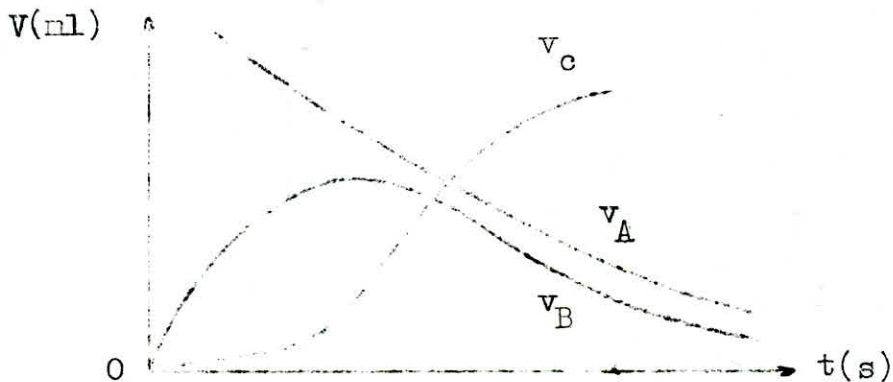
$$\frac{dv_C}{dt} = k_2 v_B$$

on constate que :

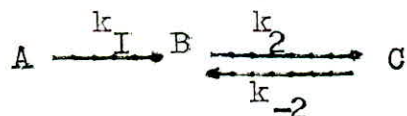
$$-\frac{dv_A}{dt} = \frac{dv_B}{dt} + \frac{dv_C}{dt}$$

à l'équilibre : $k_I = \frac{k_I}{k_{-I}} = \left(\frac{v_B}{v_A} \right)_{eq}$

l'allure des courbes : $v = f(t)$



g) modèle cinétique d'une succession de deux réactions (irréversible - réversible)



le schéma n° 5 : représente un écoulement non permanent, dont il décrit, une succession de deux réactions chimiques de la forme suivante :



la loi cinétique : donne

$$-\frac{dv_A}{dt} = k_I v_A$$

$$\frac{dv_B}{dt} = k_1 v_A - k_2 v_B + k_{-2} v_C$$

$$\frac{dv_C}{dt} = k_2 v_B - k_{-2} v_C$$

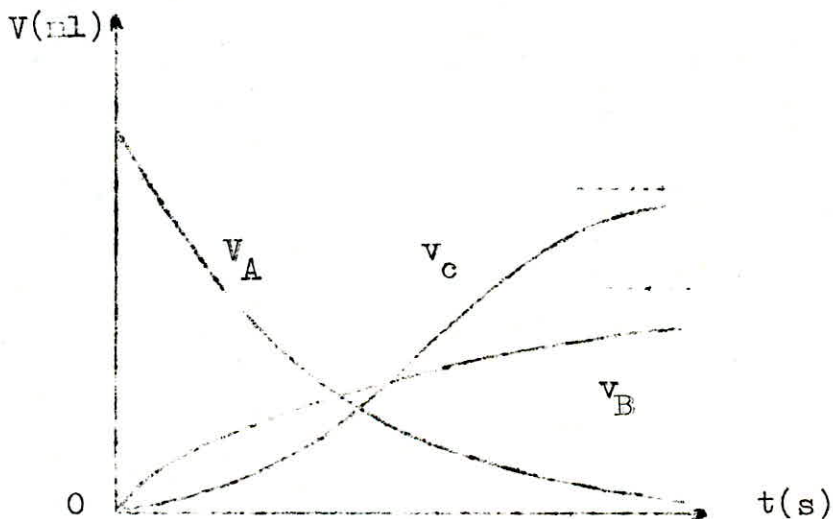
il est bien lisible que :

$$-\frac{dv_A}{dt} = \frac{dv_B}{dt} + \frac{dv_C}{dt}$$

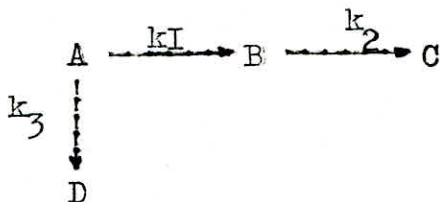
la fonction : $f(v_A) = k_1 v_A$ est une droite, dont la pente est égale à (k_1)

à l'équilibre : $k_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \left(\frac{v_C}{v_B}\right)_{eq}$

l'allure des courbes : $V = f(t)$



h) modèle cinétique d'une réaction ^c
de type suivant



le schéma n°(8) : représente un écoulement non permanent, dont il décrit la réaction précédente .

$$-\frac{dv_A}{dt} = k_I v_A + k_3 v_A = (k_I + k_2) v_A \quad (1)$$

$$\frac{dv_B}{dt} = k_I v_A - k_2 v_B \quad (2)$$

$$\frac{dv_C}{dt} = k_2 v_B \quad (3)$$

$$\frac{dv_D}{dt} = k_3 v_A \quad (4)$$

sachant bien sûr que :

$$-\frac{dv_A}{dt} = \frac{dv_B}{dt} + \frac{dv_C}{dt} + \frac{dv_D}{dt}$$

(1) s'intègre en : $v_A = v_0 e^{-(k_I + k_2)t}$

(2) s'écrit : $\frac{dv_B}{dt} + k_2 v_B = k_I v_0 e^{-(k_I + k_2)t}$

de solution générale : $v_B = \lambda e^{-k_2 t} + v_0 e^{-k_I t}$

soit, en utilisant les conditions initiales .

$$v_B = v_0 (e^{-k_I t} - e^{-k_2 t})$$

(4) s'intègre en : $v_D = \frac{k_3 v_0}{k_I + k_2} (1 - e^{-(k_I + k_2)t})$

la conservation implique : $v_0 = v_A + v_B + v_C + v_D$

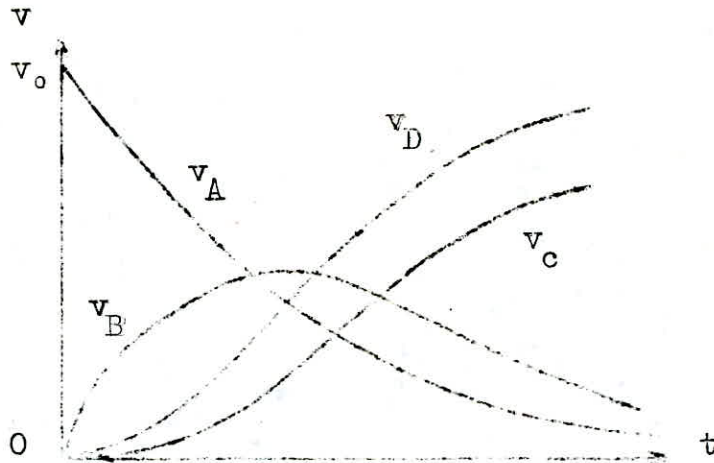
d'où : $v_C = v_0 - v_A - v_B - v_D$

cas particuliers :

si ($k_I \gg k_3$) on se retrouvera devant le modèle cinétique (c)
et que par conséquent,

si ($k_I \ll k_2$) on se retrouvera, cette fois ci devant
le modèle cinétique (d) .

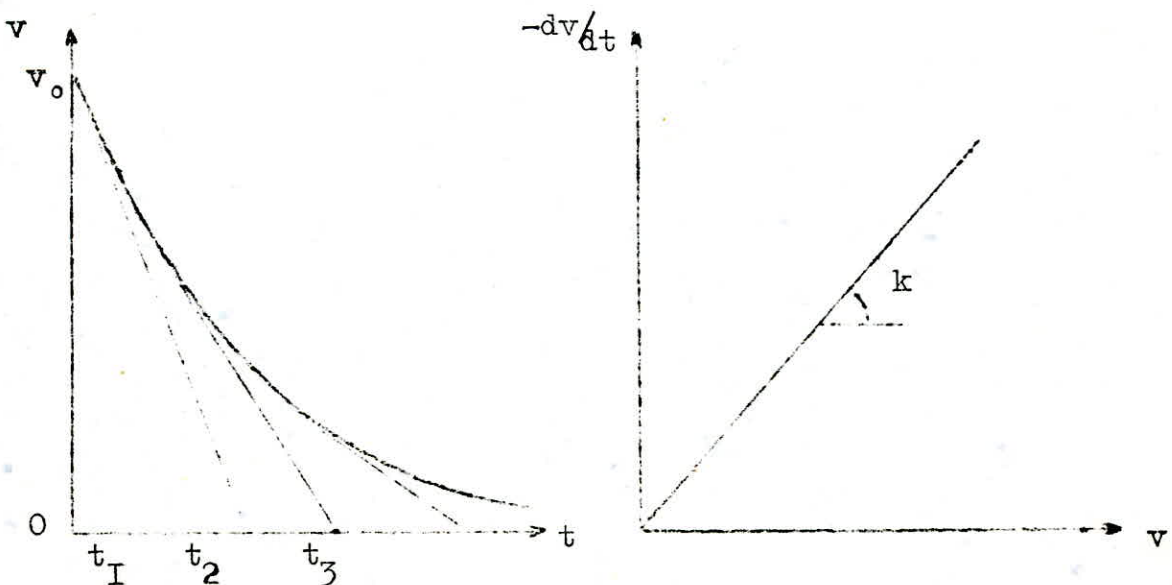
l'allure des courbes est représentée sur la figure suivante : $v = f(t)$



- détermination de la résistance hydrostatique : par

(I) la méthode différentielle

nous portons sur le graphe, la fonction exponentielle $v=f(t)$ en suite pour chaque valeur du temps bien déterminée, nous traçons la tangente correspondante : une fois que ceci est fait, nous essayons de vérifier bien entendu que l'allure de la fonction $f(v)=kv$ est une droite passant par l'origine, ayant une pente (k) exprimée en (s^{-1}) dans le système (SI).



(2) la méthode intégrale

soit l'équation suivante : $\frac{dv}{v} = -k dt$

$$\frac{dv}{v} = -k dt \quad \Longrightarrow \quad \ln(v/v_0) = -kt$$

nous traçons $\ln(v_0/v)$ en fonction du temps, théoriquement ça doit être une droite, dont la pente est (k) et qui passe par l'origine .

en ce qui concerne les résultats expérimentaux sont toujours entachés d'incertitudes, et il reste à l'expérimentateur une marge subjective, d'appréciation pour tracer une droite moyenne entre les divers points .

PARTIE EXPERIMENTALE

étude des modèles cinétiques de
différentes réactions chimiques
dans un réacteur fermé, isotherme.

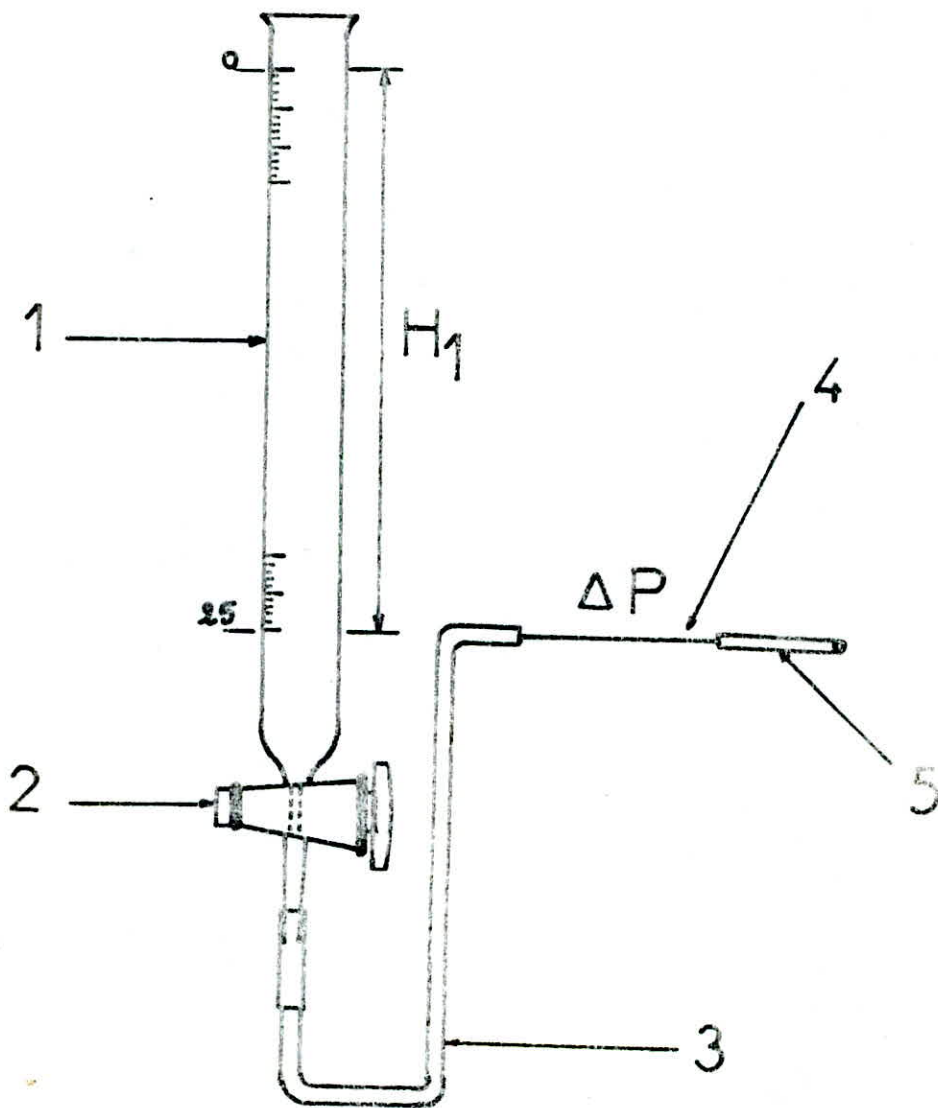
- a) modèle cinétique d'une réaction élémentaire
irréversible du premier ordre

MODE OPERATOIRE :

- 1- vérifier si l'installation est conforme au schéma n° I
- 2- verser de l'eau dans la burette, et prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air existantes dans le tuyau .
(laisser ouvert le robinet n° 2)
- 3- laisser, écouler l'eau jusqu'à ce que le niveau de sa surface coïncide avec le dernier trait de l'échelle .
(si non pivoter l'élément n°5 vers le bas, et une fois que vous observer cette coïncidence, remonter-le à sa position initiale .)
- 4- fermer le robinet n°2
- 5- remplir la burette avec de l'eau jusqu'à niveau (zéro) de l'échelle .
- 6- ouvrir le robinet n°2 , et déclencher le chronomètre en même temps.
- 7- à chaque intervalle de temps ($t = 5s$), noter le volume de l'eau écoulée(faire trois fois la même opération et prendre la valeur moyenne des trois mesures) .
- 8- calculer les valeurs de débit volumique selon la formule suivante .

$$\dot{V} = \frac{V_i - V_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

SCHEMA n°1



- 1 burette A
- 2 robinet en verre
- 3 tuyau en plastique
- 4 tube capillaire
- 5 élément en plastique

table n° 1

$$d_{\min} = \frac{4}{21\pi} \cdot 10^4 \dot{V}_{\max}$$

$$d_{\text{cap}} > d_{\min}$$

a) tuyau sans robinet

Capillaires	1	2	3
\dot{V}_{\max} (ml/s)	1.055	0.56	0.19
d_{\min} (mm)	0.64	0.34	0.11
d_{cap} (mm)	$1.50 \leq d < 2$	1.00	$0.50 < d < 1$

b) tuyau avec robinet

Capillaires	1	2	3
\dot{V}_{\max} (ml/s)	0.55	0.41	0.16
d_{\min} (mm)	0.33	0.25	0.097
d_{cap} (mm)	$1.50 \leq d < 2$	1.00	$0.50 < d < 1$

9- tracer : $\dot{Q} = f(v)$ et $\ln(v) = f(t)$

10- déterminer à partir des graphes la valeur de la résistance hydrostatique (k).

I - regime d'écoulement dans un capillaire

nous avons trois types de capillaires de différentes sections:

- capillaire n=°1 (cap₁) 1,5 < d < 2
- capillaire n=°2 (cap₂) d = 1
- capillaire n=°3 (cap₃) 0,5 < d < 1

le regime d'écoulement est dit laminaire, pour un renolds strictement inferieur à (2100).

donc : $Re = \frac{\rho \dot{Q}}{\mu} < 2100$ avec: $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
 $\mu = 10^{-3} \text{ PI}$

$$\dot{Q} = u \frac{\pi d^2}{4} \implies u = \frac{4 \dot{Q}}{\pi d^2}$$

ou encore : $Re = \frac{4 \rho \dot{Q}}{\pi \mu d} < 2100$

finalment,nous obtiendrons l'inéquation suivante: celle ci est une condition suffisante,pour qu'un regime d'écoulement soit laminaire .

$$d > \frac{4}{21 \pi} 10^4 \dot{Q}$$

en réalité, pour cette étude,nous avons utilisé trois capillaires identique à ceux proposés au préalable: lors de notre expérience, nous avons aboutis à des resultats qui vérifient effectivement, l'inéquation précédente.

voir: table n=° I

en ce qui concerne, les valeurs du débit volumique maximales présentées dans le tableau n=°1. celles-ci ont été déterminées juste, au bout du premier intervalle de temps ($t - t_0 = 10s$). maintenant, il nous est possible d'appliquer la loi de Poiseuille tant que, le régime d'écoulement dans un capillaire qui vient d'être étudié, est toujours laminaire.

