

50376  
1986  
155-2

50376  
1986  
155-2

T H E S E

présentée par

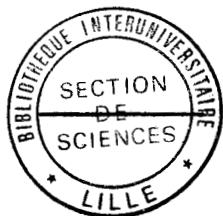
N° d'ordre 400

MARIE-NOELLE LECLERCQ-PERLAT

pour obtenir le titre de

DOCTEUR-INGENIEUR EN CHIMIE

à L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE I



ETUDE DU NETTOYAGE DES ECHANGEURS A PLAQUES  
DESTINES A LA PASTEURISATION ET A LA STERILISATION  
A ULTRA-HAUTE-TEMPERATURE DU LAIT

TOME II : ANNEXES

---

Soutenu le 2 Octobre 1986 devant la Commission d'Examen

JURY

M. BONNELLE : Président et Rapporteur  
M. LALANDE : Rapporteur  
M. BOUSSER : Examineur  
M. GRIMBLLOT : Examineur

**T O M E II**

**ANNEXE I**

**COURBES EXPERIMENTALES DE NETTOYAGE**

- a) Cas du pasteurisateur
- b) Cas du stérilisateur

**ANNEXE II**

**"LISTING" DU PROGRAMME DE CALCUL DES CONSTANTES  
DE VITESSE A PARTIR DES DONNEES EXPERIMENTALES**

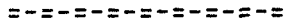
**ANNEXE 3**

**VALIDATION DU MODELE MATHEMATIQUE SUPPOSE :  
COURBES DONNANT LES VITESSES CALCULEES  
EN FONCTION DES VITESSES EXPERIMENTALES**

**ANNEXE IV**

**COMPARAISON DES COURBES EXPERIMENTALE ET SIMULEE**

**ANNEXE I**



**COURBES EXPERIMENTALES DE NETTOYAGE**

## ANNEXE I

Nous présentons dans cette annexe les courbes expérimentales obtenues à partir des essais de nettoyage réalisés sur les plaques.

### a) Cas du pasteurisateur :

Pour chaque essai, nous traçons les courbes suivantes en fonction du temps :

- vitesse de nettoyage ( symbolisée par  $\circ$  ) sur le graphe supérieur
- taux de colmatage ( symbolisé par  $\nabla$  ) sur le graphe supérieur
- masse cumulée de dépôt ( symbolisée par  $-$  ) sur le graphe supérieur
  
- logarithme de la vitesse ( symbolisé par  $\square$  ) sur le graphe inférieur
- logarithme du taux de colmatage ( symbolisé par  $\triangle$  ) sur le graphe inférieur

Les symboles utilisés sont les suivants :

- Q : débit de la solution de nettoyage ( $l.h^{-1}$ )
- $\theta$  : température moyenne de la solution ( $^{\circ}C$ )
- $M_{T,d}$  : masse initiale de dépôt à nettoyer (g)
- $C_{OH,B}$  : concentration de la solution alcaline (% en poids)
  
- T+,T-, "points" haut et bas de température (95 et 70  $^{\circ}C$ )
- V+,V-, "points" haut et bas de débit (600 et 300  $l.h^{-1}$ )
- C+,C-, "points" haut et bas de concentration (4 et 0,5 % en poids)
- R , "point" de référence (400  $l.h^{-1}$ , 2 % en poids, 75  $^{\circ}C$ )
- $k_1$  , constante de vitesse d'ordre 1 du modèle empirique de GALLOT-LAVALLEE (1982)
- $t_1$  , temps pour lequel la vitesse de nettoyage est maximum
- $t_2$  , temps à partir duquel la pente du logarithme de la vitesse est exponentielle
- C , section de chauffage
- D , section de chambrage

La numérotation des essais correspond à celle des tableaux 16,17A et 17B

b) Cas du stérilisateur :

α) cas des essais E01 à E05 et F12 à F16

α-1) courbes donnant la vitesse d'enlèvement des protéines par la solution alcaline :

Sur chaque graphe, nous présentons la vitesse d'enlèvement des protéines par la solution de soude et la masse cumulée de protéines enlevées par cette solution.

α-2) courbes donnant la vitesse d'enlèvement des minéraux par la solution acide

Sur chaque graphe, nous présentons la vitesse d'enlèvement des minéraux par la solution d'acide nitrique et la masse cumulée de minéraux enlevés par la solution acide.

β) cas des essais E06 à E11 et F17 à F22

β-1) cas de la solution alcaline :

Nous présentons sur chaque graphe :

- la vitesse de nettoyage ( ◯ ) sur le tracé supérieur
- la masse cumulée de dépôt enlevé ( ■ ) "
- le taux de colmatage ( ▼ ) "
  
- le logarithme de la vitesse ( □ ) sur le tracé inférieur
- le logarithme du taux de colmatage ( ▲ ) "

β-2) cas de la solution acide :

Nous présentons pour chaque essai :

- le taux de colmatage ( ▼ )
- le logarithme du taux de colmatage ( ▲ )

Les symboles utilisés sont les suivants :