2- verification de la linéarité

théoriquement, la dépendance entre le débit volumique et le volume, doit être linéaire. dont le coefficient de proportionnalité, est une constante qui s'exprime en (s^{-1}) dans le système international. celle-ci est appelée résistance hydrostatique. mais, pratiquement ceci n'est pas toujours vraie. alors nous avons tentés notre chance de bien vouloir réaliser cette linéarité d'une façon expérimentale, à savoir bien sûr les raisons convaincantes pour son interprétation. cependant nous avons tracé pour chaque capillaire l'allure des fonctions suivantes :

$$-\Delta v / \Delta t = f(v) \quad \text{et} \quad \ln(v) = f(t)$$

(voir figures n=°1 et n=°2)

il s'est aperçu que, pour un capillaire de type n=°3 l'allure est complètement linéaire, dans toute l'intervalle soit disant de (volume) ou du (temps). en ce qui concerne les résultats expérimentaux sont toujours entachés d'incertitudes et, il reste à l'expérimentateur une marge subjective d'appréciation pour tracer une droite moyenne entre les divers points. nous constatons de même que, les droites qui viennent d'être présenter, ne passent pas par l'origine. en outre, il nous a semblé utile de donner une explication pour ça.

il convient de rappeler que la formule générale de l'écoulement à travers un capillaire est donnée par l'expression suivante :

$$\boxed{- \frac{dv}{dt} = (k+k_0) v}$$

$$- \frac{dv}{dt} = kv + k_0 v \quad \text{posons: } b = k_0 v$$

$$- \frac{dv}{dt} = f(v) \quad \text{est une droite, ayant une pente}(k) \text{ exprimée en}(s^{-1}) \text{ et l'ordonnée à l'origine}(b) \text{ exprimée en (nl/s)}.$$

en ce qui concerne le capillaire n=03, l'ordonnée à l'origine tend vers zéro. (voir les tables n=02 jusqu'à n=09)

en outre, le terme k_0 est très inférieur à k ($k_0 \ll k$) nous pouvons certainement, le négliger par rapport à k et que par conséquent la formule précédente deviendra finalement.

$$- \frac{dv}{dt} = kv$$

l'existence d'une dépendance linéaire de débit volumique en fonction du volume est le critère principal permettant d'estimer que, l'écoulement envisagé est assimilé à une réaction simple irréversible de premier ordre.

l'amélioration de la linéarité pour le capillaire n=03 serait due essentiellement à sa section la plus étroite.

par contre la déviation qui apparaissait sur les figures n=01 et n=02 provenait précisément, de l'existence des résistances locales (pertes dans le rétrécissement et dans l'élargissement) au niveau de chaque extrémité de la burette.

en réalité, nous avons vérifiés la linéarité pour quatre burettes, en utilisant bien entendu le capillaire n=03, (voir la figure n=03).

pour les modèles cinétiques qui se suivent, l'allure de toutes les courbes $v = f(t)$ expérimentales est en bonne concordance avec celle prévue par la théorie; dans ce fait, cette constatation nous a permis de prévoir l'appréciation de nos résultats expérimentaux obtenus.

table n° 2

Cap n° 1

détermination de la résistance hydrostatique par les méthodes
différentielle et intégrale. par régression linéaire

les pentes sont respectivement: 0.0448 et 0.062 s^{-1} , soit l'ordonnée à l'origine de: 0.237

t(s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
V ₁	25,00	19,40	14,50	10,70	7,60	5,30	3,50	2,10	1,20	0,60	0,35	0,15	0,01
V ₂	25,00	19,20	14,40	10,60	7,65	5,10	3,30	2,10	1,20	0,60	0,35	0,15	0,01
V ₃	25,00	19,30	14,45	10,65	7,70	5,20	3,40	2,10	1,20	0,60	0,35	0,15	0,01
V _A (ml)	25,00	19,30	14,45	10,65	7,65	5,20	3,40	2,10	1,20	0,60	0,35	0,15	0,01
-ΔV/Δt	—	1,14	0,97	0,76	0,60	0,49	0,36	0,26	0,18	0,12	0,05	0,04	0,028
ln(V _A)	3,22	2,96	2,67	2,36	2,03	1,65	1,23	0,74	0,18	-0,51	-1,05	-1,89	-4,60

table n° 3

cap n° 2

détermination de la résistance hydrostatique par les méthodes
différentielle et intégrale. par régression linéaire

les pentes sont respectivement : $0,0243$ et $0,0306$

soit l'ordonnée à l'origine de : $0,0875 \text{ ml/s}$

t(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_1	25,00	19,50	15,00	11,30	8,40	6,50	4,30	2,90	2,00	1,30	0,80	0,50	0,30
V_2	25,00	19,30	14,90	11,20	8,30	6,00	4,20	3,00	2,00	1,30	0,80	0,50	0,30
V_3	25,00	19,40	14,95	11,25	8,20	5,50	4,10	2,95	2,00	1,30	0,80	0,50	0,30
V_A (ml)	25,00	19,40	14,95	11,25	8,30	6,00	4,20	2,95	2,00	1,30	0,80	0,50	0,30
$-\Delta V/\Delta t$	—	0,56	0,44	0,37	0,29	0,23	0,18	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02
$\ln(V_A)$	3,22	2,96	2,70	2,42	2,11	1,79	1,43	1,08	0,69	0,26	-0,22	-0,69	-1,20

table n = 4

Cap n = 3

détermination de la résistance hydrostatique par les méthodes différentielle et intégrale. par regression linéaire

les pentes sont respectivement : $7,86 \cdot 10^{-3}$ et $9,33 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

soit l'ordonnée à l'origine de : $0,025 \text{ ml/s}$

t(s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
V ₁	25,00	22,30	19,80	17,00	15,00	12,90	11,00	9,50	8,20	7,00	6,00	5,10	4,40
V ₂	25,00	22,20	19,50	17,20	14,90	12,75	11,30	9,50	8,20	7,00	6,00	5,10	4,40
V ₃	25,00	22,10	19,50	17,10	14,80	12,75	11,00	9,50	8,20	7,00	6,00	5,10	4,40
V _A (ml)	25,00	22,20	19,60	17,10	14,90	12,80	11,10	9,50	8,20	7,00	6,00	5,10	4,40
-ΔV/Δt	—	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,11	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
ln(V _A)	3,22	3,10	2,97	2,84	2,70	2,55	2,41	2,25	2,10	1,94	1,79	1,63	1,48

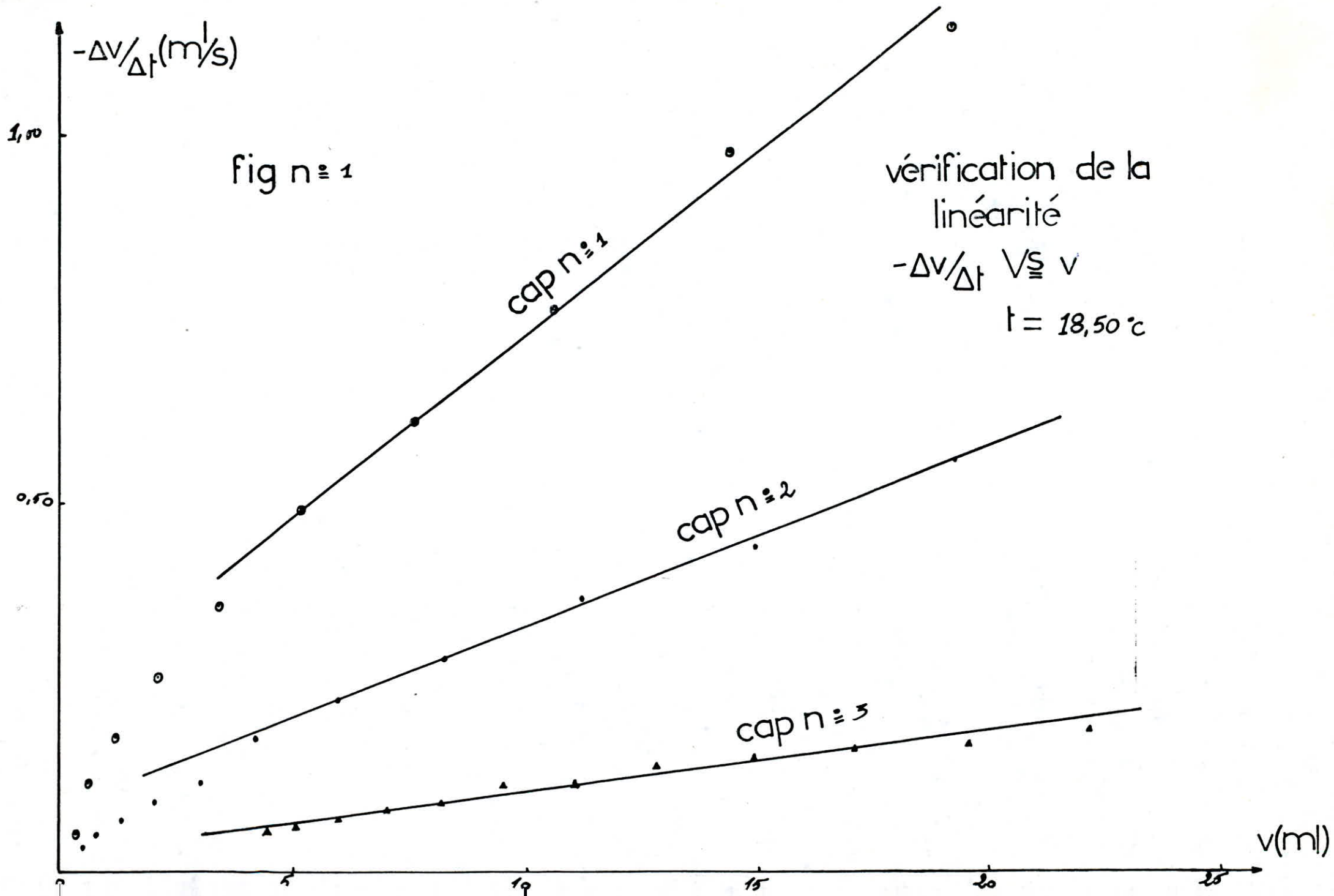


fig n° 2

verification de la linearite

Inv V vs t

t = 18.50°C

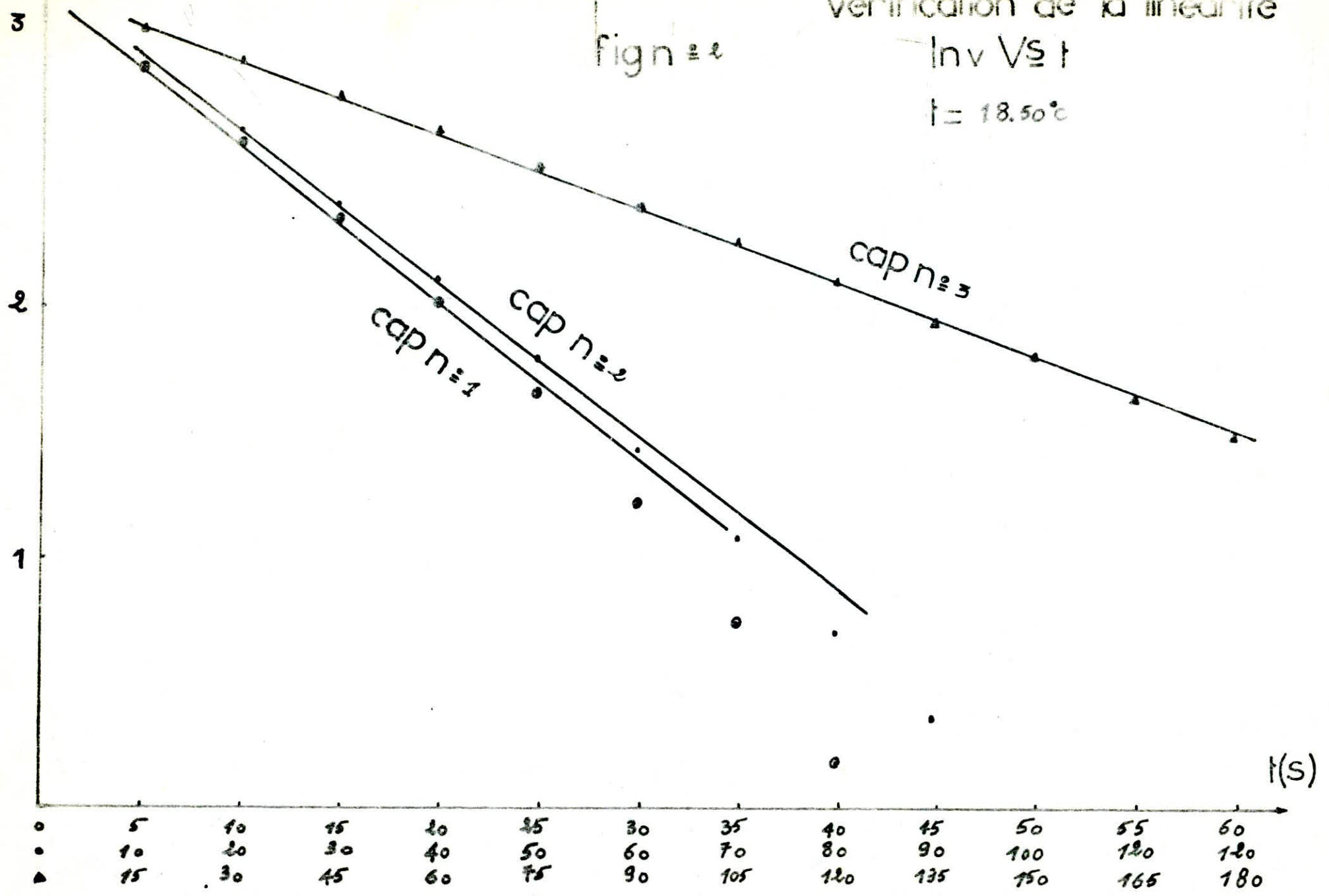


table n° 6

Capn = 3
t = 19°C

• détermination de la résistance hydrostatique par la méthode

différentielle. par régression linéaire :

la pente est : $6,89 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

soit l'ordonnée à l'origine de : $0,026 \text{ ml/s}$

t(s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
V ₁	25,00	22,30	19,85	17,60	15,60	13,80	12,00	10,65	9,35	8,20	7,15	6,20	5,40
V ₂	25,00	22,20	19,75	17,55	15,55	13,75	12,20	10,55	9,30	8,20	7,15	6,20	5,40
V ₃	25,00	22,25	19,80	17,50	15,50	13,70	12,10	10,60	9,25	8,20	7,15	6,20	5,40
V _A (ml)	25,00	22,25	19,80	17,55	15,55	13,75	12,10	10,60	9,30	8,20	7,15	6,20	5,40
-ΔV/Δt	—	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05
ln(V _A)	3,22	3,10	2,98	2,86	2,74	2,62	2,49	2,36	2,23	2,10	1,97	1,82	1,69

table n° 7

capn = 3
t = 19°C

détermination de la résistance hydrostatique par la méthode différentielle. par régression linéaire :

la pente est : $8,33 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de $0,054 \text{ ml/s}$

t(s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
V ₁	25,00	21,40	18,20	15,45	12,80	10,70	8,80	7,20	5,75	4,65	3,80	3,10	2,60
V ₂	25,00	21,30	18,15	15,50	12,96	10,65	8,75	7,00	5,78	4,65	3,80	3,10	2,60
V ₃	25,00	21,35	18,10	15,40	12,88	10,60	8,70	7,10	5,75	4,65	3,80	3,10	2,60
V _B (ml)	25,00	21,35	18,15	15,45	12,88	10,65	8,75	7,10	5,76	4,65	3,80	3,10	2,60
-ΔV/Δt	—	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,03
ln(V _B)	3,22	3,06	2,90	2,74	2,55	2,36	2,17	1,96	1,75	1,54	1,33	1,13	0,95

table n° 8

cap n° 3
t = 18°C

détermination de la résistance hydrostatique par la méthode différentielle. par regression linéaire:

la pente est : $6,89 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de : $0,026 \text{ ml/s}$

t(s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
V ₁	25,00	22,40	19,95	17,70	15,70	13,80	12,25	10,75	9,45	8,30	7,20	6,20	5,35
V ₂	25,00	22,30	19,90	17,65	15,65	13,80	12,20	10,70	9,40	8,30	7,20	6,20	5,35
V ₃	25,00	22,35	19,85	17,60	15,60	13,80	12,15	10,65	9,35	8,30	7,20	6,20	5,35
V _C (ml)	25,00	22,35	19,90	17,65	15,65	13,80	12,20	10,70	9,40	8,30	7,20	6,20	5,35
-ΔV/Δt	—	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05
ln(V _C)	3,22	3,11	2,99	2,87	2,75	2,62	2,50	2,37	2,24	2,12	1,97	1,82	1,68

table n° 9

capn° 3
t = 18°

détermination de la résistance hydrostatique par la méthode différentielle. par régression linéaire

la pente est : $9,30 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

soit l'ordonnée à l'origine de : $0,025 \text{ ml/s}$

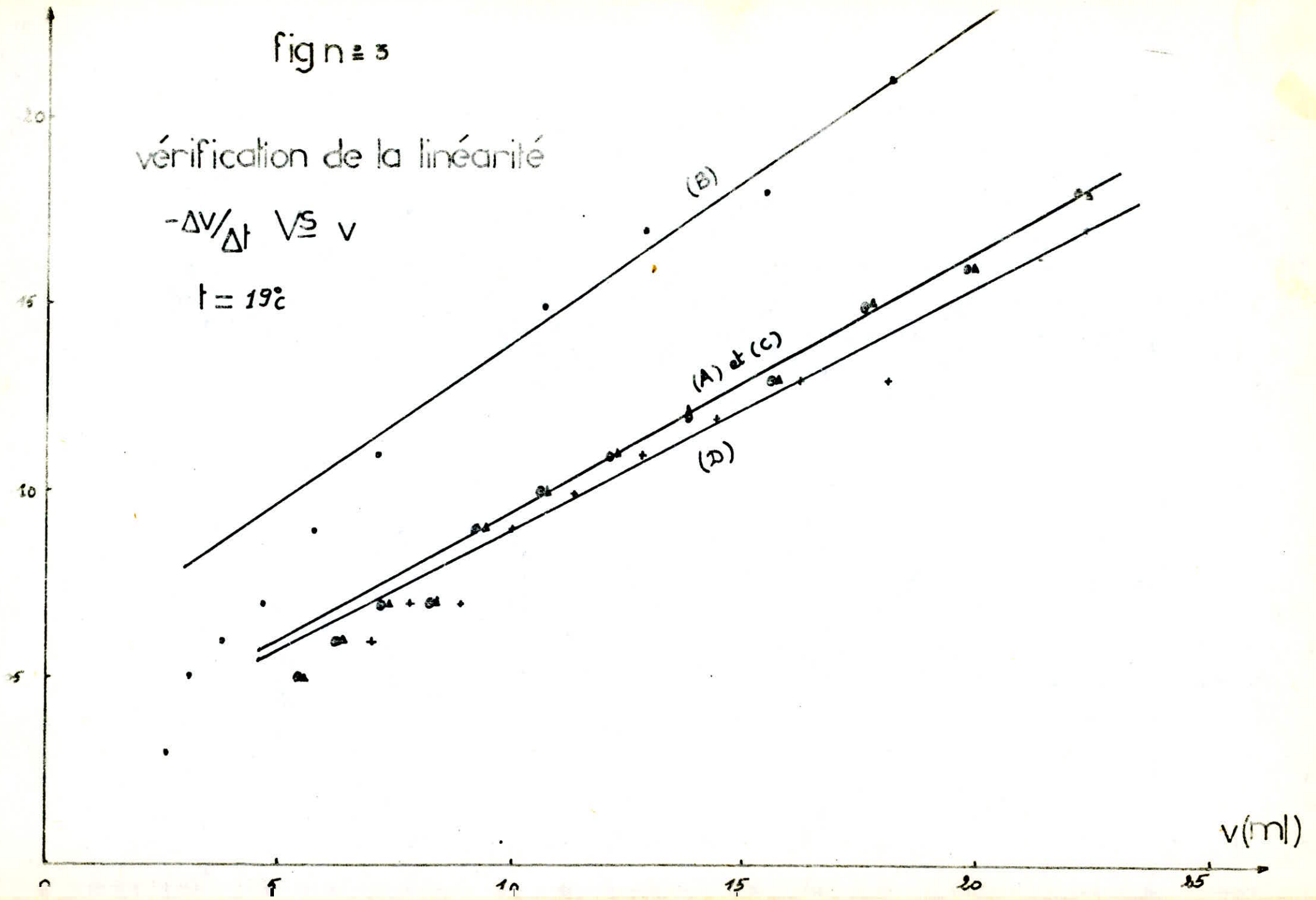
t (s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
V ₁	25,00	22,45	20,00	18,00	16,20	14,40	12,80	11,35	10,00	8,90	7,80	6,95	6,10
V ₂	25,00	22,40	20,10	18,10	16,15	14,30	12,75	11,25	10,00	8,90	7,80	6,95	6,10
V ₃	25,00	22,35	20,05	18,20	16,10	14,35	12,70	11,30	10,00	8,90	7,80	6,95	6,10
V _D (ml)	25,00	22,40	20,05	18,10	16,15	14,35	12,75	11,30	10,00	8,90	7,80	6,95	6,10
-ΔV/Δt	—	0,17	0,16	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06
ln(V _D)	3,22	3,11	3,00	2,89	2,78	2,66	2,54	2,42	2,30	2,18	2,05	1,94	1,81

fig n = 3

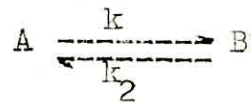
vérification de la linéarité

$$-\frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ VS } v$$

$$t = 19^{\circ}\text{C}$$



b) modèle cinétique d'une réaction réversible



MODE OPERATOIRE :

- 1- vérifier si l'installation est identique au schéma n=°2
- 2- fermer le robinet n=°2, et laisser ouvert le robinet ≠ n=°6
- 3- verser de l'eau dans la burette n=°1, ensuite ouvrir le robinet n=°2 (constater l'écoulement ascendant dans la burette n=°7).
- 4- ouvrir le robinet n=°5 (laisser, écouler l'eau jusqu'à graduation 25 de l'échelle ensuite fermer le robinet n=°6) prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air, si non refaire l'opération n=°2 .
- 5- fermer le robinet n=°2, et remplir la burette n=°1 jusqu'à niveau zéro de la burette. (laisser ouvert le robinet n=°6)
- 6- reprendre les opérations n=°6 et n=°7 du modèle $\gamma = (a)$

7- tracer : $v = f(t)$, $\ln\left(\frac{v_0 - (v_I)_{eq}}{v_I - (v_I)_{eq}}\right) = f(t)$

8- déterminer : la pente $k = k_1 + k_2$
la constante d'équilibre $K = \frac{k_1}{k_2} = (v_2/v_I)_{eq}$

à l'équilibre: $(v_A)_{eq} = 16,8 \text{ ml}$ et $(v_B)_{eq} = 8,2 \text{ ml}$

donc: $k_1/k_2 = 0,48$

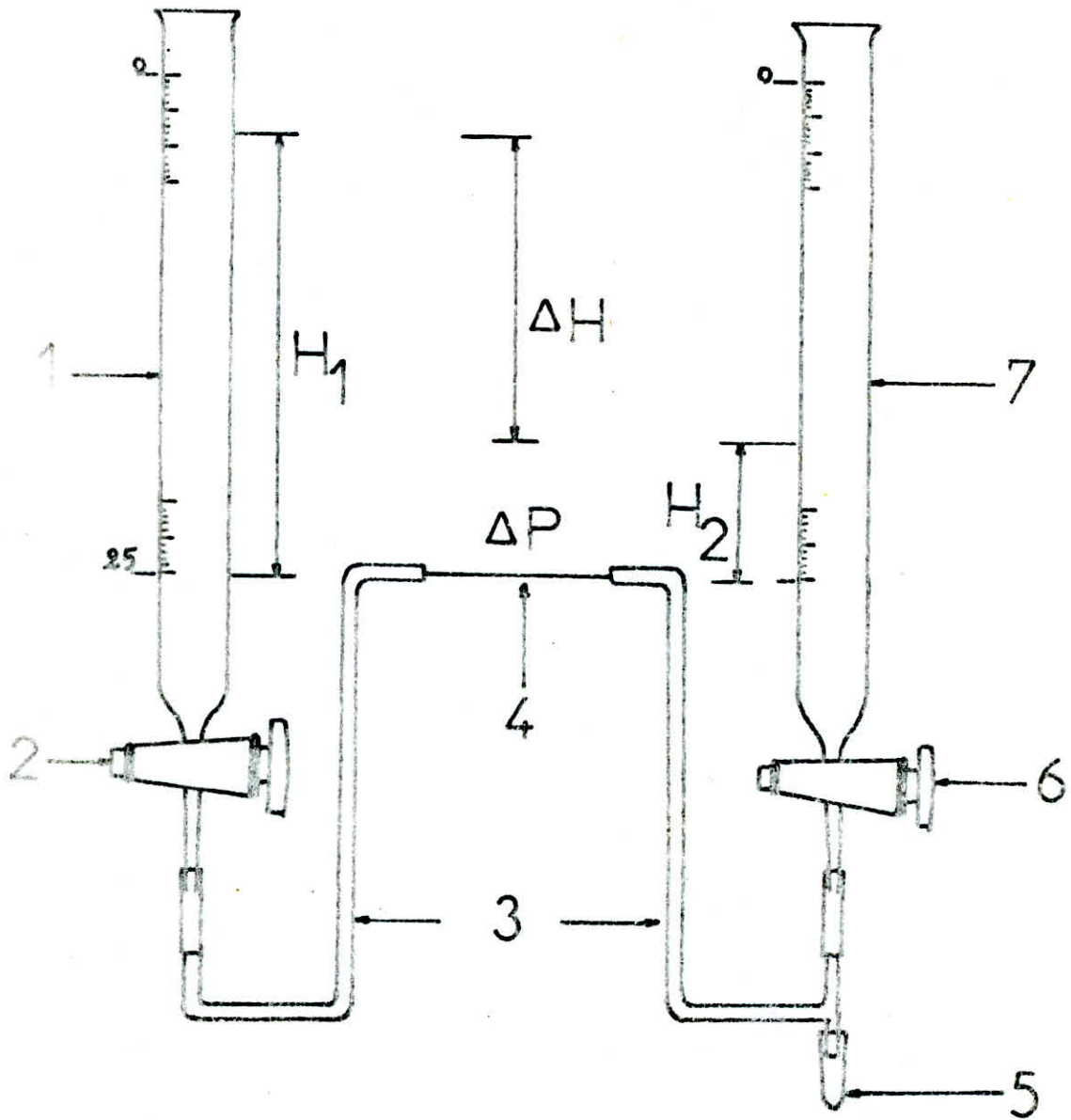
à partir du graphe on tire: $k_1 + k_2 = 0,02 \text{ s}^{-1}$

la résolution du système de deux équations

donne: $k_1 = 6,60 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ et $k_2 = 0,013 \text{ s}^{-1}$

SCHEMA n°2

A ← B



- 1 et 7 burettes A et B
- 2 et 6 robinets en verre
- 3 tuyaux en plastique
- 4 tube capillaire
- 5 robinet d'évacuation

table n° 10

détermination de la résistance hydrostatique par la méthode
intégrale. par regression linéaire:

la pente est : $0,02 \text{ s}^{-1}$

t(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_1	25,00	23,60	22,00	21,50	20,60	20,00	19,40	18,90	18,40	18,20	17,93	17,67	17,54
V_2	25,00	23,70	23,00	22,00	20,70	19,95	19,35	18,85	18,40	18,10	17,93	17,67	17,54
V_3	25,00	23,65	22,50	21,00	20,65	19,90	19,30	18,80	18,40	18,15	17,93	17,67	17,54
V_A (ml)	25,00	23,65	22,50	21,50	20,65	19,95	19,35	18,85	18,40	18,15	17,93	17,67	17,54
$\ln \frac{V_0 - (V_A)_{eq}}{V_A - (V_A)_{eq}}$	0	0,18	0,36	0,56	0,76	0,96	1,17	1,38	1,63	1,80	1,98	2,24	2,40

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \left(\frac{V_B}{V_A} \right)_{eq} = 0,488$$

$$k_1 + k_2 = 0,02 \text{ s}^{-1}$$



$$k_1 = 6,60 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$k_2 = 0,0134 \text{ s}^{-1}$$

fig n = 5

$$\ln \frac{V - (V_A)_{eq}}{V_A - (V_A)_{eq}} \text{ VS } t$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$k_1 + k_2 = 0.02 \text{ s}^{-1}$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)_{eq} = 0.488$$

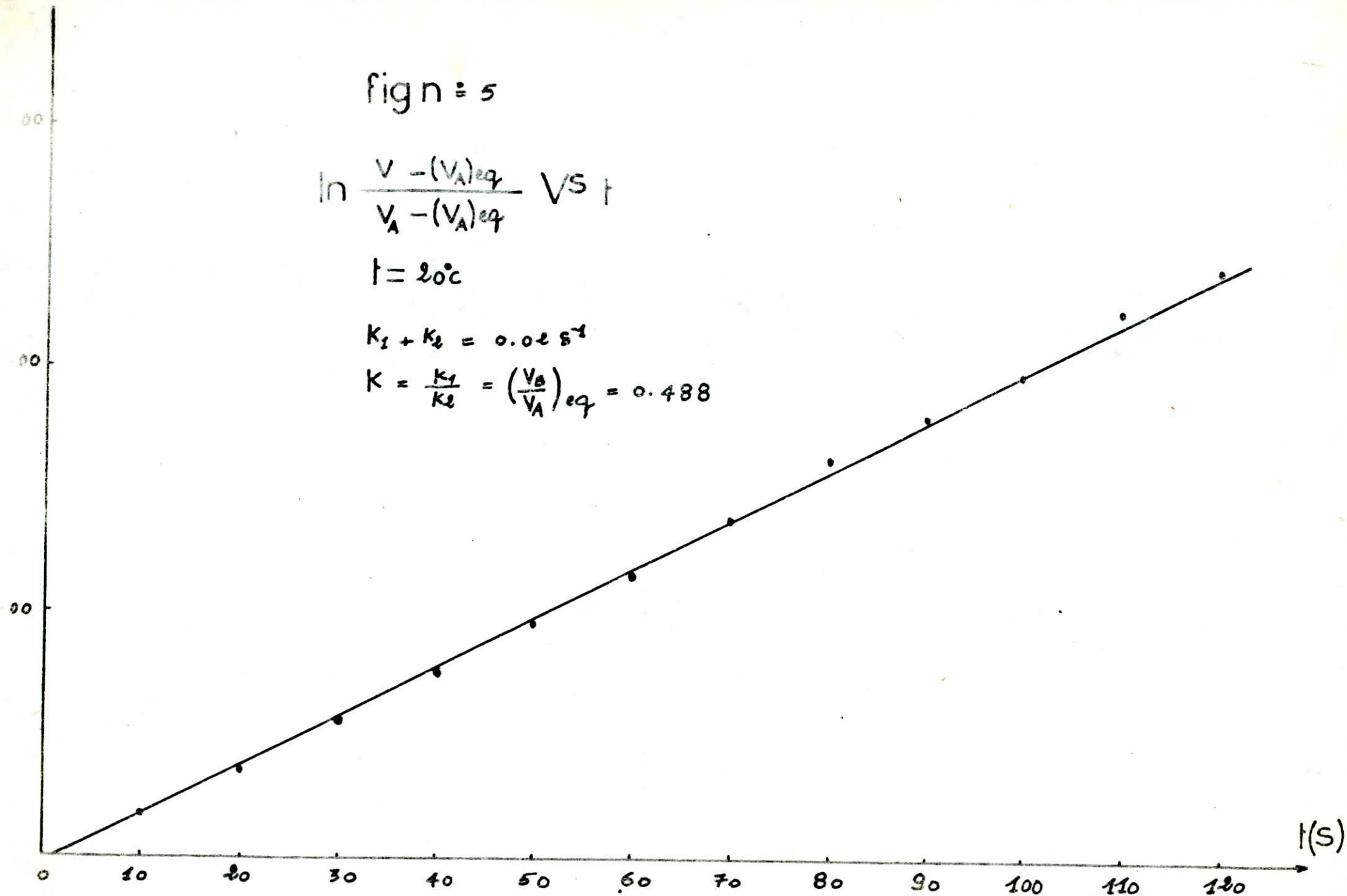
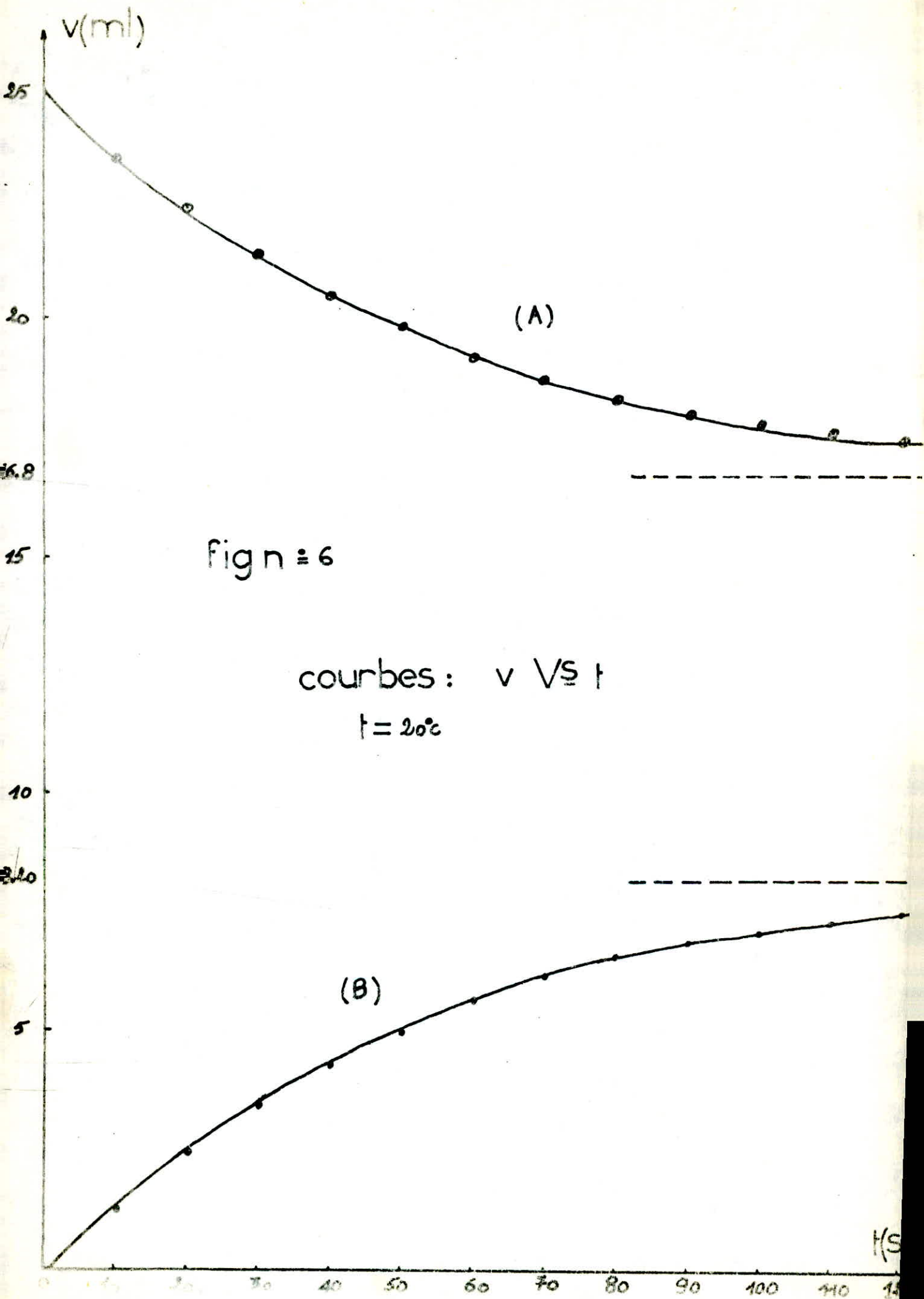


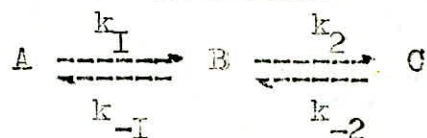
table n° 11

l'évolution du volume en fonction du temps

t(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V ₁	0	1,40	2,55	3,55	4,40	5,10	5,70	6,20	6,60	6,85	7,07	7,33	7,46
V ₂	0	1,30	2,45	3,45	4,35	5,00	5,65	6,15	6,60	6,85	7,07	7,33	7,46
V ₃	0	1,35	2,50	3,50	4,30	5,05	5,60	6,10	6,60	6,85	7,07	7,33	7,46
V _B (ml)	0	1,35	2,50	3,50	4,35	5,05	5,65	6,15	6,60	6,85	7,07	7,33	7,46



c) modèle cinétique d'une succession de deux réactions réversibles



MODE OPERATOIRE :

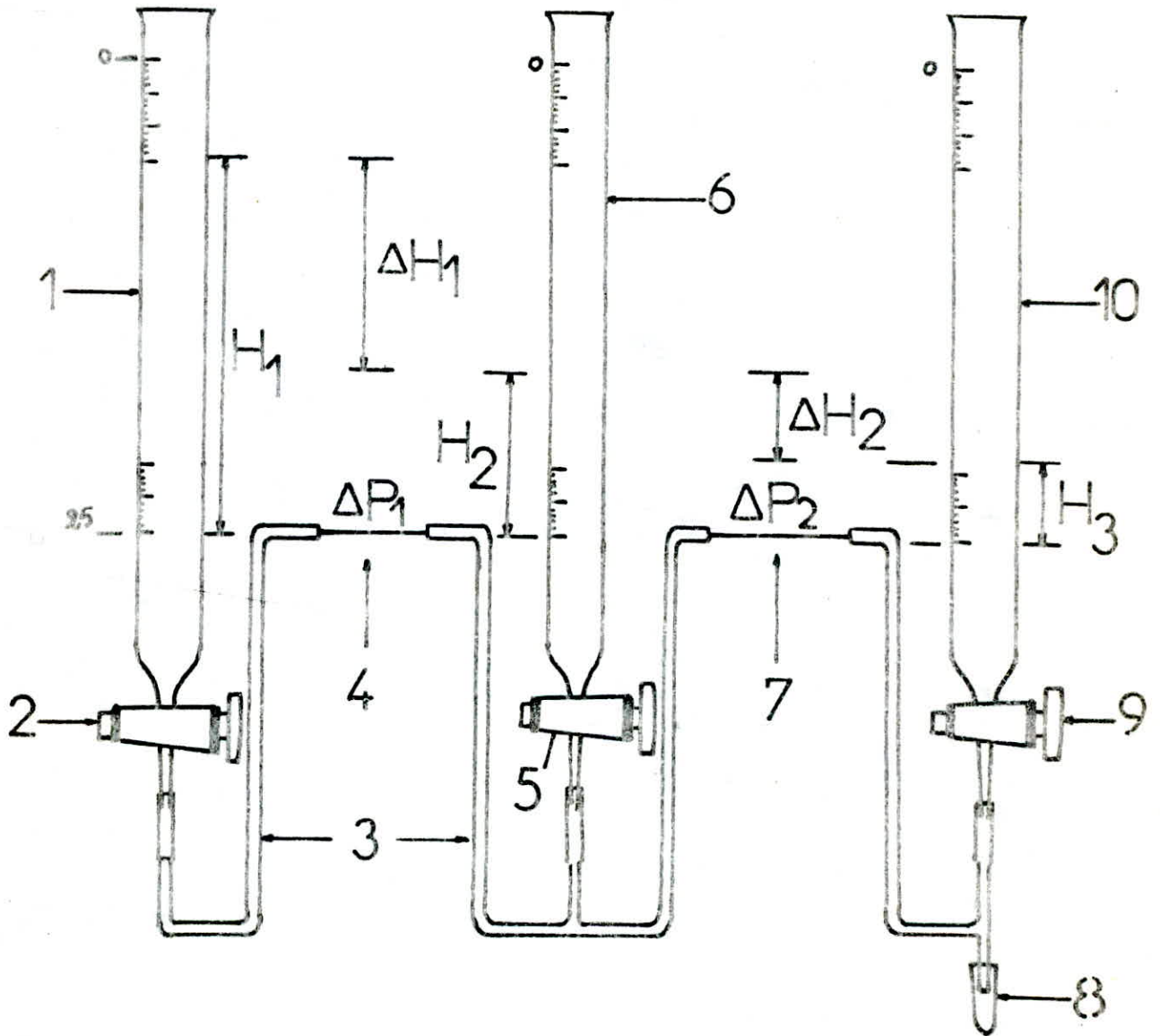
- 1- vérifier si l'installation est identique à celle indiquée sur le schéma n=03.
 - 2- fermer les robinets n=02 et n=08, laisser ouvert le robinet n=09 et n=05 .
 - 3- verser de l'eau dans la burette n=01, ensuite ouvrir le robinet n=02 (constater l'écoulement ascendant, dans les burettes n=06 et n=010)
 - 4- fermer les robinets n=02 et n=05, ouvrir le robinet n=08 (évacuation de l'eau jusqu'à ce que le niveau de celui-ci soit identique avec la graduation n=025 de l'échelle.)
- procéder de la même façon, pour le robinet n=05 (prendre soins à éliminer toutes les bulles d'air)
- 5- fermer les robinets n=02 et n=08. ensuite remplir la burette n=01 jusqu'à la graduation zéro de l'échelle.
 - 6- reprendre les opérations n=06 et n=07 du modèle (a).
 - 7- tracer: $v=f(t)$
et déterminer, les constantes d'équilibres: k_I et K_{II}

à l'équilibre : $(v_A)_{eq} = 10ml$, $(v_B)_{eq} = 5ml$, $(v_C)_{eq} = 10ml$

donc: $K_I = (k_I/k_{-I}) = (v_B/v_A)$ et $K_{II} = (k_2/k_{-2}) = (v_C/v_B)$

SCHEMA n°3

A ←, B ←, C



- 1, 6 et 10 burettes A, B, C
- 2 5 et 9 robinets en verre
- 4 et 7 tubes capillaires
- 3 tuyaux en plastique
- 8 robinet d'évacuation

table n° 12

la variation du volume en fonction du temps

t (s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	21,90	19,90	18,40	17,35	16,40	15,70	15,10	14,50	14,00	13,65	13,25	12,90
V ₂	25,00	22,10	19,85	18,30	17,30	16,40	15,60	15,00	14,50	13,95	13,65	13,25	12,90
V ₃	25,00	22,00	19,80	18,55	17,25	16,40	15,65	15,10	14,50	14,05	13,65	13,25	12,90
V _A (ml)	25,00	22,00	19,85	18,35	17,30	16,40	15,65	15,05	14,50	14,00	13,65	13,25	12,90