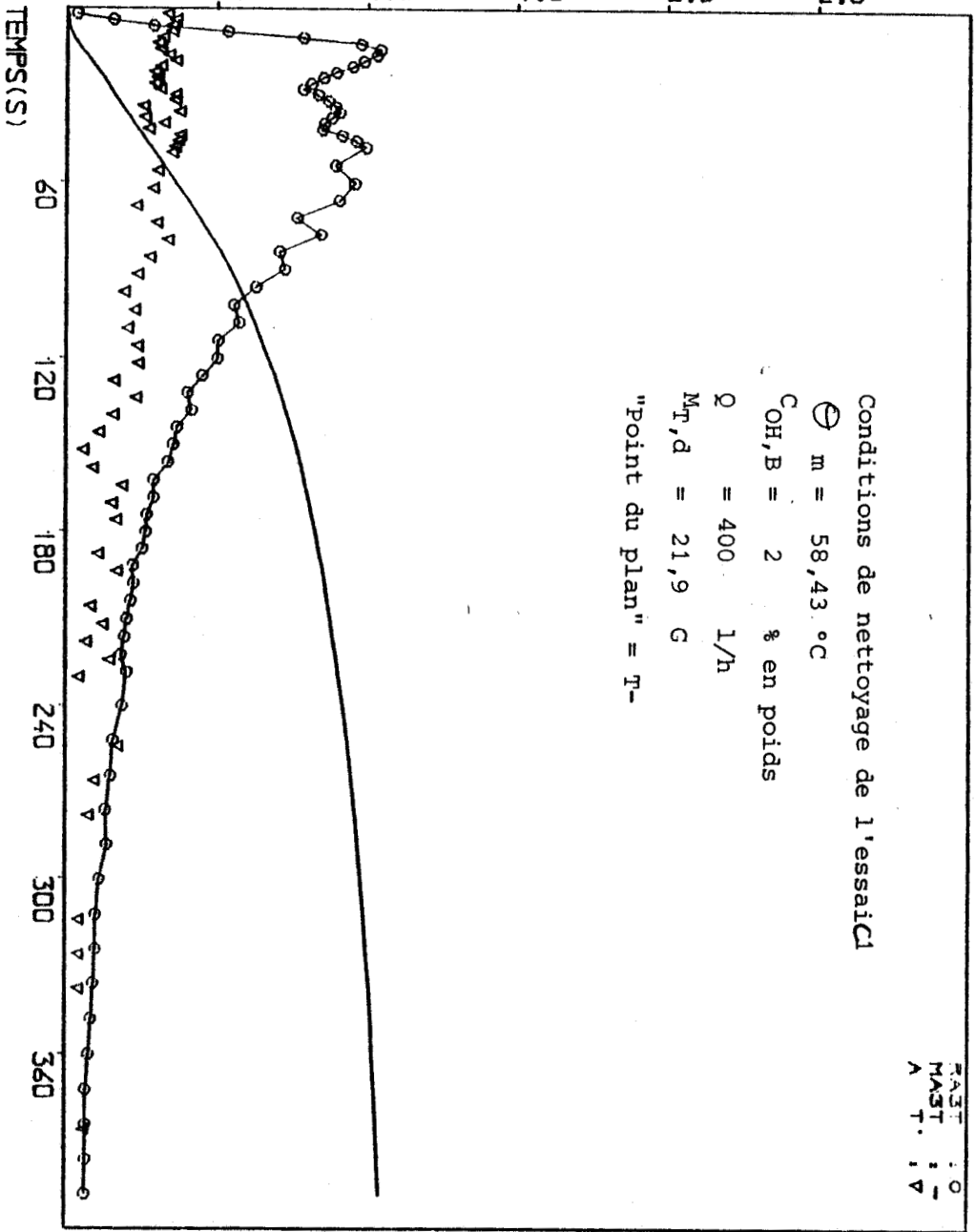
- Q : débit de la solution de nettoyage (l.h<sup>-1</sup>)
- θ : température moyenne de la solution ( °C)
- C : concentration des solution (% en poids)
- E,F : section de préchauffage, section de chauffage
- T+ : "point " haut de température ( 140 °C)
- V+,V-: "points" haut et bas de débit (600 et 300 l.h<sup>-1</sup>)
- C+,C-: "points" haut et bas de concentration (4 et 0,5 % en poids)
- R : "point" de référence (400 l.h<sup>-1</sup>, 2 % en poids, 90 °C)
- S-A : nettoyage alcalin suivi du nettoyage acide
- A-S : nettoyage acide suivi du nettoyage alcalin
- S : solution d'hydroxyde de sodium
- A : solution d'acide nitrique

La numérotation des essais correspond à celle des tableaux 4 et 5.

a) CAS DU PASTEURISATEUR

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9  
 MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
 50 100 150 200 250 300 350

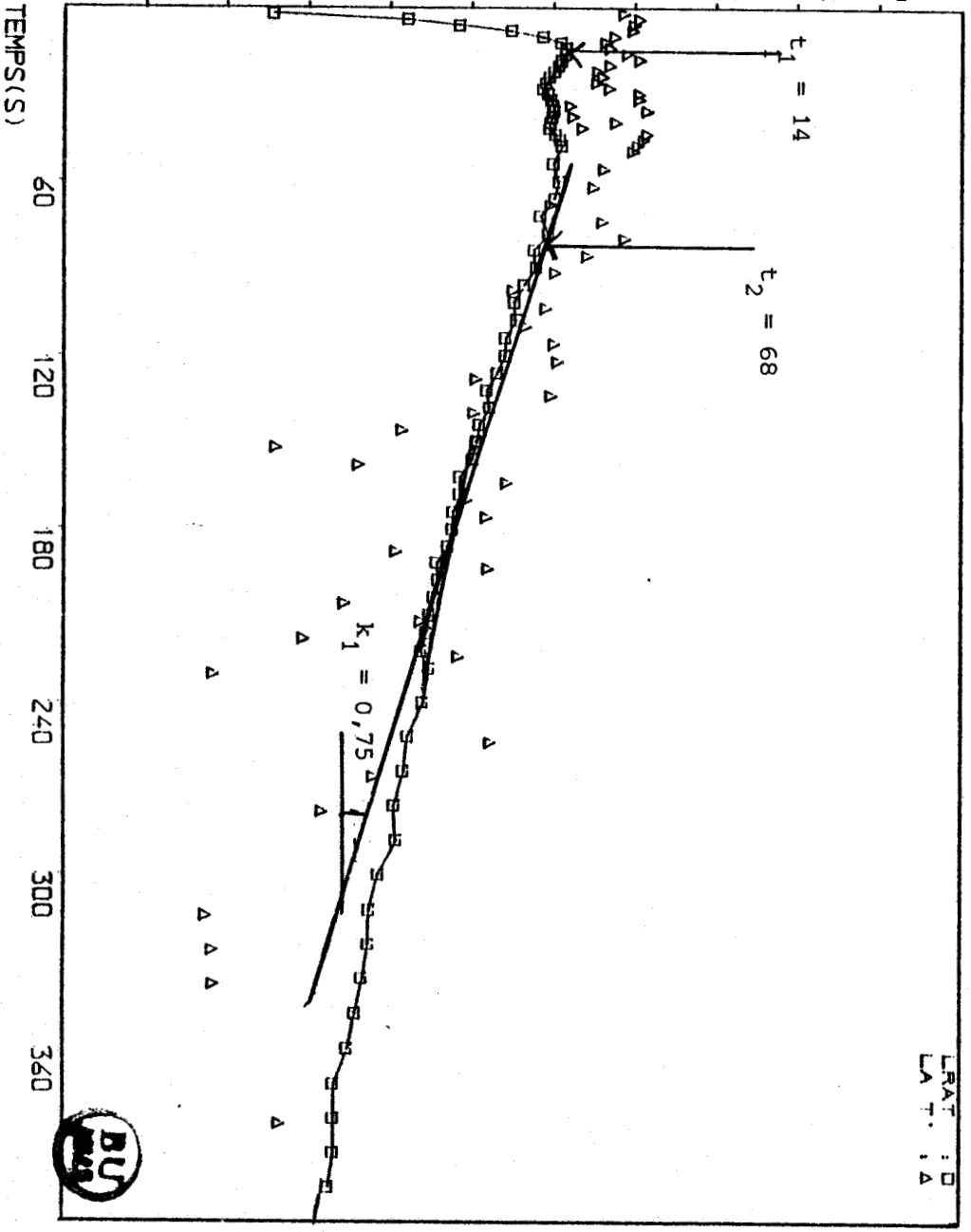
VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)  
 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

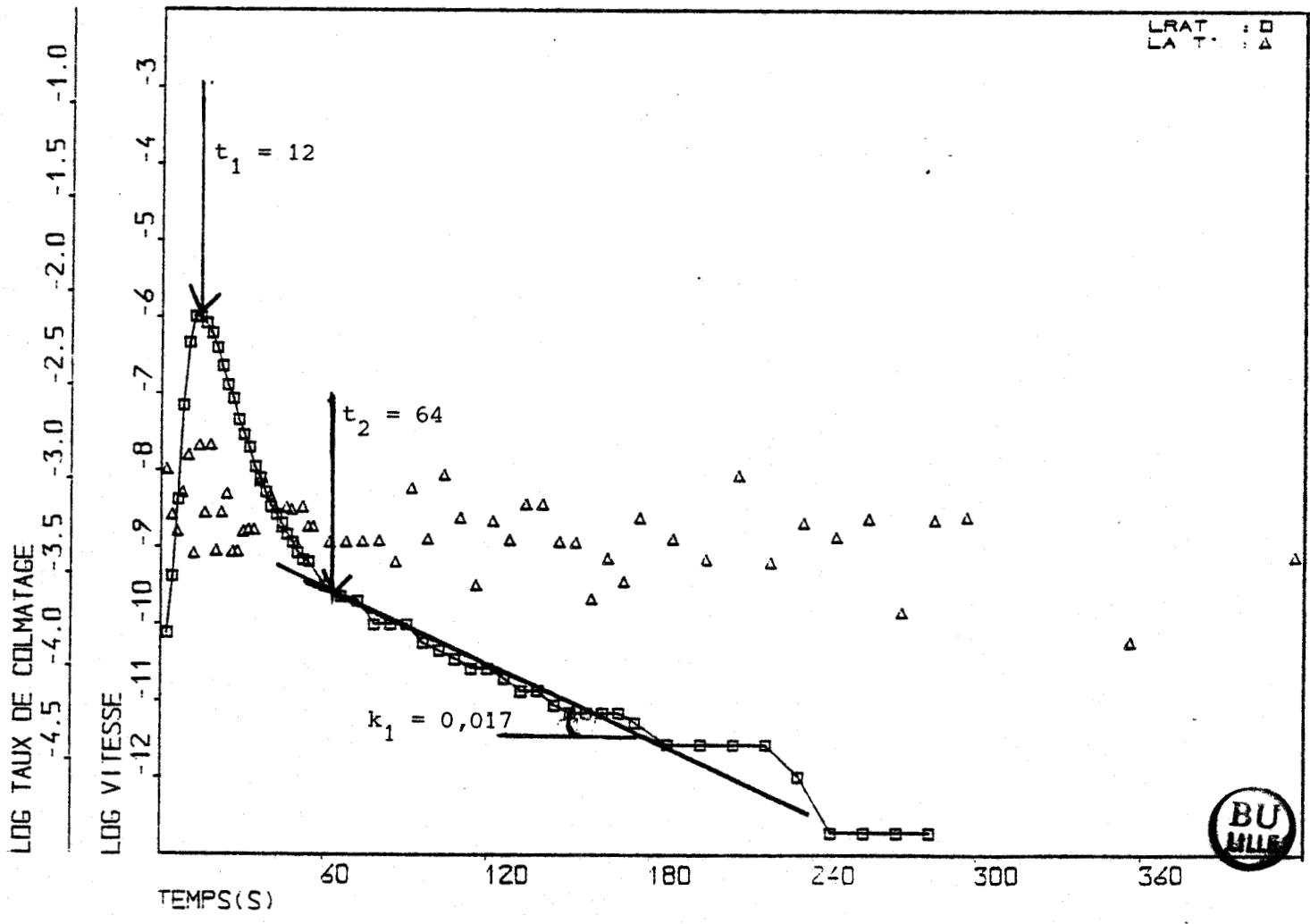
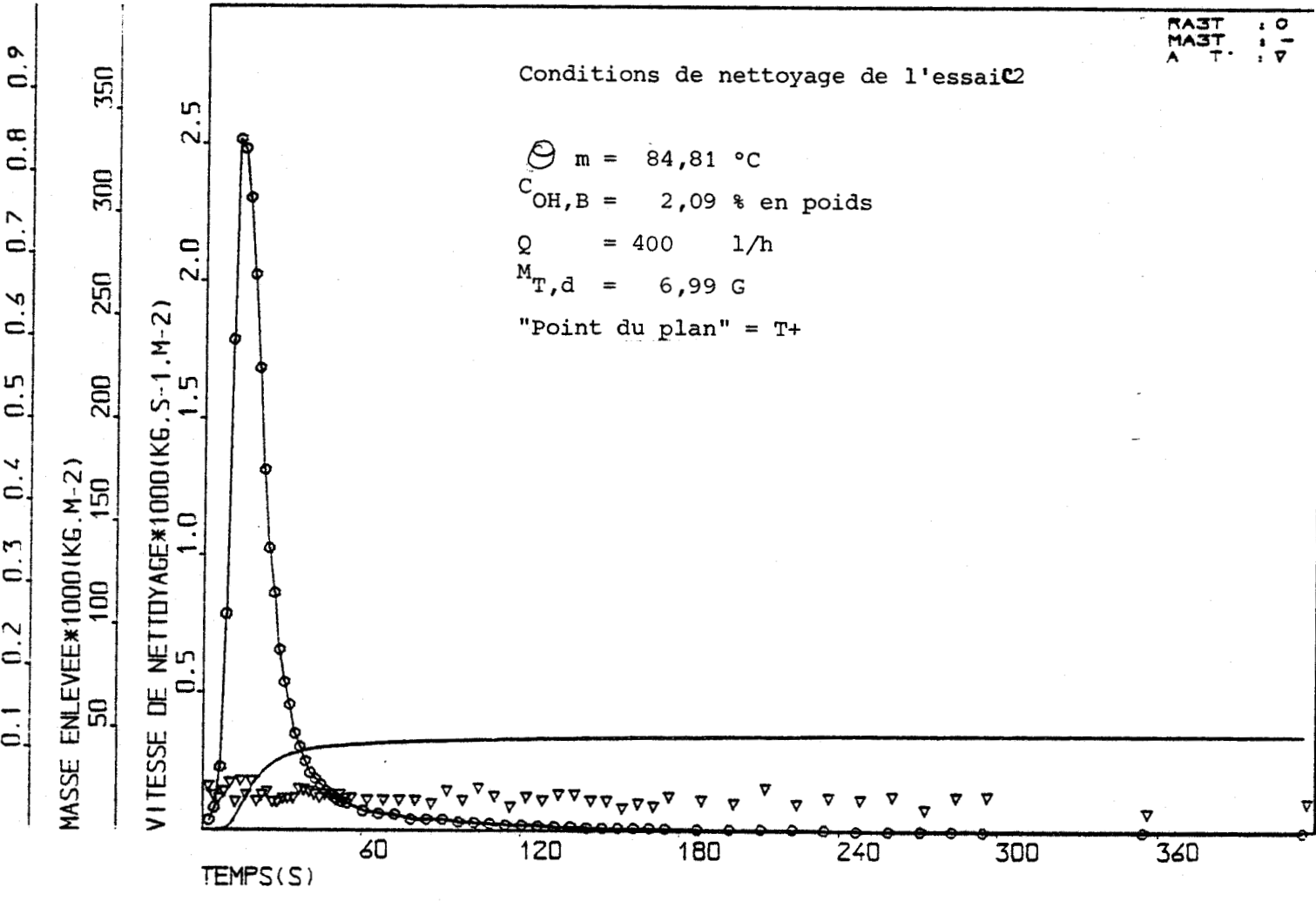