à l'équilibre : $V_A = 10 \text{ ml}$ $V_B = 5 \text{ ml}$ $V_C = 10 \text{ ml}$

alors . $K_I = \frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{V_B}{V_A} = 0,50$

$K_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \frac{V_C}{V_B} = 2,00$

table n = 13

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	2,70	4,20	5,00	5,45	5,60	5,64	5,70	5,60	5,58	5,50	5,48	5,40
V ₂	0	2,65	4,17	4,80	5,40	5,55	5,66	5,65	5,60	5,56	5,50	5,48	5,40
V ₃	0	2,60	4,17	5,20	5,40	5,65	5,62	5,60	5,60	5,58	5,50	5,48	5,40
V _B (ml)	0	2,65	4,18	5,00	5,42	5,60	5,64	5,65	5,60	5,56	5,50	5,48	5,40

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,30	0,80	1,50	2,30	2,90	3,60	4,40	4,85	5,45	5,90	6,35	6,70
V ₂	0	0,25	0,65	1,45	2,35	3,00	3,70	4,35	4,90	5,45	5,90	6,35	6,70
V ₃	0	0,20	0,65	1,40	2,20	3,95	3,65	4,30	4,80	5,45	5,90	6,35	6,70
V _C (ml)	0	0,25	0,70	1,45	2,25	2,95	3,65	4,35	4,85	5,45	5,90	6,35	6,70

fig n = 7

courbes : v VS t

$t = 19^\circ\text{C}$

$K_1 > K_2$

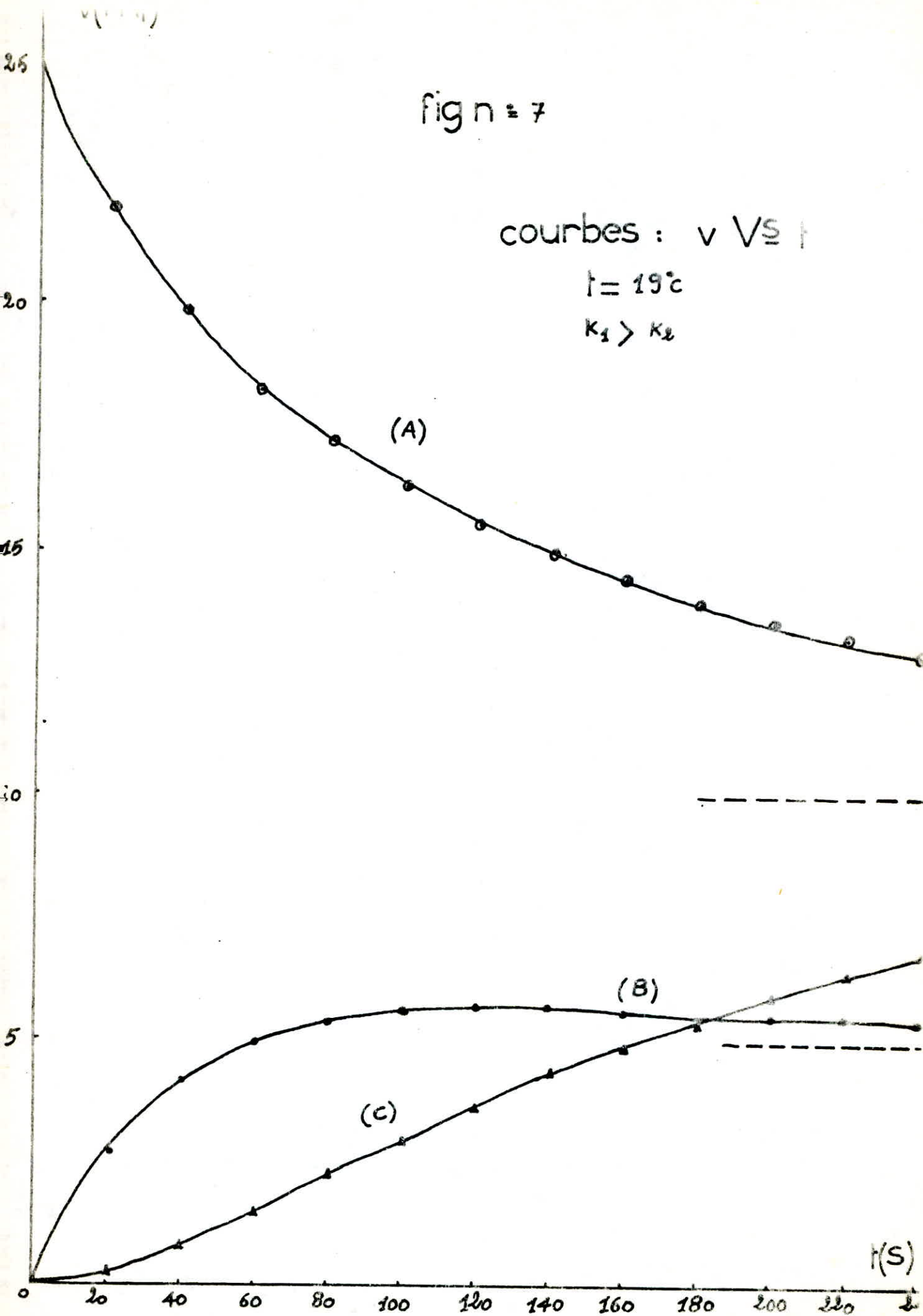


table n° 14

la variation du volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	23,25	21,60	20,10	19,15	18,20	17,20	16,40	15,70	15,00	14,50	14,00	13,55
V ₂	25,00	23,20	21,55	20,30	19,00	18,00	17,15	16,35	15,65	15,00	14,50	14,00	13,55
V ₃	25,00	23,10	21,50	20,20	19,00	18,10	17,10	16,30	15,60	15,00	14,50	14,00	13,55
V _A (ml)	25,00	23,20	21,55	20,20	19,05	18,10	17,15	16,35	15,65	15,00	14,50	14,00	13,55

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,60	2,60	3,20	3,50	5,80	4,10	4,15	4,25	4,35	4,42	4,50	4,58
V ₂	0	1,54	2,58	3,15	3,62	5,80	3,80	4,15	4,30	4,35	4,42	4,50	4,58
V ₃	0	1,54	2,58	3,10	3,50	5,80	4,10	4,12	4,20	4,35	4,42	4,50	4,58
V _B (ml)	0	1,56	2,58	3,15	3,54	5,80	4,00	4,14	4,25	4,35	4,42	4,50	4,58

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,40	0,90	1,70	2,50	3,20	4,00	4,70	5,20	5,80	6,20	6,65	7,00
V ₂	0	0,35	0,85	1,75	2,45	3,20	4,00	4,65	5,10	5,80	6,20	6,65	7,00
V ₃	0	0,30	0,80	1,65	2,55	3,35	4,00	4,60	5,15	5,80	6,20	6,65	7,00
V _C (ml)	0	0,35	0,85	1,70	2,50	3,25	4,00	4,65	5,15	5,80	6,20	6,65	7,00

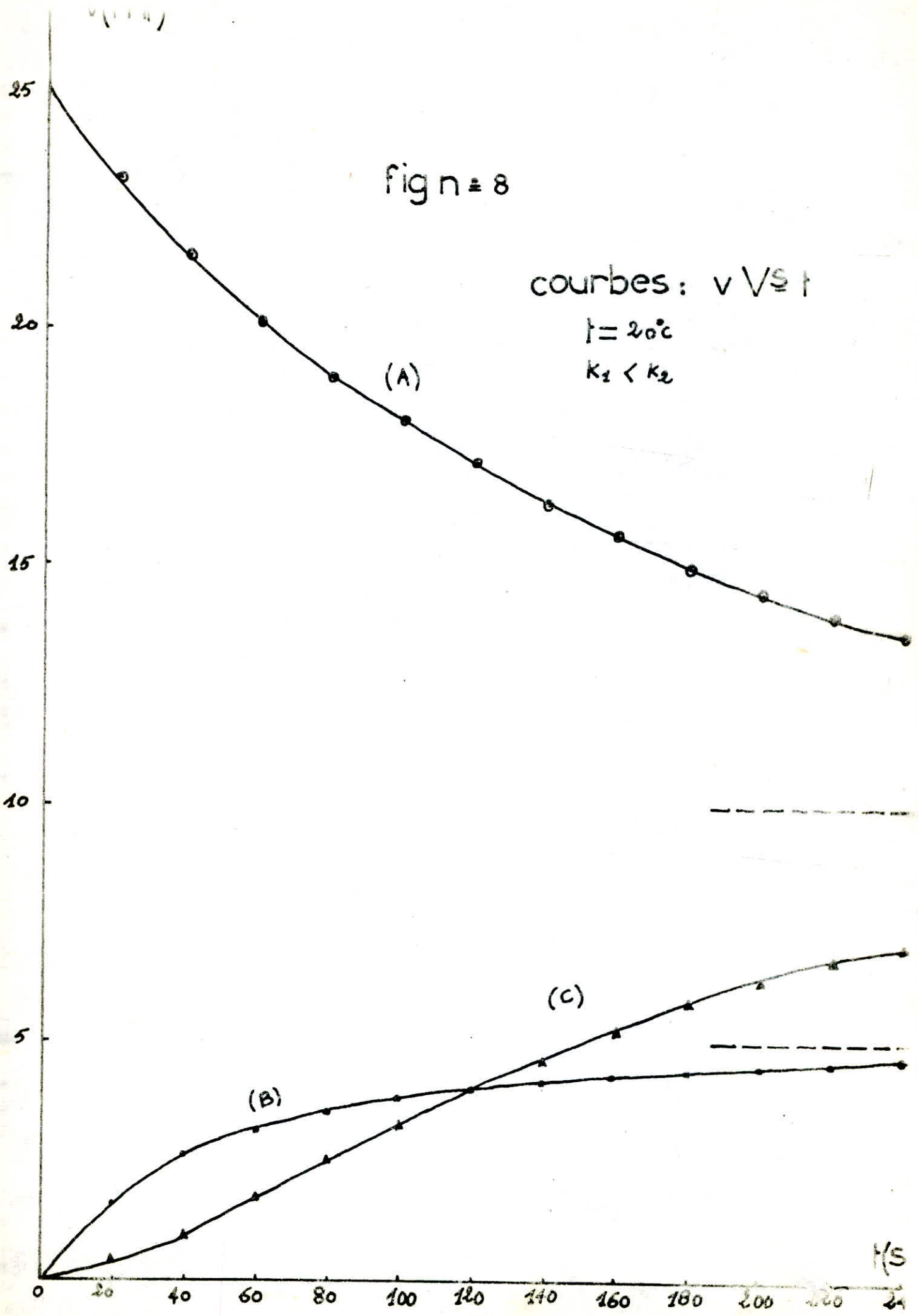
v(114)

fig n = 8

courbes : v VS t

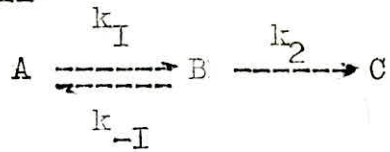
t = 20°C

K₁ < K₂



t/s

d) modèle cinétique d'une succession de deux réactions (reversible - irréversible)

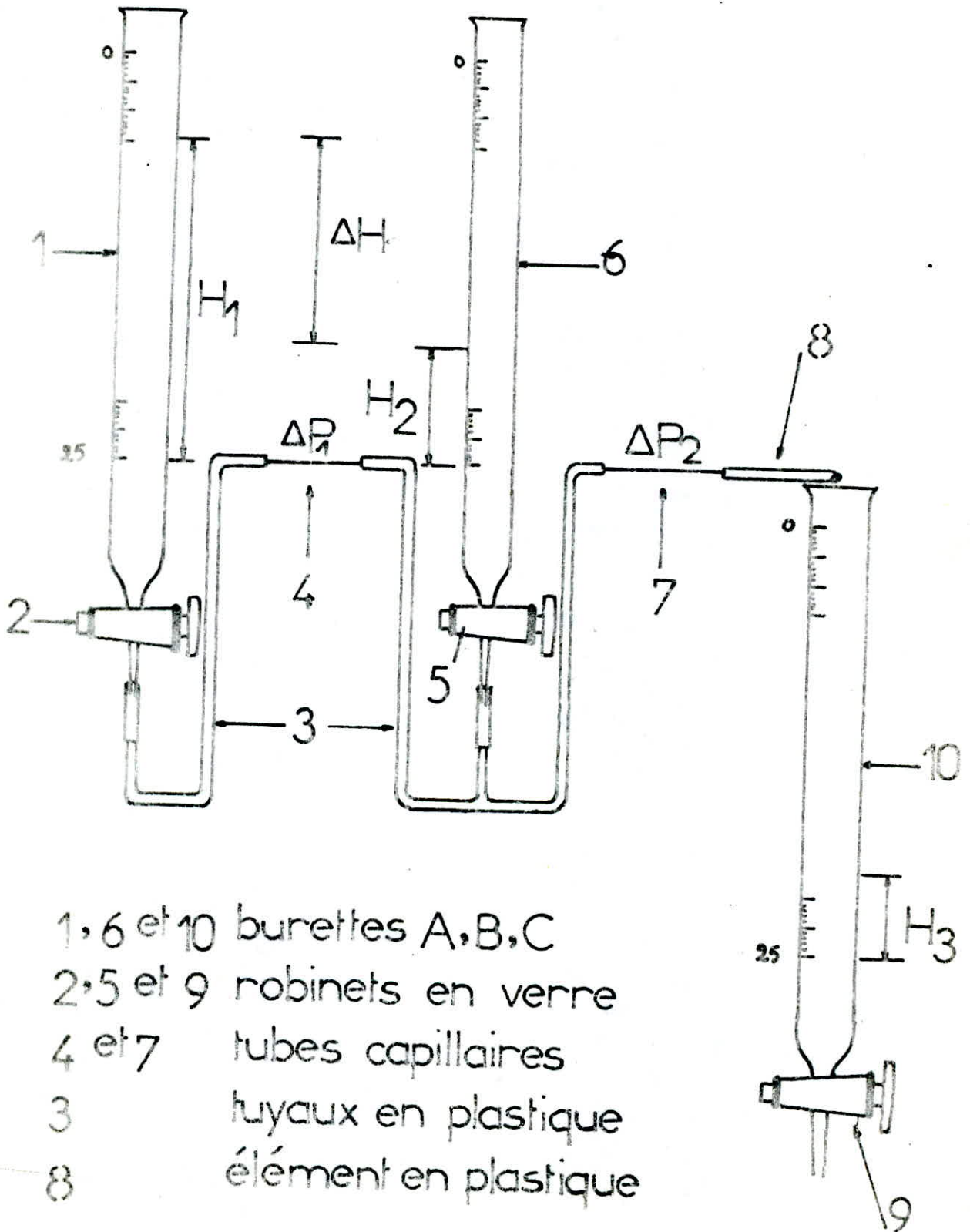


MODE OPERATOIRE :

- 1- faire le montage de l'installation, comme celle indiquée sur le schéma n°4 .
- 2- fermer le robinet n°2, laisser ouvert le robinet n°5
- 3- verser de l'eau dans la burette n°1
- 4- ouvrir le robinet n°2 (constater l'accumulation dans la burette n°6 ainsi l'écoulement à travers l'élément n°8)
- 5- pour pouvoir éliminer toutes les bulles d'air existant dans le tuyau, il faut refaire l'opération n°4 (plusieurs fois)
- 6- pour avoir le même niveau de la surface d'eau, et le tube capillaire concernant la burette n°6, il faut reprendre l'opération n°3 du modèle cinétique (a).
- 7- fermer le robinet n°2 ensuite remplir la burette jusqu'à zéro de l'échelle.
- 8- tracer : $v = f(t)$
- 9- avant de tracer $v = f(t)$, reprendre les opérations n°6 et n°7 du modèle cinétique (a) .

SCHEMA n°4

A ← B → C



- 1, 6 et 10 burettes A, B, C
- 2, 5 et 9 robinets en verre
- 4 et 7 tubes capillaires
- 3 tuyaux en plastique
- 8 élément en plastique

table n° 15

Variation du volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	22,55	20,20	18,60	17,30	16,20	15,40	14,50	13,80	13,15	12,45	11,85	11,25
V ₂	25,00	22,45	20,10	18,55	17,20	16,30	15,35	14,50	13,80	13,15	12,45	11,85	11,25
V ₃	25,00	22,50	20,15	18,50	17,25	16,10	15,30	14,50	13,80	13,15	12,45	11,85	11,25
V _A (ml)	25,00	22,50	20,15	18,55	17,25	16,20	15,35	14,50	13,80	13,15	12,45	11,85	11,25

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	2,60	4,20	4,80	5,20	5,30	5,20	5,00	4,85	4,68	4,50	4,30	4,10
V ₂	0	2,58	3,80	4,75	5,10	5,20	5,10	5,00	4,85	4,68	4,50	4,30	4,10
V ₃	0	2,56	4,00	4,70	5,00	5,10	5,00	5,00	4,85	4,68	4,50	4,30	4,10
V _B (ml)	0	2,58	4,00	4,75	5,10	5,20	5,10	5,00	4,85	4,68	4,50	4,30	4,10

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,60	1,20	1,90	2,85	3,80	4,70	5,70	6,50	7,40	8,20	9,10	9,80
V ₂	0	0,45	1,15	1,85	2,85	3,75	4,65	5,65	6,50	7,40	8,20	9,10	9,80
V ₃	0	0,45	1,10	1,95	2,90	3,70	4,75	5,60	6,50	7,40	8,20	9,10	9,80
V _C (ml)	0	0,50	1,15	1,90	2,80	3,75	4,70	5,65	6,50	7,40	8,20	9,10	9,80

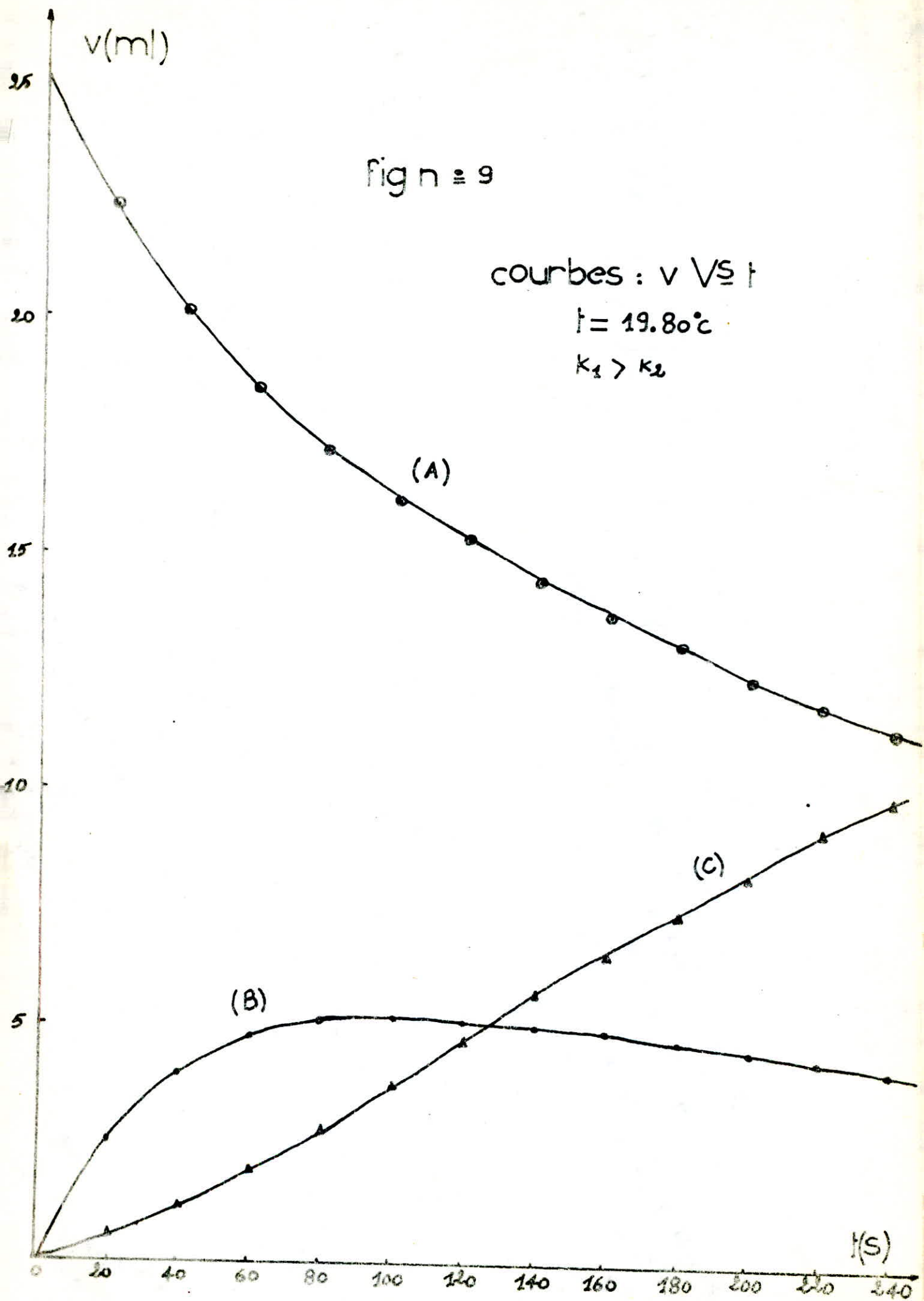


table n° 16

Variation du volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	23,30	21,80	20,50	19,30	18,30	17,40	16,40	15,80	14,75	14,00	13,25	12,60
V ₂	25,00	23,25	21,85	20,45	19,35	18,25	17,25	16,35	15,50	14,75	14,00	13,25	12,60
V ₃	25,00	23,20	21,75	20,40	19,25	18,20	17,25	16,30	15,50	14,75	14,00	13,25	12,60
V _A (ml)	25,00	23,25	21,80	20,45	19,30	18,25	17,30	16,35	15,50	14,75	14,00	13,25	12,60