Conditions de nettoyage de l'essaiCl  
 $\ominus$  m = 58,43 °C  
 C<sub>OH,B</sub> = 2 % en poids  
 Q̇ = 400 l/h  
 M<sub>T,d</sub> = 21,9 G  
 "Point du plan" = T-

LOG TAUX DE COLMATAGE  
 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE  
 -12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3



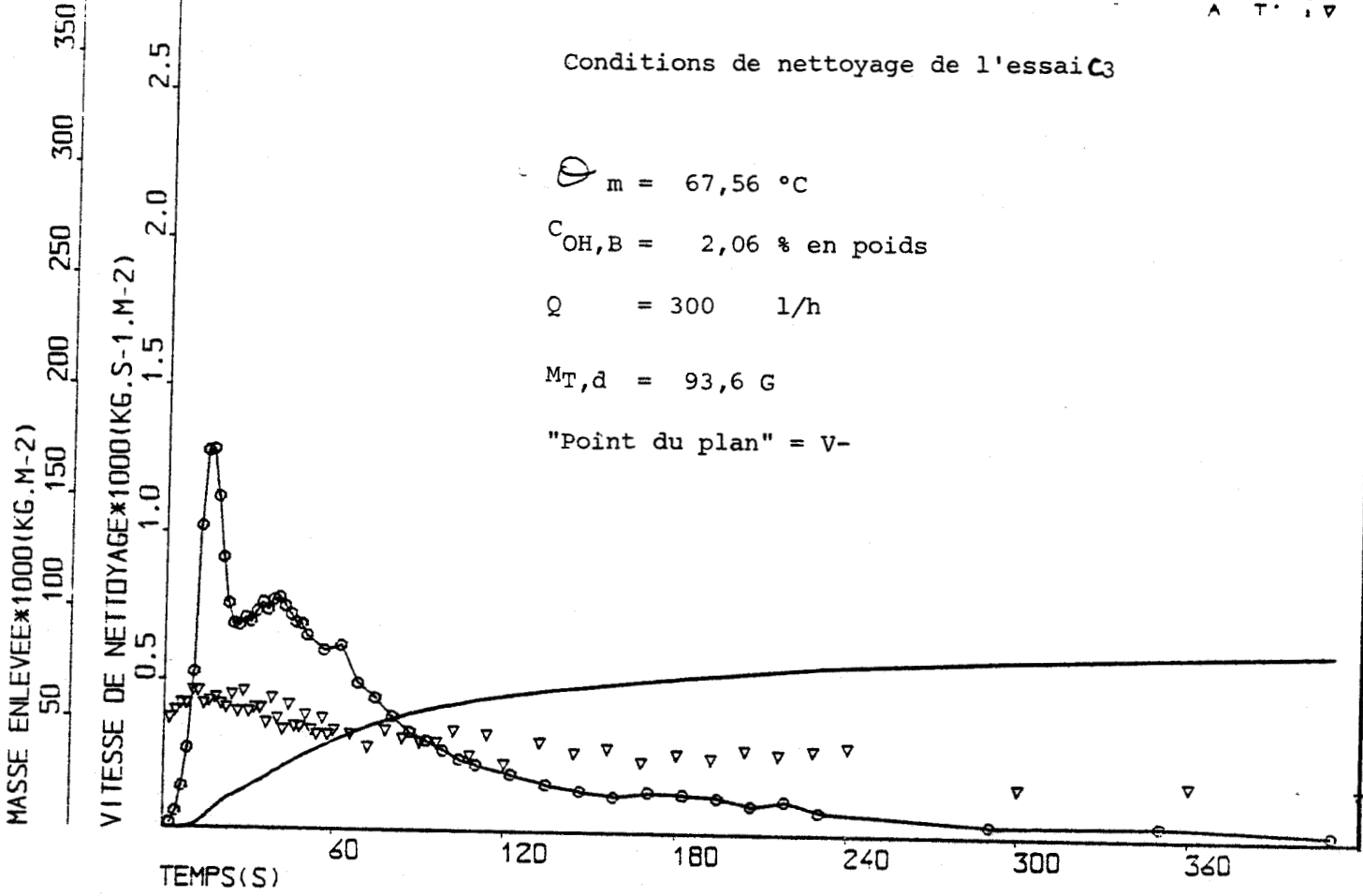




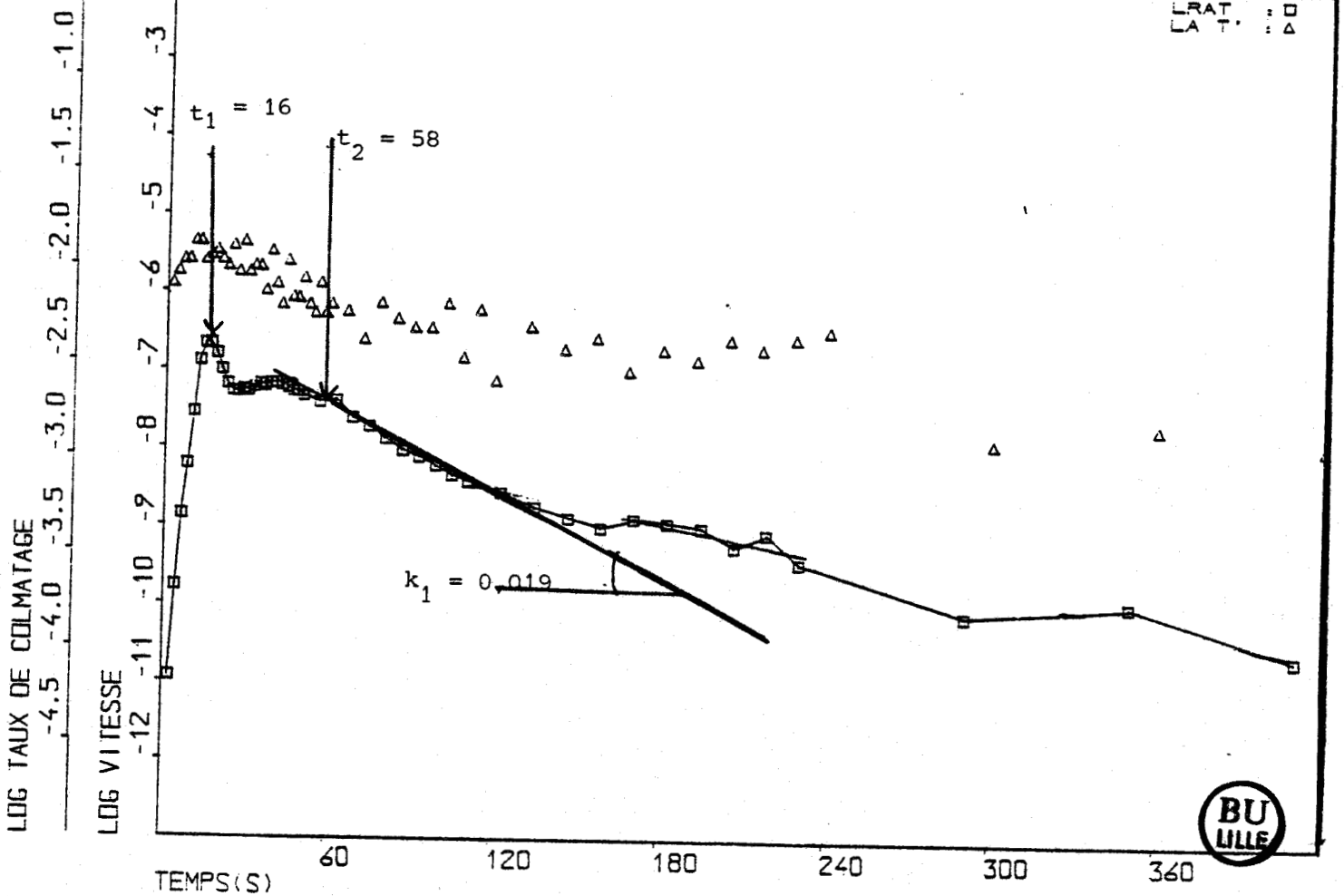
RAST : 0  
 MAST : -  
 A T : ▽

Conditions de nettoyage de l'essai C3

$\varnothing_m = 67,56 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2,06 \text{ \% en poids}$   
 $Q = 300 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 93,6 \text{ G}$   
 "Point du plan" = V-



LRAT : □  
 LA T : △

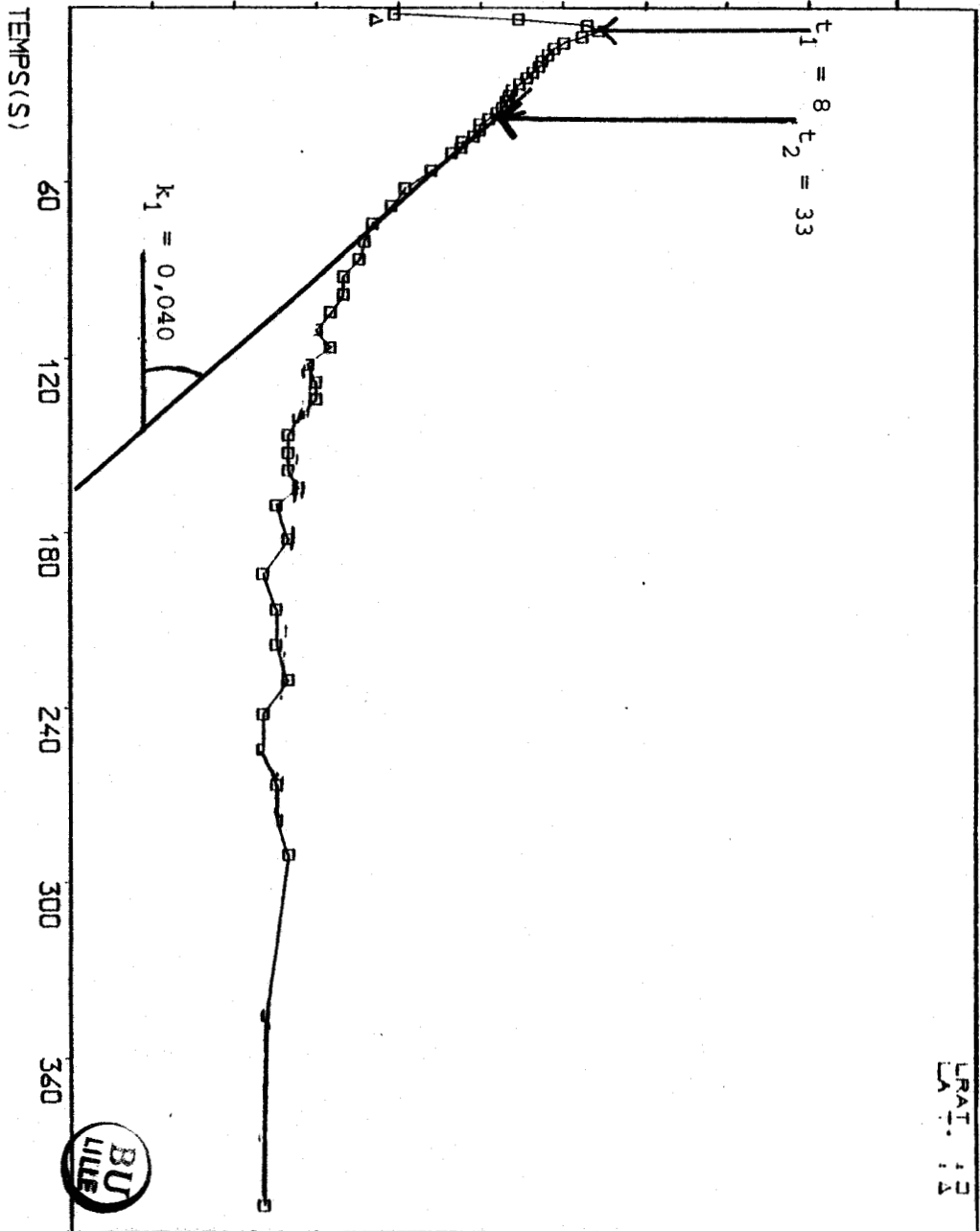


LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