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,60	2,40	2,80	3,10	3,30	3,00	2,92	2,86	2,75	2,65	2,55	2,40
V ₂	0	1,58	2,38	2,75	3,00	3,25	3,00	2,92	2,86	2,75	2,65	2,55	2,40
V ₃	0	1,58	2,36	2,85	2,90	3,35	3,00	2,92	2,86	2,75	2,65	2,55	2,40
V _B (ml)	0	1,58	2,38	2,80	3,00	3,30	3,00	2,92	2,86	2,75	2,65	2,55	2,40

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,70	1,30	2,20	3,20	4,25	5,10	6,10	7,00	7,85	8,75	9,60	10,40
V ₂	0	0,65	1,35	2,15	3,15	4,20	5,20	6,00	7,00	7,85	8,75	9,60	10,40
V ₃	0	0,60	1,25	2,10	3,10	4,15	5,00	6,10	7,00	7,85	8,75	9,60	10,40
V _C (ml)	0	0,65	1,30	2,15	3,15	4,20	5,10	6,05	7,00	7,85	8,75	9,60	10,40

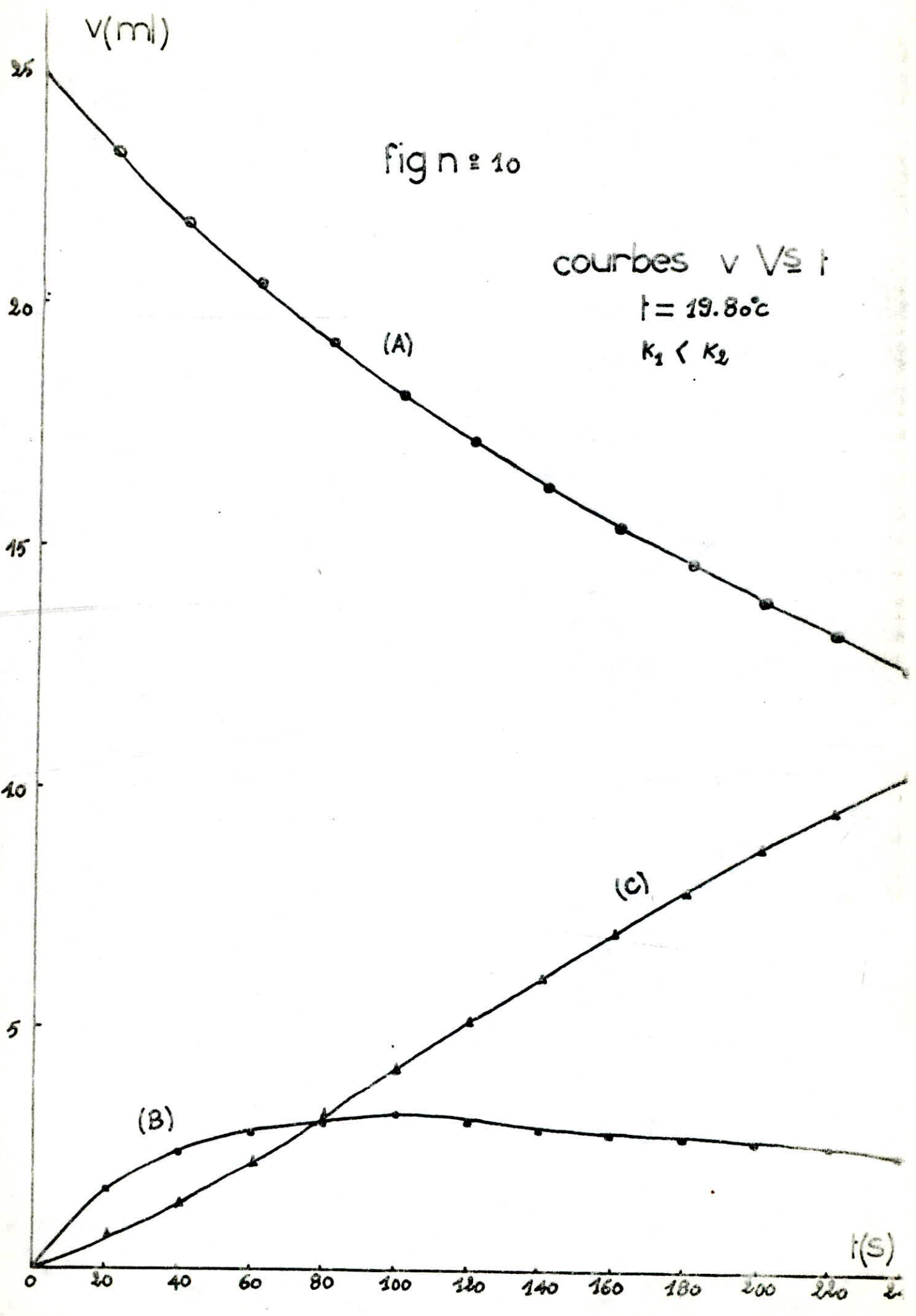
v(ml)

fig n = 10

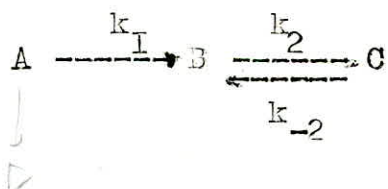
courbes v VS t

t = 19.8°C

K₁ < K₂



c) modèle cinétique d'une succession de deux réactions (irréversible - réversible)



MODE OPERATOIRE :

- 1- faire le montage de l'installation, comme celle indiquée sur le schéma n=05 .
- 2- fermer le robinet n=02 et laisser ouvert les robinets n=05 et n=09 .
- 3- verser l'eau dans la burette n=01 ensuite ouvrir le robinet n=02 (prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air)
- 4- fermer le robinet n=05, et le robinet n=09.
- 5- ouvrir le robinet d'évacuation n=011, régler le niveau d'eau dans la burette n=010 à l'aide du robinet n=09 et dans la burette n=06 à l'aide du robinet n=05.
- 6- fermer le robinet n=02, laisser ouvert les robinets n=05 et n=09 .
- 7- refaire les opérations n=06, n=07 du modèle cinétique (a)
- 8- tracer : $v = f(t)$

à l'équilibre : $(v_B)_{eq} = 8,2$ et $(v_c) = 16,8$

$$\text{alors : } K_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \left(\frac{v_c}{v_B} \right) = 0,48$$

SCHEMA n°5

- 1, 6 et 10 burettes A, B, C
- 2, 5 et 9 robinets en verre
- 4 et 7 tubes capillaires
- 3 tuyau en plastique
- 11 robinet d'évacuation
- élément

A —, B ←, C

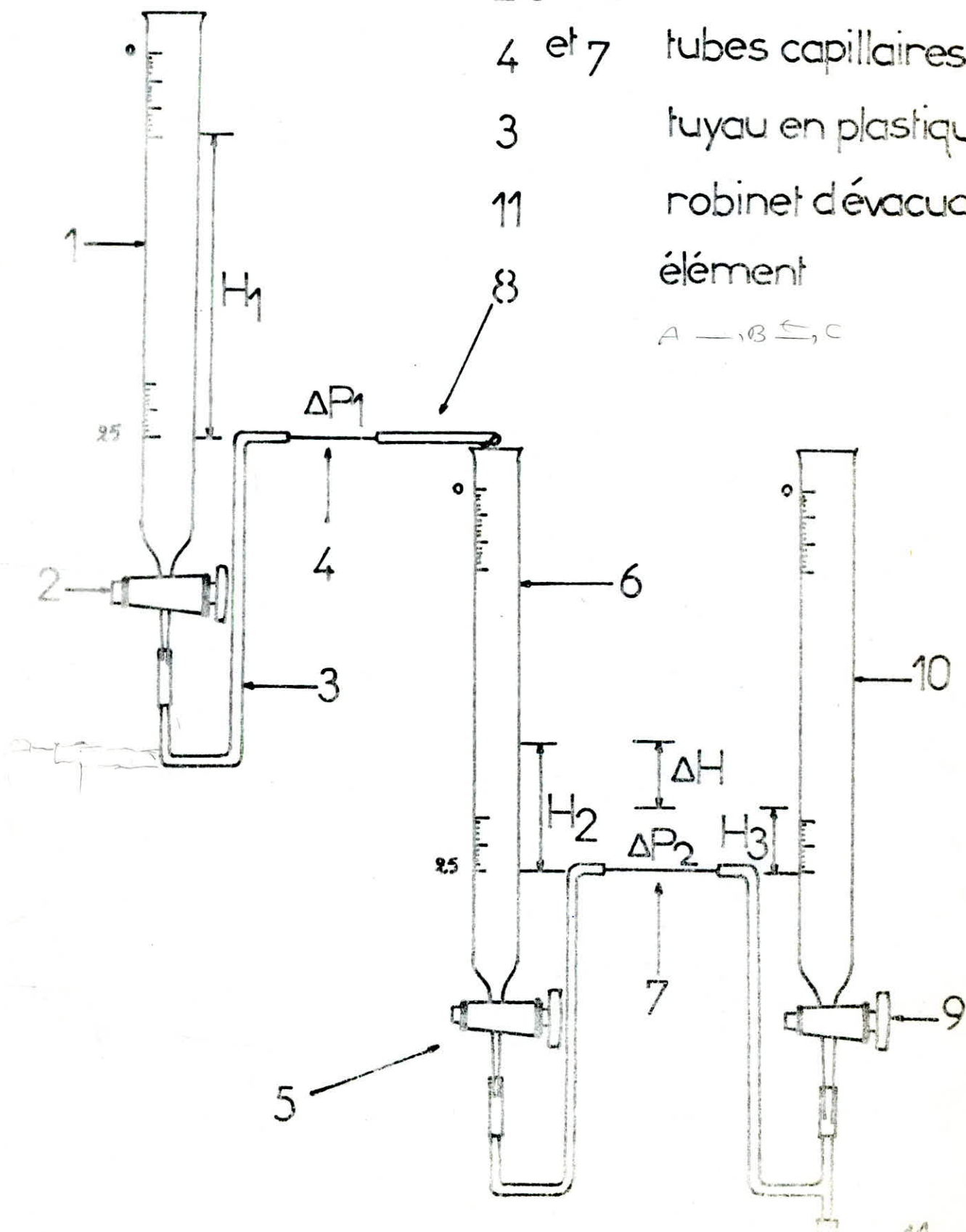


table n° 17

determination de la resistance hydrostatique par la methode

differentielle : par regression lineaire

la pente est : $5,71 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de : $0,023 \text{ ml/s}$

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	22,00	19,30	16,80	15,00	13,00	10,90	9,40	8,00	6,90	5,85	5,15	4,40
V ₂	25,00	21,90	19,20	16,80	14,50	12,50	10,80	9,40	8,00	6,90	5,85	5,15	4,40
V ₃	25,00	21,95	19,35	16,80	14,55	12,55	10,85	9,40	8,00	6,90	5,85	5,15	4,40
V _A (ml)	25,00	21,95	19,35	16,80	14,55	12,55	10,85	9,40	8,00	6,90	5,85	5,15	4,40
-ΔV/Δt	.	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04

à l'équilibre : V_B = 8,20 ml et V_C = 16,8 ml

alors :
$$K_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \frac{V_C}{V_B} = 2,04$$

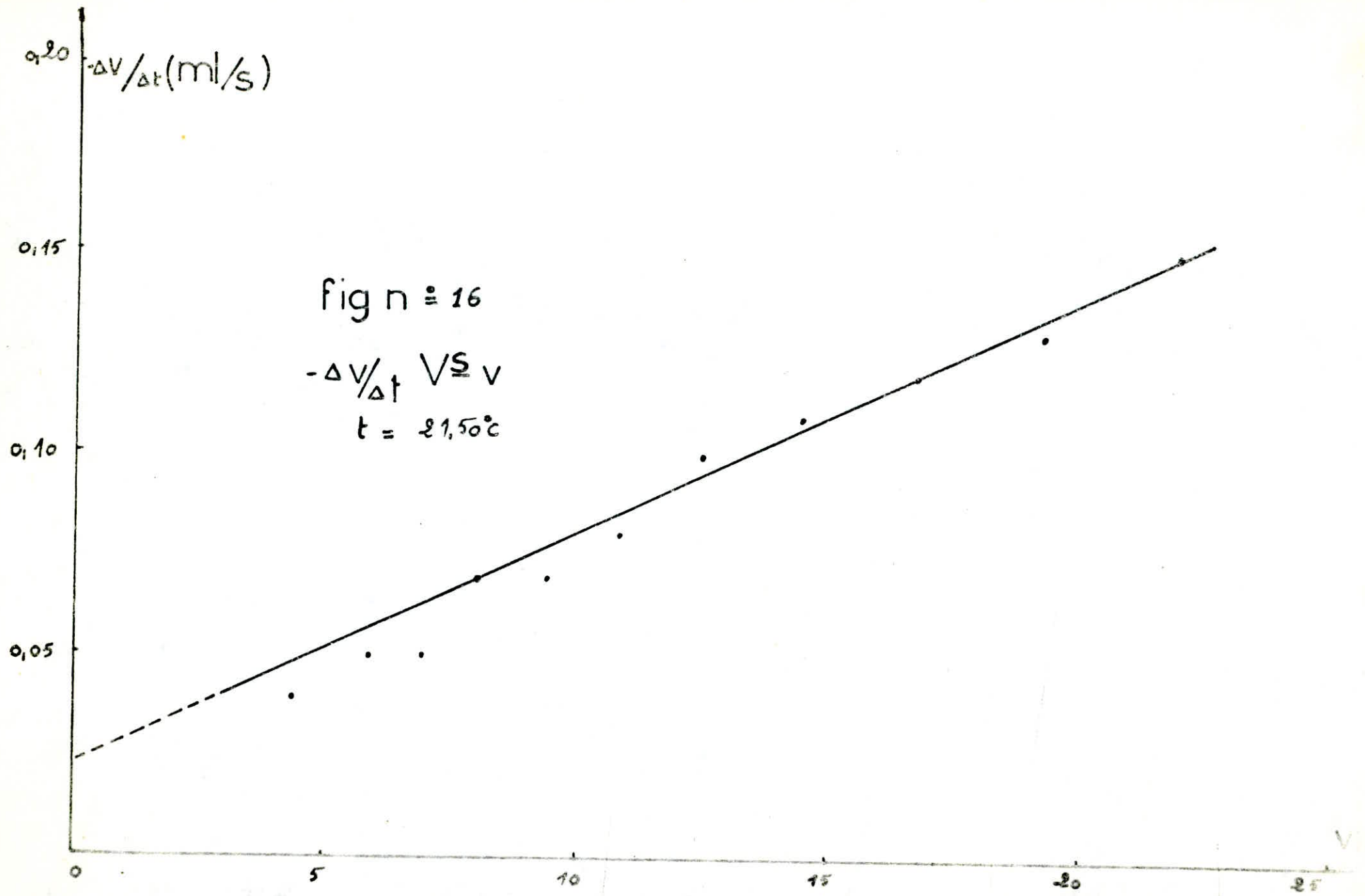


table n° 18

Variation du volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	2,50	4,70	6,40	7,60	8,50	9,20	9,50	9,70	9,80	9,75	9,65	9,50
V ₂	0	2,40	4,60	6,40	7,65	8,46	9,00	9,50	9,70	9,80	9,70	9,65	9,50
V ₃	0	2,45	4,65	6,40	7,60	8,46	9,10	9,50	9,70	9,80	9,75	9,65	9,50
V _B (ml)	0	2,45	4,65	6,40	7,62	8,48	9,10	9,50	9,70	9,80	9,75	9,65	9,50

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,30	0,90	1,80	2,85	3,90	5,00	6,20	7,20	8,20	9,20	10	10,80
V ₂	0	0,20	0,95	1,80	2,75	3,85	5,00	6,10	7,20	8,20	9,20	10	10,80
V ₃	0	0,25	0,85	1,80	2,80	3,80	5,00	6,15	7,20	8,20	9,20	10	10,80
V _C (ml)	0	0,25	0,90	1,80	2,80	3,85	5,00	6,15	7,20	8,20	9,20	10,00	10,80

v(ml)

fig n = 11

courbes: v VS t

t = 21.50 °C

$k_1 > k_2$

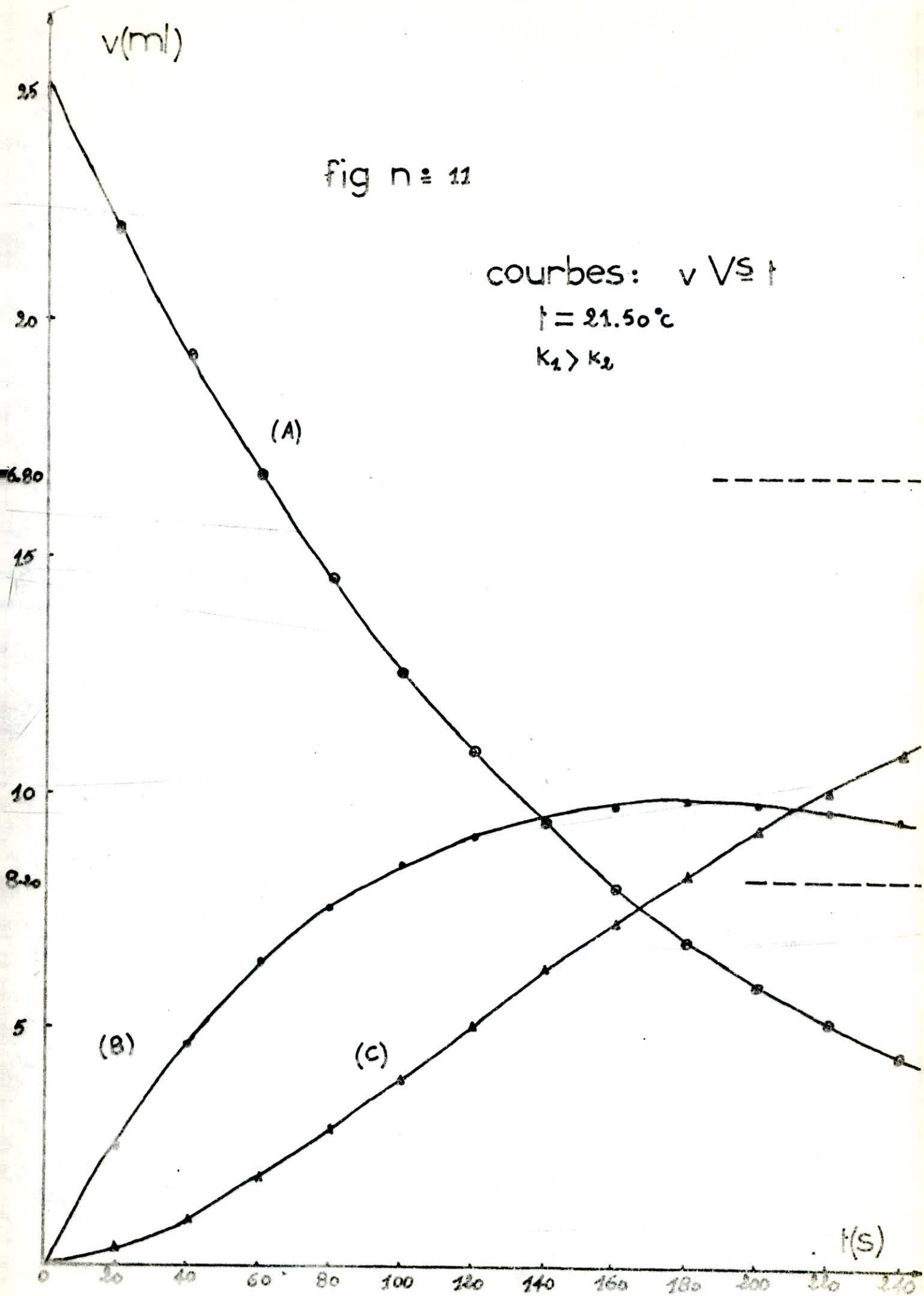


table n° 19

determination de la resistance hydrostatique par la methode differentielle. par regression lineaire :

la pente est : $0,41 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de : zero