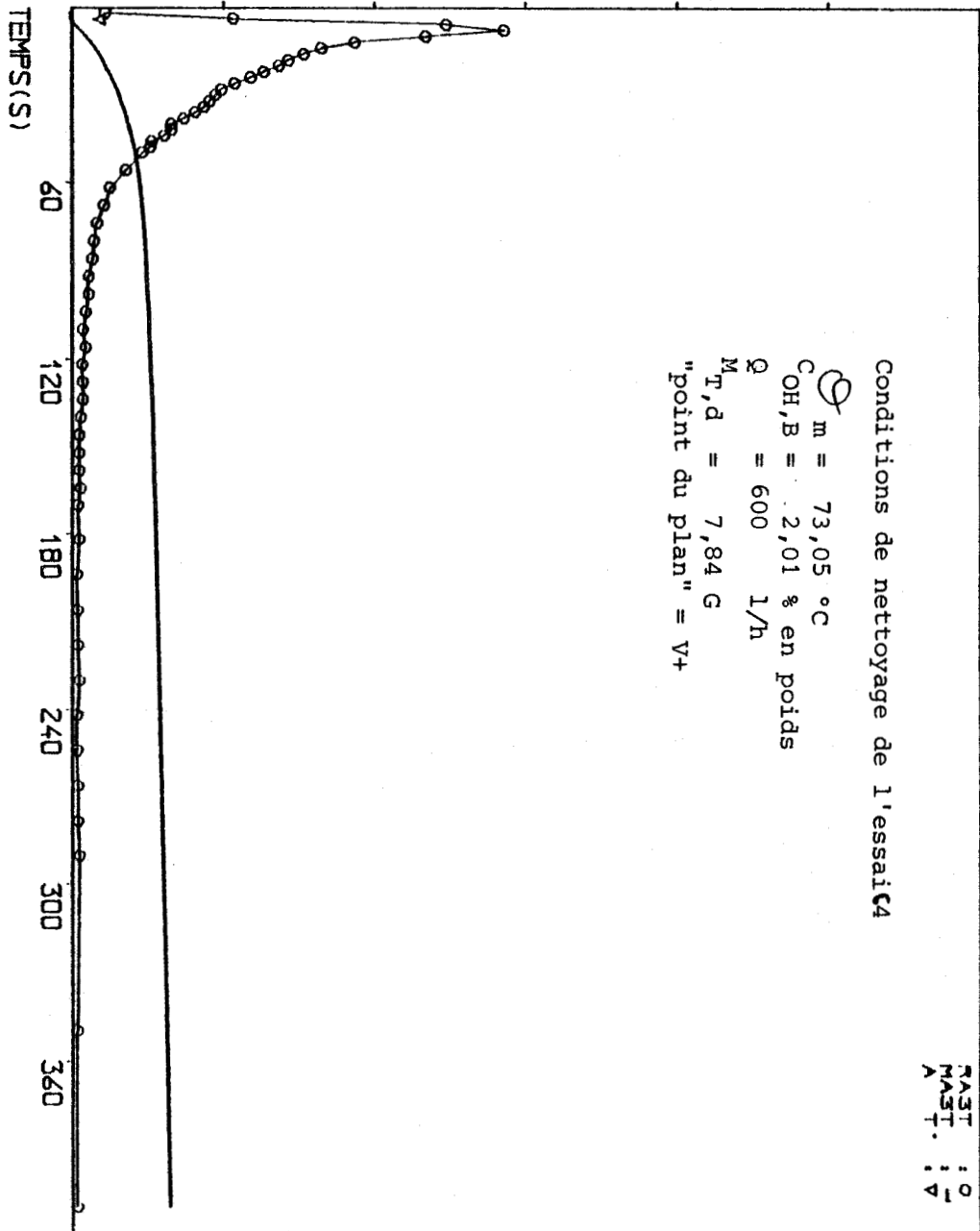


MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

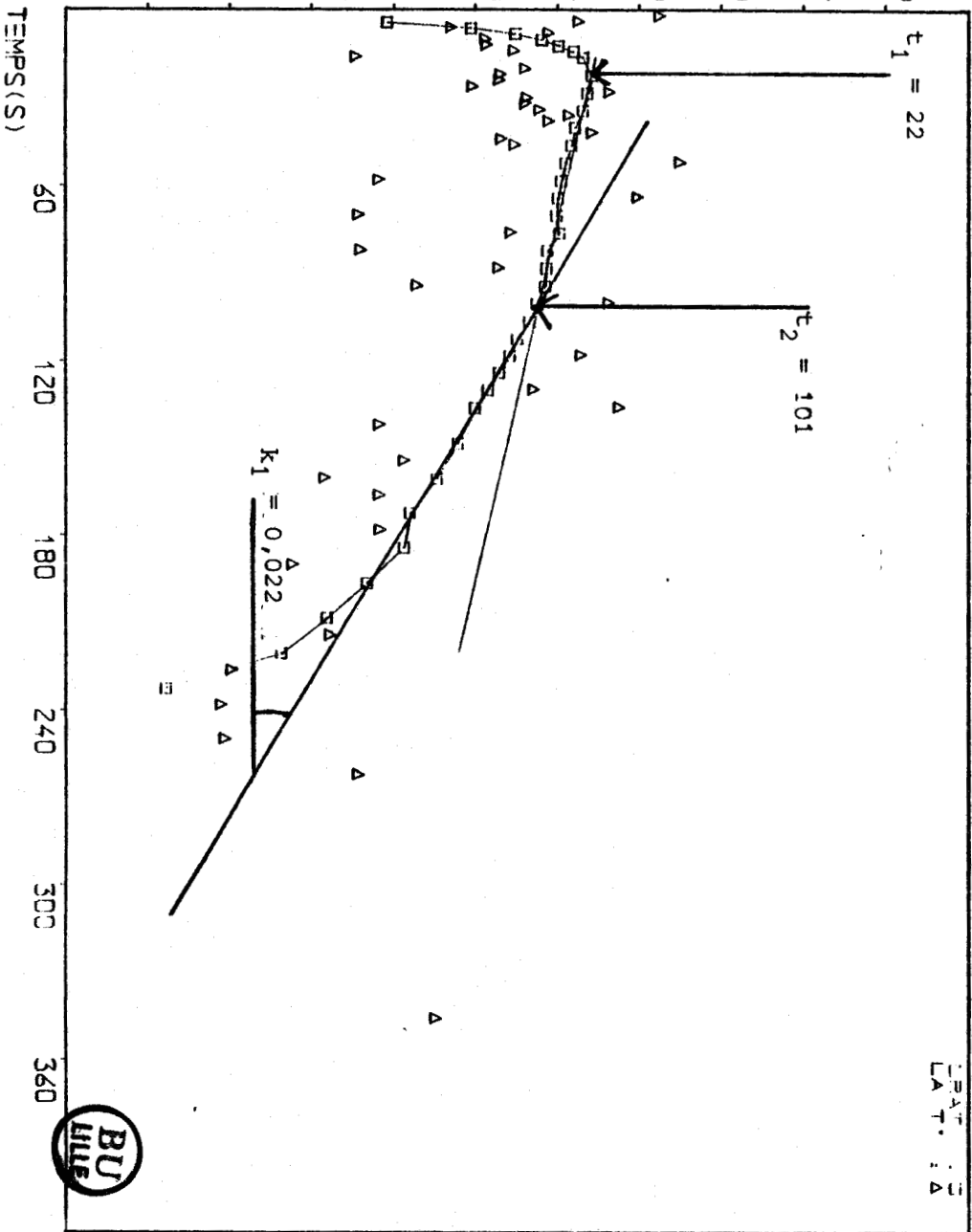


LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

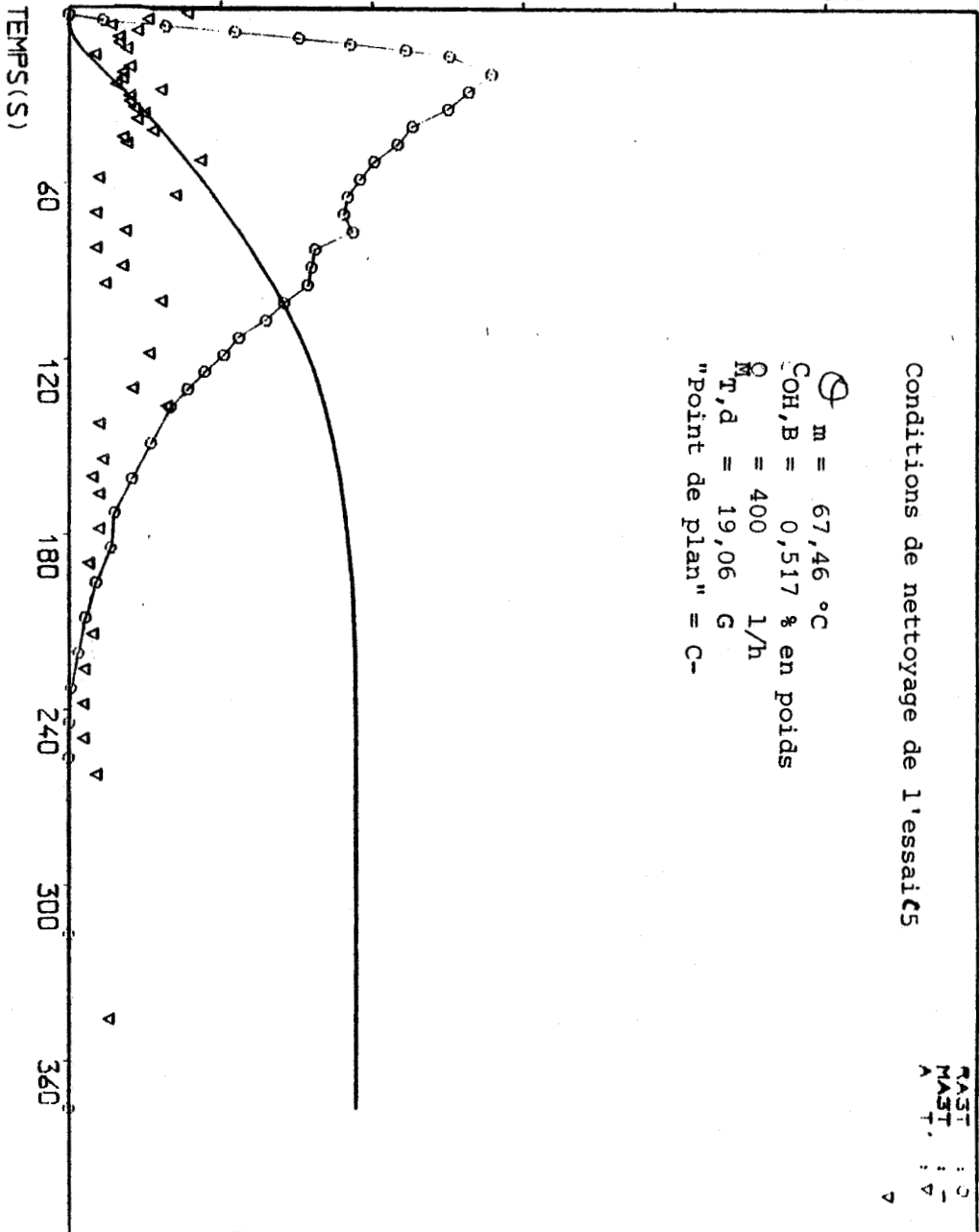


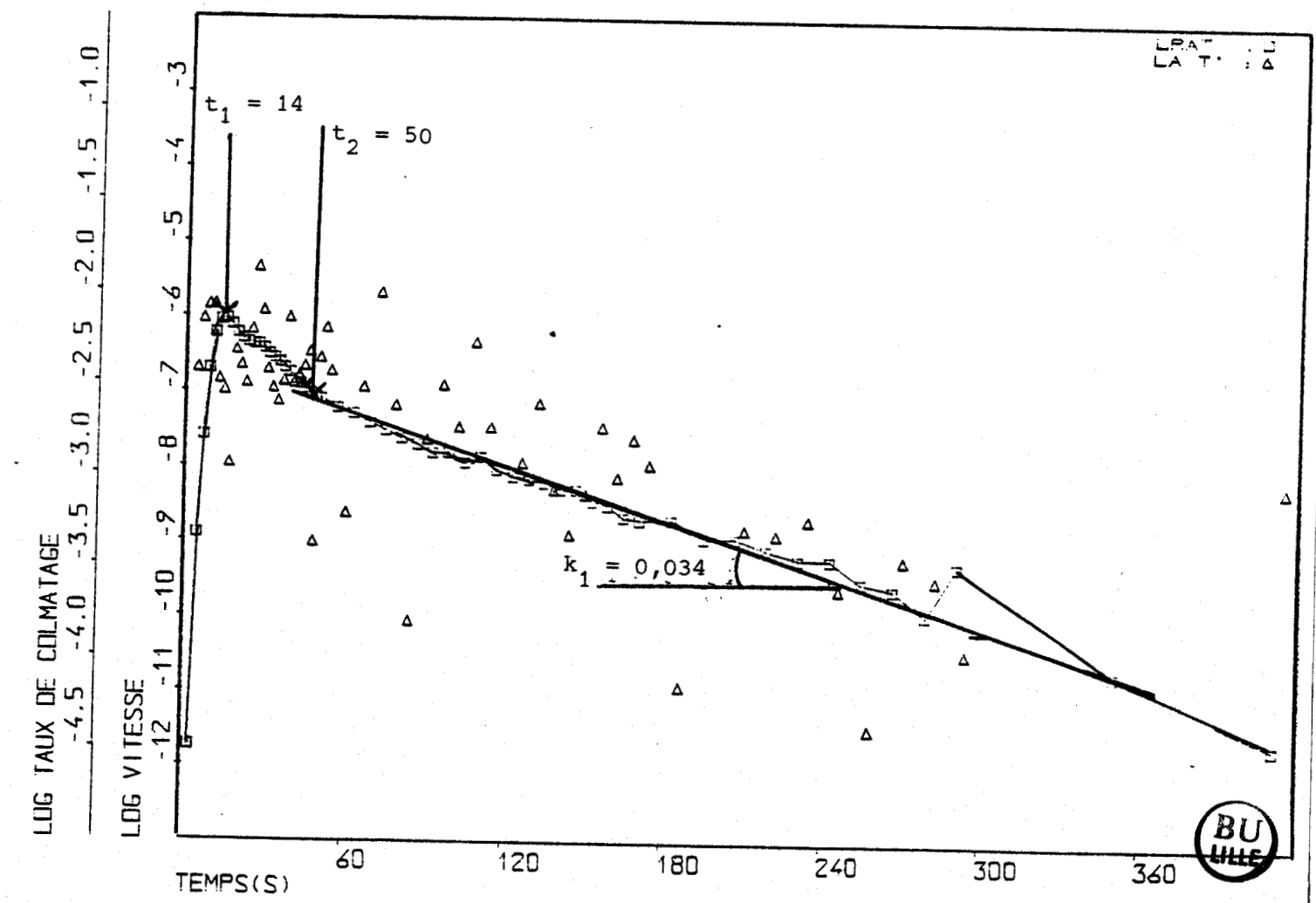