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	23,15	21,30	19,60	18,10	16,70	15,80	14,20	13,00	12,00	11,00	10,15	9,35
V ₂	25,00	23,00	21,20	19,50	18,20	16,65	15,80	14,20	13,00	12,00	11,00	10,15	9,35
V ₃	25,00	23,00	21,25	19,55	18,00	16,60	15,80	14,20	13,00	12,00	11,00	10,15	9,35
V _A (ml)	25,00	23,05	21,25	19,55	18,10	16,65	15,80	14,20	13,00	12,00	11,00	10,15	9,35
-ΔV/Δt	.	0,097	0,09	0,085	0,072	0,072	0,042	0,085	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04

à l'équilibre : V_B = 8,20 ml et V_C = 16,80 ml

alors :
$$K_{II} = \frac{k_2}{k_{-2}} = \frac{V_C}{V_B} = 2,04$$

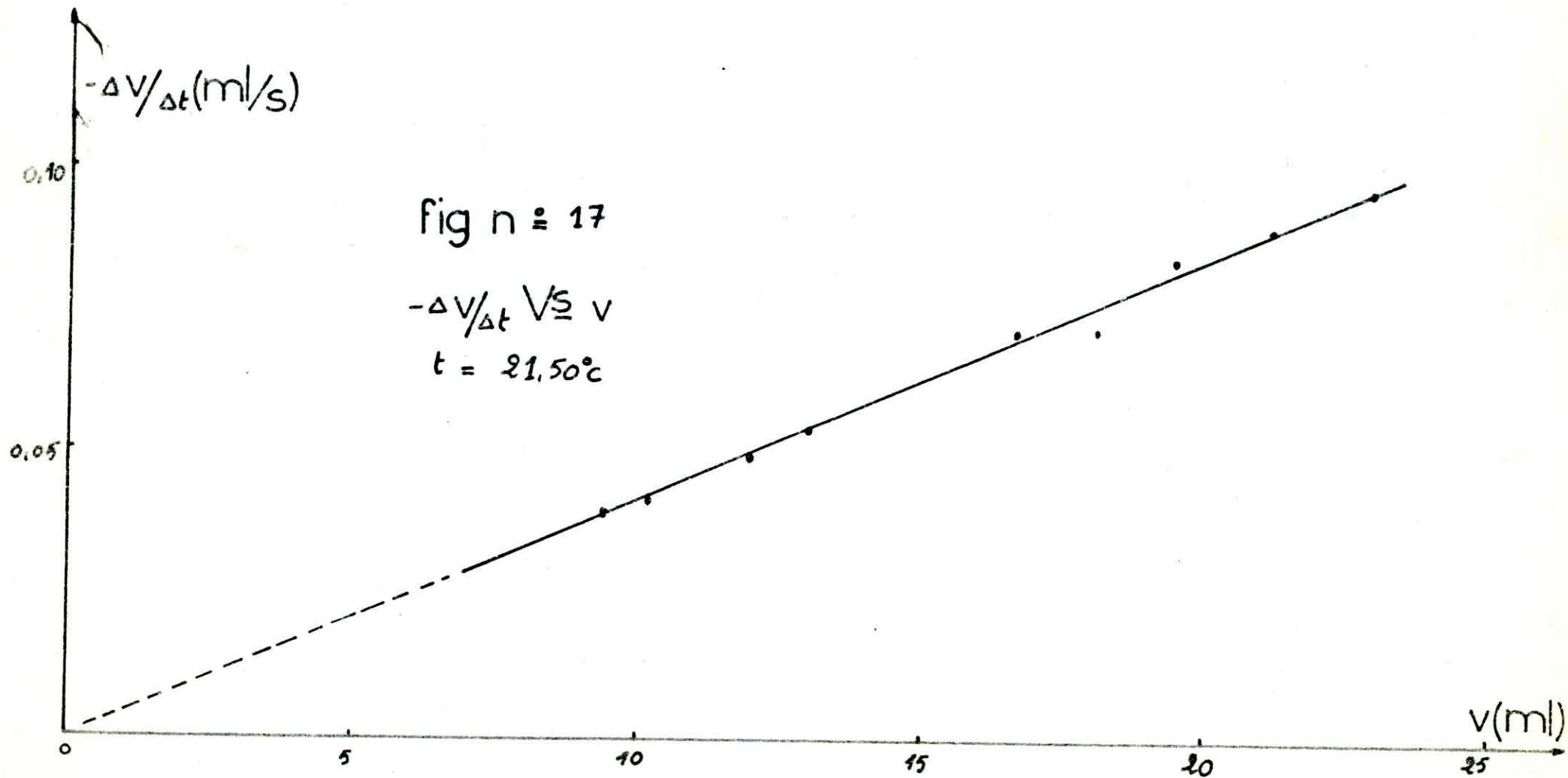
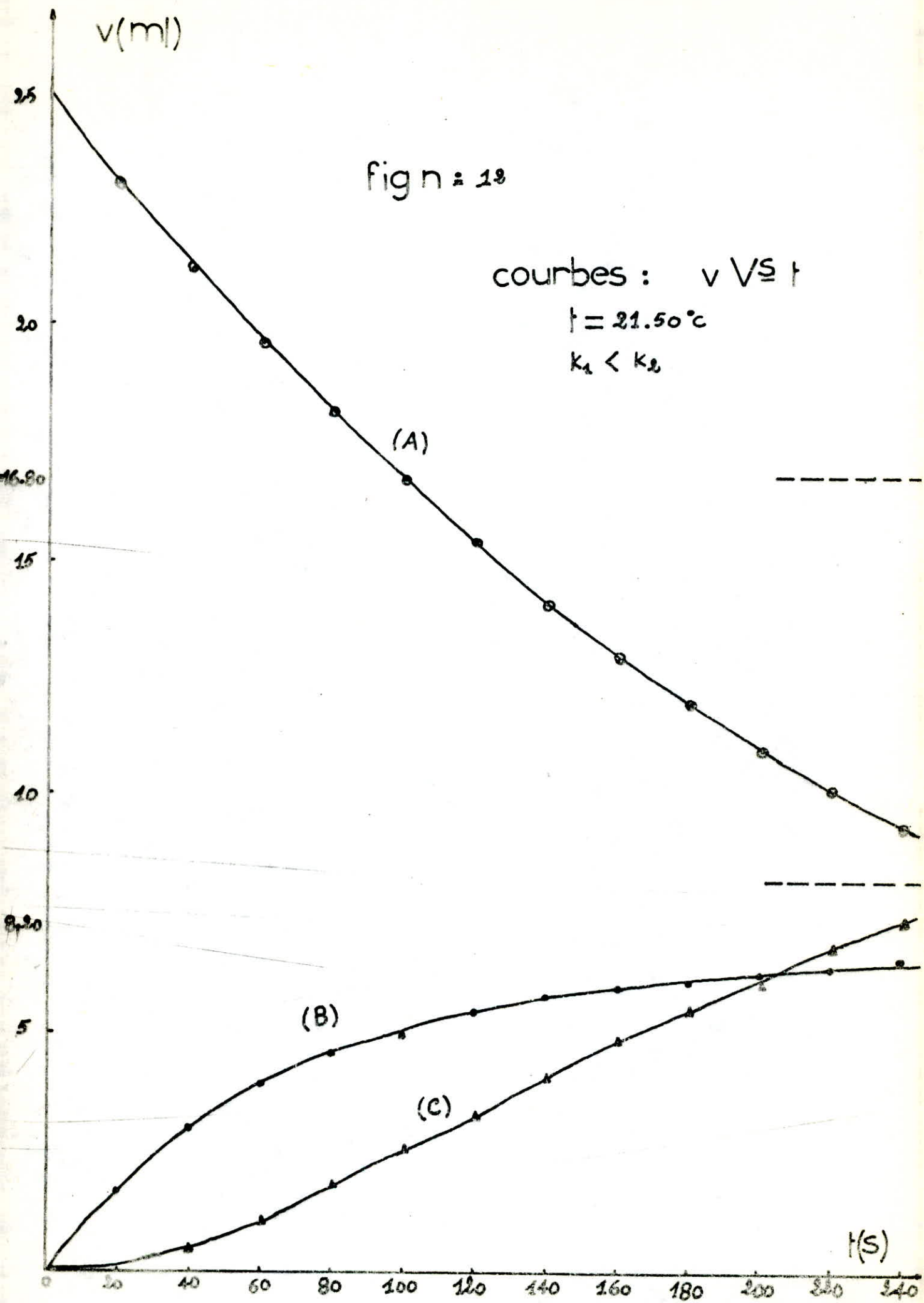


table n° 20

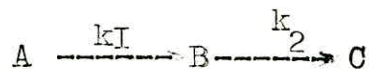
Variation du volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,70	2,40	4,20	4,50	4,95	5,40	5,70	5,90	6,00	6,20	6,34	6,48
V ₂	0	1,65	2,45	4,10	4,50	4,95	5,25	5,70	6,00	6,10	6,20	6,34	6,48
V ₃	0	1,60	2,40	4,15	4,50	4,90	5,30	5,70	5,80	6,02	6,20	6,34	6,48
V _B (ml)	0	1,65	2,42	4,15	4,50	4,94	5,35	5,70	5,90	6,04	6,20	6,34	6,48

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,2	0,40	1,00	1,80	2,50	3,30	4,00	4,80	5,45	6,10	6,70	7,30
V ₂	0	0,2	0,35	1,00	1,70	2,55	3,20	4,00	4,70	5,45	6,00	6,70	7,30
V ₃	0	0,2	0,45	1,00	1,75	2,45	3,25	4,00	4,75	5,45	6,05	6,70	7,30
V _C (ml)	0	0,2	0,40	1,00	1,75	2,50	3,25	4,00	4,75	5,45	6,05	6,70	7,30



f) modèle cinétique d'une succession de deux réactions irréversibles du premier ordre



MODE OPERATOIRE

- 1- réaliser l'installation suivante(voir schéma n°6).
- 2- verser de l'eau dans la burette n°1 et prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air .(laisser ouvert le robinet)
n°2
- 3- laisser écouler l'eau jusqu'à la graduation (25) de l'échelle .si non pivoter l'élément n°8 vers le bas et une fois que ceci soit réalisé remettre le à sa position initiale.
- 3- procéder de la même manière, pour la burette n°6 .
- 5- fermer les robinets n°2 et n°9 cependant, laisser ouvert le robinet n°5 .
- 6- remplir la burette n°1 jusqu'à niveau (zéro) de l'échelle
- 7- ouvrir le robinet n°2 ensuite constater l'écoulement à travers les capillaires n°4 et n°7 .
- 8- refaire les opérations n°6 et n°7 du modèle cinétique (a) ainsi la n°8 .
- 9- tracer : $v = f(t)$
- 10- constater l'allure des courbes expérimentales et donner par la suite une conclusion pour ça .

SCHEMA n°6

- 1, 6 et 10 burettes A, B, C
- 2, 5 et 9 robinets en verre
- 4 et 7 tubes capillaires
- 3 tuyau en plastique
- 8 et 11 éléments en plastique

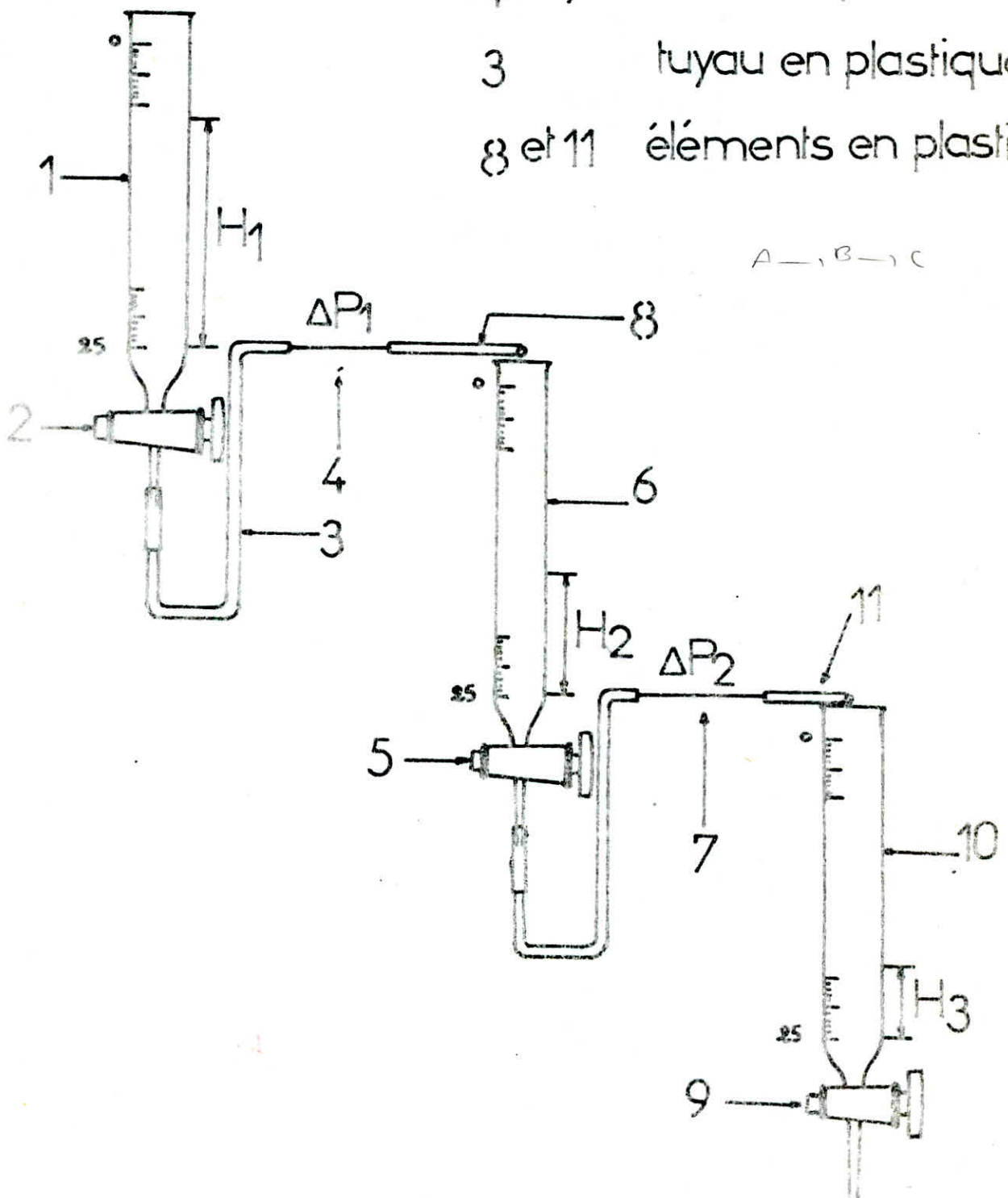


table n° 21

determination de la resistance hydrostatique par la methode

differentielle. par regression lineaire:

la pente est : $0,01 \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de: 0

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V_1	25,00	21,55	18,55	16,50	13,80	11,95	10,25	8,80	7,55	6,40	5,60	4,80	4,20
V_2	25,00	21,45	18,45	15,50	13,70	11,90	10,20	8,80	7,55	6,40	5,60	4,80	4,20
V_3	25,00	21,50	18,50	16,00	13,75	11,85	10,15	8,80	7,55	6,40	5,60	4,80	4,20
$V_A(\text{ml})$	25,00	21,50	18,50	16,00	13,75	11,90	10,20	8,80	7,55	6,40	5,60	4,80	4,20
$-\Delta V/\Delta t$	—	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03

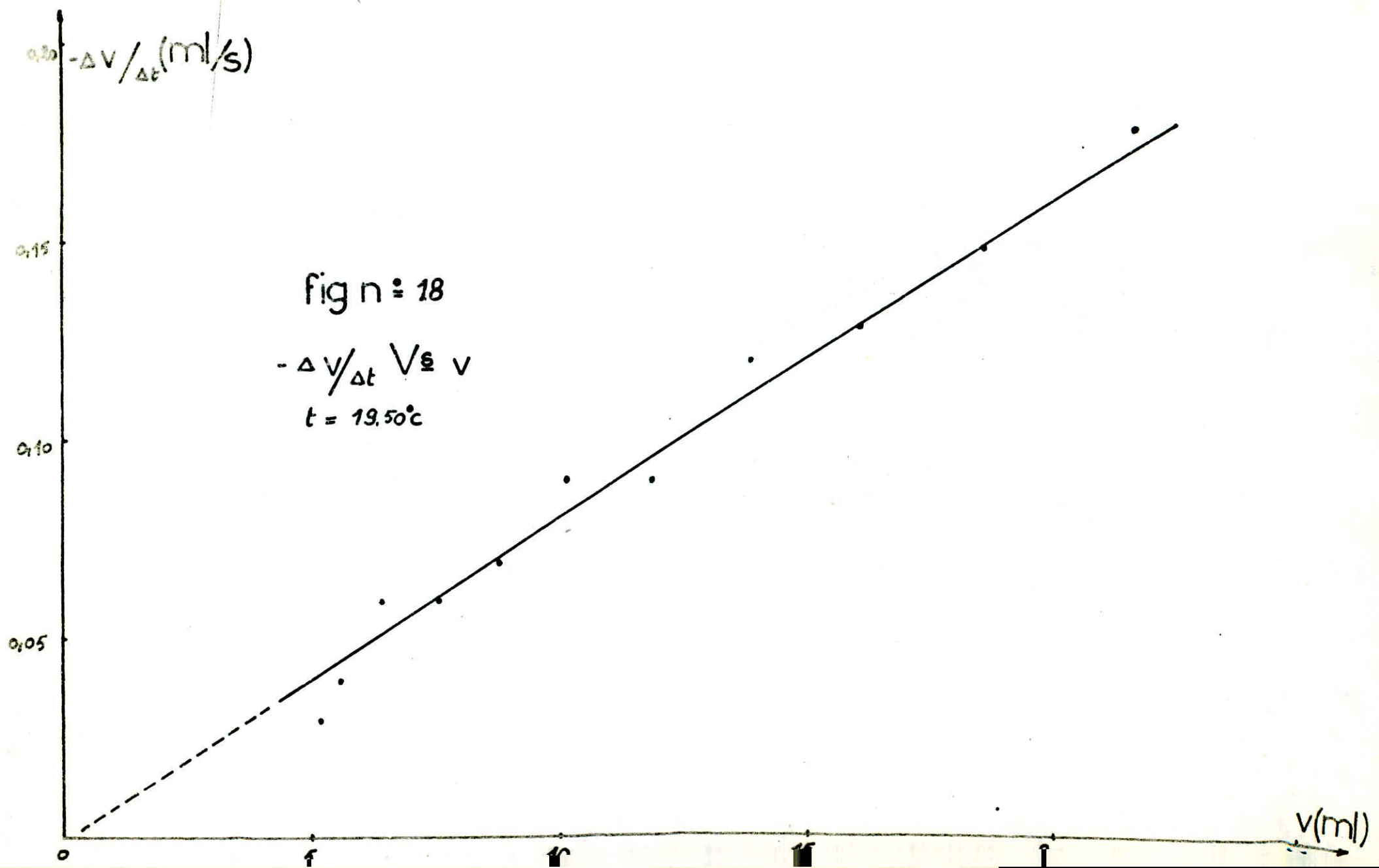


table n° 22

Variation de volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,60	2,95	3,90	4,55	4,85	5,00	4,95	4,80	4,70	4,50	4,25	4,00
V ₂	0	1,50	2,95	3,85	4,45	4,80	5,00	4,95	4,80	4,70	4,50	4,25	4,00
V ₃	0	1,55	2,98	3,90	4,50	4,85	5,00	4,95	4,80	4,70	4,50	4,25	4,00
V _B (ml)	0	1,55	2,96	3,88	4,50	4,82	5,00	4,95	4,80	4,70	4,50	4,25	4,00

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,10	0,65	1,55	2,70	3,90	5,40	6,70	8,00	9,40	10,70	12,00	13,10
V ₂	0	0,10	0,55	1,45	2,60	3,90	5,40	6,70	8,00	9,40	10,70	12,00	13,10
V ₃	0	0,10	0,60	1,50	2,65	3,90	5,40	6,70	8,00	9,40	10,70	12,00	13,10
V _C (ml)	0	0,10	0,60	1,50	2,65	3,90	5,40	6,70	8,00	9,40	10,70	12,00	13,10

v(t, t)

fig n = 15

courbes v VS t

t = 19.50°C

K₁ > K₂

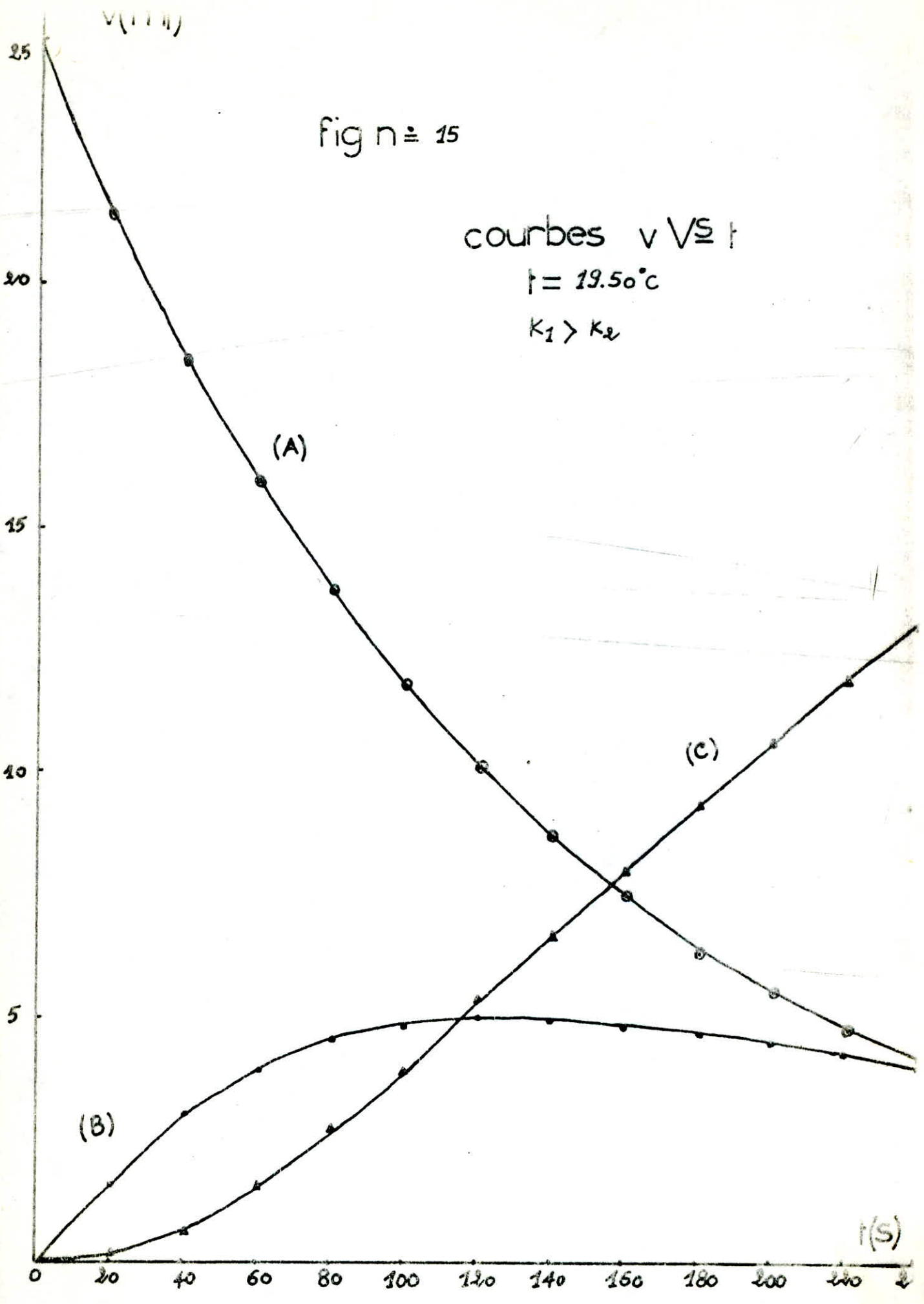


table n° 23

variation de volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	23,50	21,30	19,60	18	16,65	15,30	14,10	13,00	12,00	11,10	10,20	9,30
V ₂	25,00	23,00	21,25	19,55	18	16,60	15,30	14,10	13,00	12,00	11,10	10,20	9,30
V ₃	25,00	22,50	21,20	19,50	18	16,55	15,30	14,10	13,00	12,00	11,10	10,20	9,30
V _A (ml)	25,00	23,00	21,25	19,55	18,00	16,60	15,30	14,10	13,00	12,00	11,10	10,20	9,30

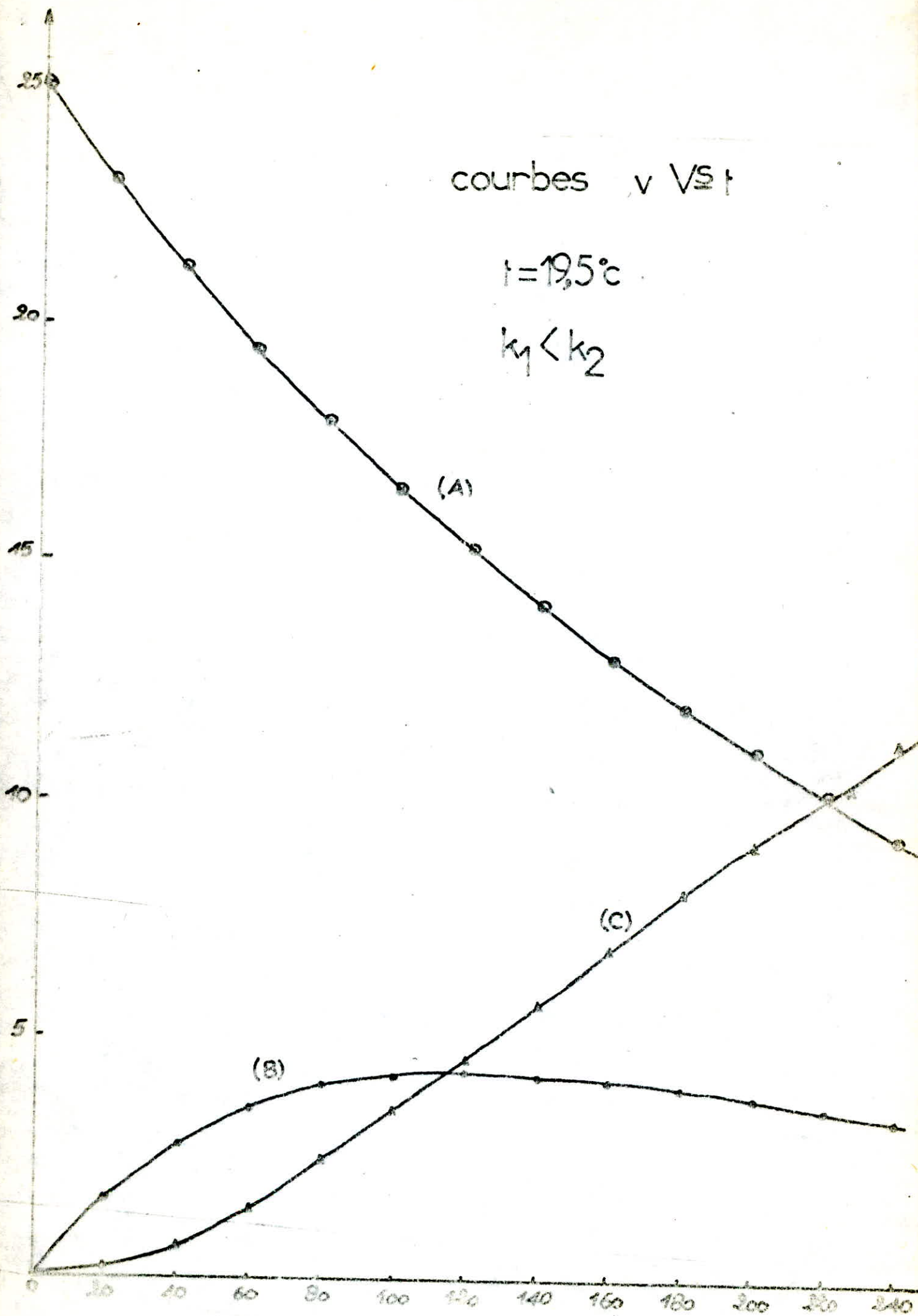
t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,65	2,75	3,60	4,00	4,25	4,30	4,20	4,10	3,98	3,80	3,60	3,40
V ₂	0	1,55	2,73	3,50	3,95	4,15	4,30	4,20	4,10	3,98	3,80	3,60	3,40
V ₃	0	1,60	2,74	3,55	3,98	4,20	4,30	4,20	4,10	3,98	3,80	3,60	3,40
V _B (ml)	0	1,60	2,74	3,55	3,98	4,20	4,30	4,20	4,10	3,98	3,80	3,60	3,40

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,10	0,60	1,50	2,50	3,50	4,60	5,80	6,95	8,10	9,10	10,25	11,30
V ₂	0	0,10	0,60	1,45	2,45	3,50	4,60	5,75	6,95	8,10	9,10	10,25	11,30
V ₃	0	0,10	0,60	1,40	2,40	3,50	4,60	5,70	6,95	8,10	9,10	10,25	11,30
V _C (ml)	0	0,10	0,60	1,45	2,45	3,50	4,60	5,75	6,95	8,10	9,10	10,25	11,30

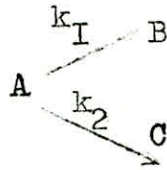
courbes v vs t

$t = 19,5^\circ\text{C}$

$k_1 < k_2$



g) modèle cinétique d'une réaction parallèle
(jumelle)



MODE OPERATOIRE

- 1 - réaliser le montage de l'installation, comme celle représentée sur le schéma n=07 .
- 2 - verser de l'eau dans la burette n=01 et prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air apparaissant dans les tuyaux. (laisser ouvert le robinet n=02)
- 3 - avant de commencer l'expérience, tâcher de positionner la surface de l'eau à la graduation (75) zéro de l'échelle . pour les burettes n=6 et n=010 .
- 4 - fermer le robinet n=02, ensuite remplir la burette n=01 jusqu'à graduation (zéro) de l'échelle .
- 5 - refaire les opérations n=06 , 7 et 8 du modèle cinétique (a) .
- 6 - déterminer les résistances hydrostatiques (k_1 et k_2).

nous avons : $\frac{k_1}{k_2} = \frac{v_B}{v_C}$ (voir page n=022)

- $\frac{dv_A}{dt} = f(v_A)$ une dépendance linéaire dont la pente est $k = k_1 + k_2$

(voir table n=024)

application numérique : $(k_1/k_2) = 1,87$ et $k_1 + k_2 = 0,93 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

ce qui donne $k_1 = 6,06 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ et $k_2 = 3,24 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

SCHEMA n°7

- 1.6 et 10 burettes A.B.C
- 2.5 et 9 robinets en verre
- 4 et 7 tubes capillaires
- 3 tuyau en plastique
- 8 et 11 éléments " "

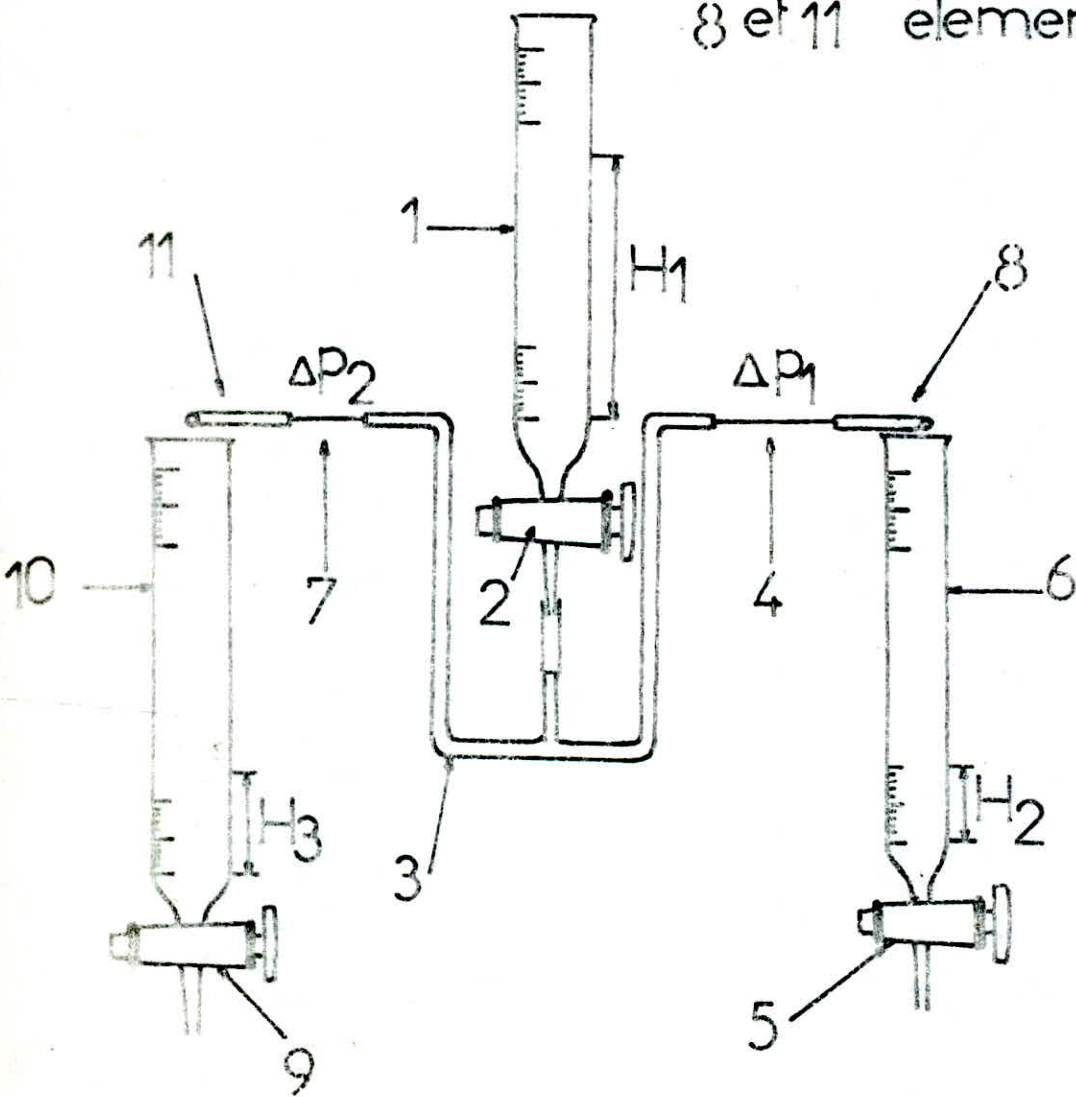


table n° 24

determination de la resistance hydrostatique par la methode differentielle. par regression lineaire :

la pente est : $0,93 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Soit l'ordonnée à l'origine de : zero

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	21,15	17,85	14,75	12,40	10,45	8,90	7,60	6,70	6,00	5,40	4,95	4,60
V ₂	25,00	21,00	17,75	14,65	12,30	10,35	8,80	7,50	6,70	6,00	5,40	4,95	4,60
V ₃	25,00	21,00	17,80	14,70	12,35	10,40	8,85	7,55	6,70	6,00	5,40	4,95	4,60
V _A (ml)	25,00	21,05	17,80	14,70	12,35	10,40	8,85	7,55	6,70	6,00	5,40	4,95	4,60
-ΔV/Δt	.	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02

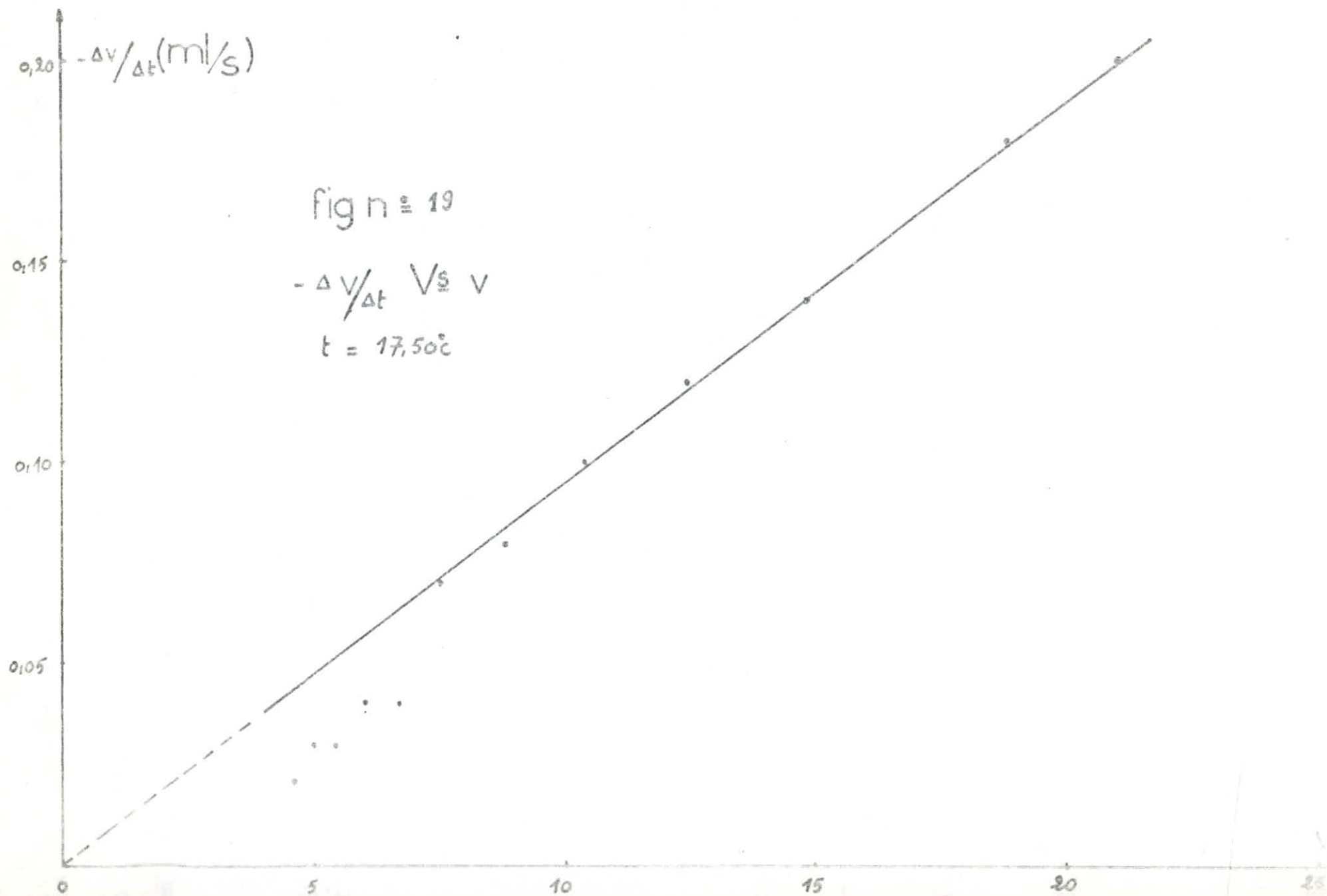


table n° 25

evolution de Volume en fonction du temps

$$\frac{V_B}{V_C} = \frac{k_1}{k_2}$$

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	2,30	4,70	6,70	8,30	9,60	10,80	11,65	12,30	12,80	13,20	13,40	13,60
V ₂	0	2,25	4,65	6,60	8,30	9,58	10,80	11,65	12,30	12,80	13,20	13,40	13,60
V ₃	0	2,20	4,60	6,65	8,30	9,55	10,80	11,65	12,30	12,80	13,20	13,40	13,60
V _B (ml)	0	2,25	4,65	6,65	8,30	9,58	10,80	11,65	12,30	12,80	13,20	13,40	13,60

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	1,25	2,40	3,30	4,20	4,80	5,30	5,90	6,10	6,50	6,70	6,80	6,90
V ₂	0	1,20	2,30	3,35	4,00	4,80	5,30	5,80	6,10	6,50	6,70	6,80	6,90
V ₃	0	1,15	2,35	3,25	4,10	4,80	5,30	5,88	6,10	6,50	6,70	6,80	6,90
V _C (ml)	0	1,20	2,35	3,30	4,10	4,80	5,30	5,88	6,10	6,50	6,70	6,80	6,90

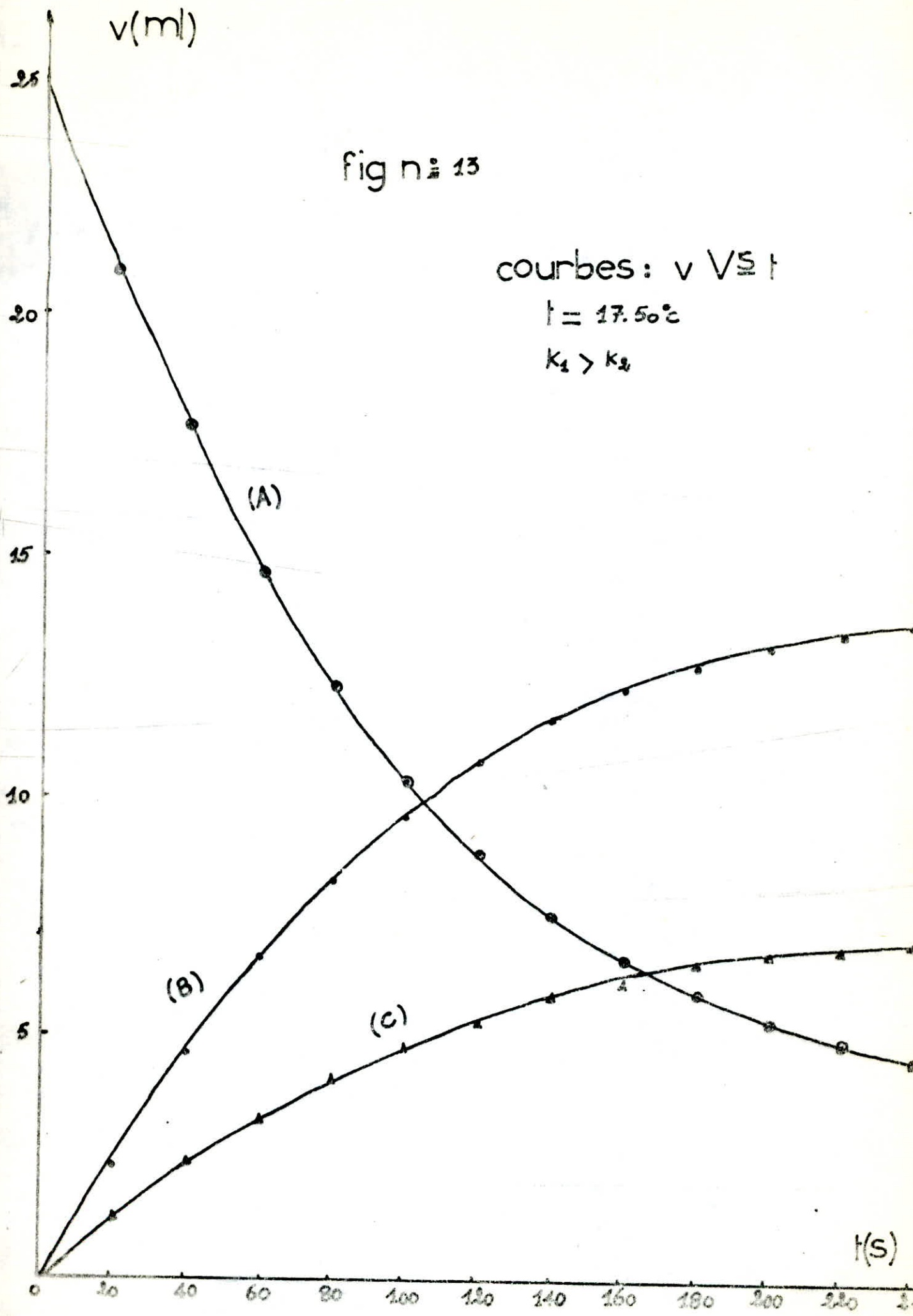
v(ml)

fig n° 13

courbes: v VS t

t = 17.50°C

$k_1 > k_2$



t(s)

table n° 26

Variation de volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	25,00	21,30	18,10	15,30	12,90	11,00	9,40	8,00	7,00	6,10	5,45	4,95	4,50
V ₂	25,00	21,20	18,00	15,20	12,80	11,00	9,30	8,10	7,00	6,10	5,45	4,95	4,50
V ₃	25,00	21,25	18,05	15,25	12,85	11,00	9,35	8,05	7,00	6,10	5,45	4,95	4,50
V _A (ml)	25,00	21,25	18,05	15,25	12,85	11,00	9,35	8,05	7,00	6,10	5,45	4,95	4,50

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,98	2,00	2,94	3,65	4,30	4,90	5,30	5,60	5,90	6,00	6,20	6,25
V ₂	0	0,96	1,98	2,98	3,60	4,35	4,85	5,30	5,60	5,90	6,08	6,20	6,25
V ₃	0	1,00	2,00	2,90	3,60	4,25	4,80	5,30	5,60	5,90	6,04	6,20	6,25
V _B (ml)	0	0,98	2,00	2,94	3,62	4,30	4,85	5,30	5,60	5,90	6,04	6,20	6,25

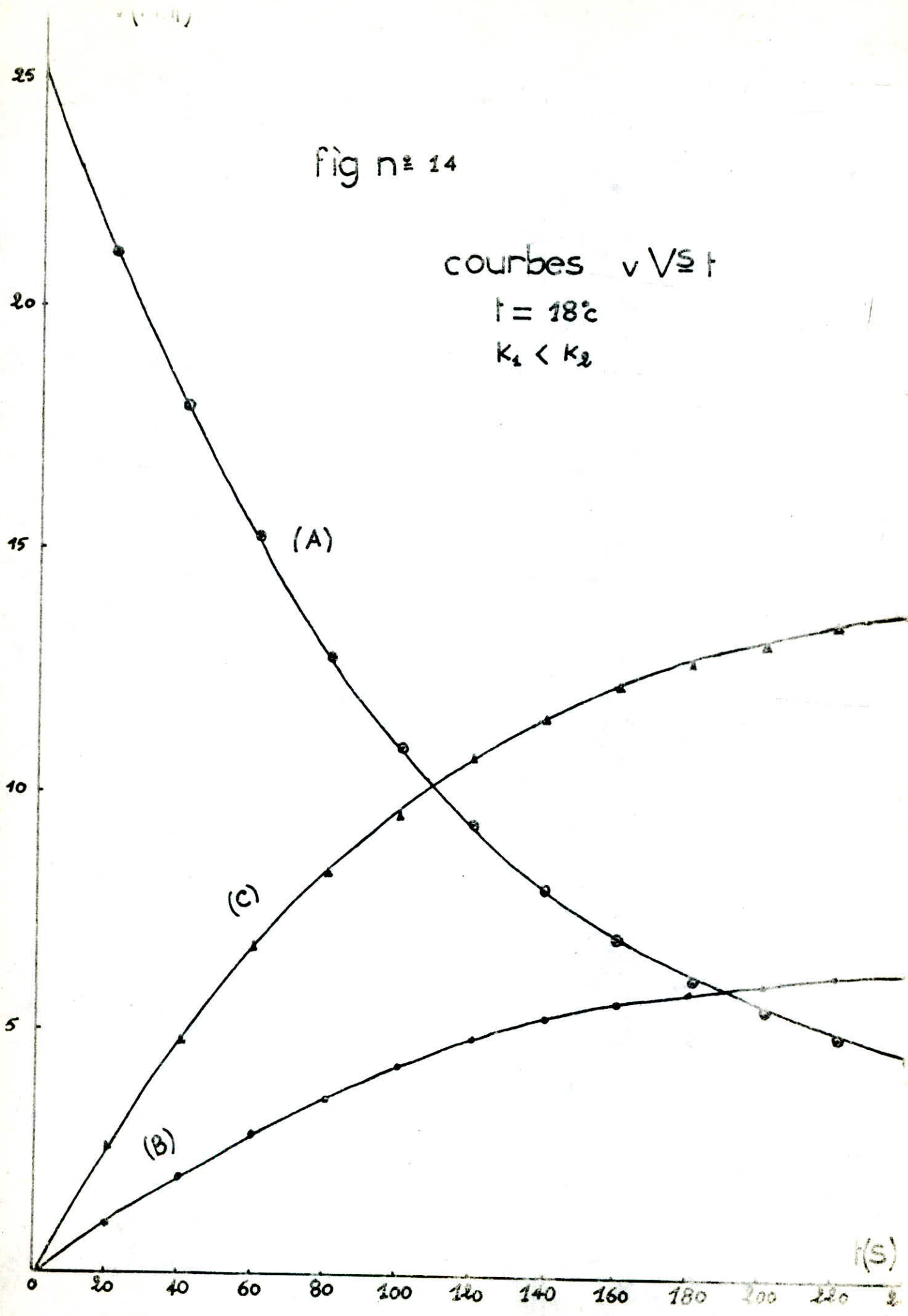
t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	2,70	4,85	6,80	8,30	9,65	10,75	11,55	12,25	12,85	13,20	13,60	13,90
V ₂	0	2,65	4,90	6,85	8,30	9,60	10,75	11,55	12,25	12,85	13,20	13,60	13,90
V ₃	0	2,60	4,80	6,75	8,30	9,55	10,75	11,55	12,25	12,85	13,20	13,60	13,90
V _C (ml)	0	2,65	4,85	6,80	8,30	9,60	10,75	11,55	12,25	12,85	13,20	13,60	13,90

fig n° 14

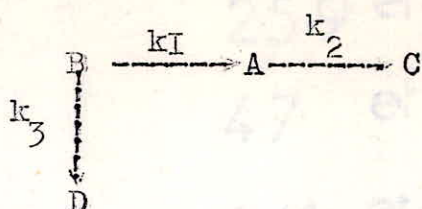
courbes $v \sqrt{S} t$

$t = 18^\circ\text{C}$

$K_1 < K_2$



h) modèle cinétique d'une réaction de type
suivant



MODE OPERATOIRE :

- 1 - vérifier si l'installation est conforme au schéma n°8 .
- 2 - verser de l'eau dans la burette n°1 et prendre soins d'éliminer toutes les bulles d'air apparaissant dans le tuyau (laisser ouvert le robinet n°2).
- 3 - avant de commencer l'expérience, tâcher de bien vouloir mettre la position initiale de la surface d'eau dans les burettes n°10 , 14 .
- 4 - fermer le robinet n°2, ensuite remplir la burette n°1 jusqu'à graduation (zéro) de l'échelle.
- 5 - reprendre les opérations n°6 , 7 du modèle cinétique (a) (constater l'écoulement dans la burette n°6)
- 6 - tracer l'allure de toutes les courbes $v = f(t)$.

table n° 27

Variation de volume en fonction du temps

t(s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
V ₁	25,00	21,50	18,60	16,00	14,40	12,00	10,30	8,95	7,76	6,70	5,75	5,04	4,46
V ₂	25,00	21,45	18,55	16,08	14,45	11,90	10,35	8,90	7,76	6,70	5,75	5,04	4,46
V ₃	25,00	21,40	18,52	16,04	14,35	11,93	10,25	9,00	7,76	6,70	5,75	5,04	4,46
V _B (ml)	25,00	21,45	18,56	16,04	14,40	11,94	10,30	8,96	7,76	6,70	5,75	5,04	4,46

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	4,50	6,60	7,00	6,90	6,00	5,40	4,25	3,85	3,35	2,75	2,40	1,80
V ₂	0	4,00	6,55	7,00	6,80	6,00	5,30	4,30	3,85	3,35	2,75	2,40	1,80
V ₃	0	5,00	6,50	7,02	6,70	6,00	5,35	4,20	3,85	3,35	2,75	2,40	1,80
V _A (ml)	0	4,45	6,55	7,00	6,80	6,00	5,35	4,25	3,85	3,35	2,75	2,40	1,80

table n° 28

evolution de volume en fonction du temps

t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	0,30	1,20	2,30	3,40	4,50	5,45	6,30	6,95	7,60	8,20	8,70	9,00
V ₂	0	0,25	1,15	2,20	3,30	4,40	5,40	6,10	6,95	7,60	8,20	8,70	9,00
V ₃	0	0,20	1,25	2,25	3,35	4,45	5,35	6,20	6,95	7,60	8,20	8,70	9,00
V _c (ml)	0	0,25	1,20	2,25	3,35	4,45	5,40	6,20	6,95	7,60	8,20	8,70	9,00

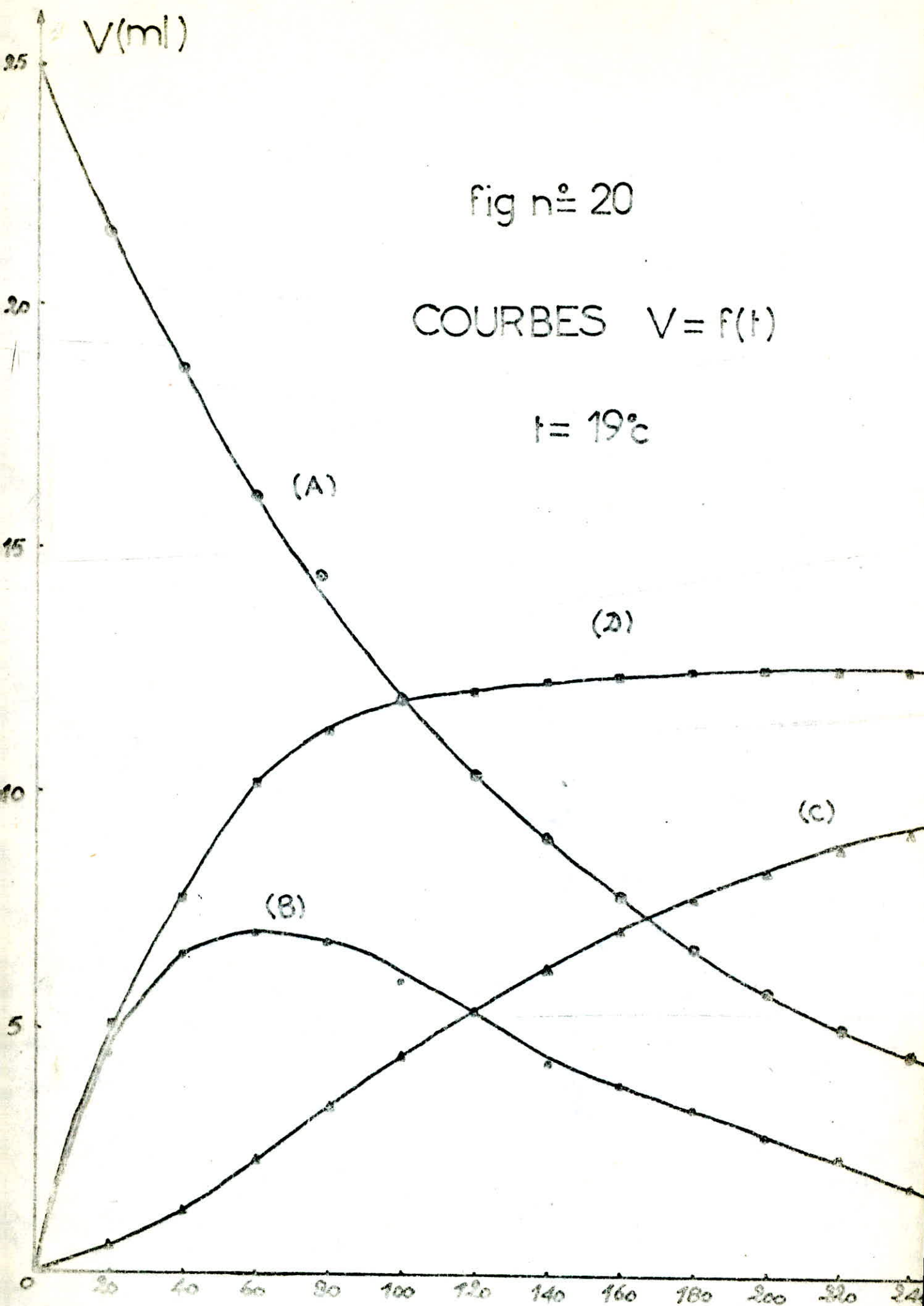
t(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
V ₁	0	5,00	8,20	10,20	11,20	11,80	12,00	12,20	12,30	12,40	12,40	12,40	12,40
V ₂	0	4,90	8,25	10,10	11,25	11,85	12,00	12,20	12,30	12,40	12,40	12,40	12,40
V ₃	0	4,95	8,15	10,15	11,15	11,75	12,00	12,20	12,30	12,40	12,40	12,40	12,40
V _D (ml)	0	4,95	8,20	10,15	11,20	11,80	12,00	12,20	12,30	12,40	12,40	12,40	12,40

V(ml)

fig n° 20

COURBES $V = f(t)$

$t = 19^{\circ}\text{C}$



CONCLUSION GENERALE

quoiqu' une meilleur generalisation soit obtenu par l'etude des modèles cinétiques des réactions elementaires irreversibles d'ordre n . nous avons optés pour les modèles cinétiques d'ordre $n = 1$. ce choix, nous est imposé par une plus grande facilité d'etude pour les autres modèles cinétiques, qui vont être cependant, engendrés par simple connection entre les systèmes en utilisant bien entendu des tubes capillaires. pour pouvoir réaliser soit disant les autres modèles cinétiques qui ont pour ordres differents de l'unité ($n \neq 1$). il va falloir travailler avec les differents objets autres que des burettes. par exemple ceux qui possede les formes suivantes (trapezoidales, sphériques, coniques ... etc) notre installation pourra nous être utilis dans le domaine de l'instruction de la cinétique chimique .

en ce qui concerne les résultats expérimentaux obtenus et regroupés dans cet ouvrage, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- a) l'ecoulement à travers un tube capillaire est toujours laminaire.
- b) notre simulation sera de plus en plus meilleur, par l'usage des capillaires ayant des sections très étroites (dianètre strictement inferieur à l'unité).
- c) pour avoir l'equilibre dans les burettes, c'est par l'usage des capillaires ayant des grandes sections que nous avons eu la possibilité de le réaliser.
(cette opération ne prendra pas beaucoup de temps)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - W : WATZ , le principe de la similitude en genie chinique .
- 2 - V : KAFAROV, méthodes cybernétiques et technologie chinique .
- 3 - A : LENCASTRE, manuel d'hydraulique generale .
- 4 - JEROMEI,ROSENBERG : SERIE SCHAUM, hydraulique generale .
- 5 - BARNARD BARIOU : technologie,introduction au genie chinique .
- 6 - P.MORLAES,J-C MORLAES : cinétique chinique .