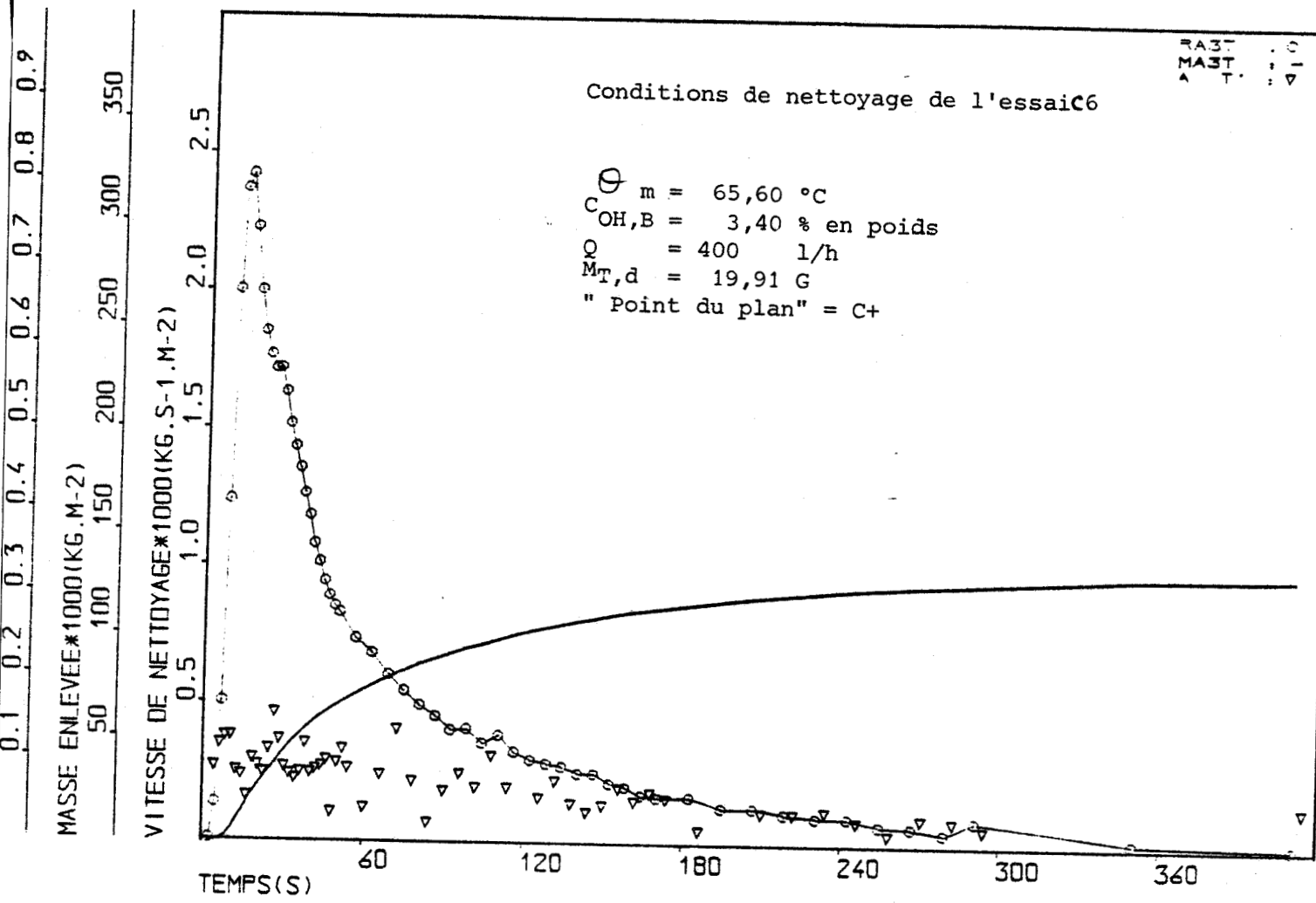
MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

0.5 1.0 1.5 2.0 2.5





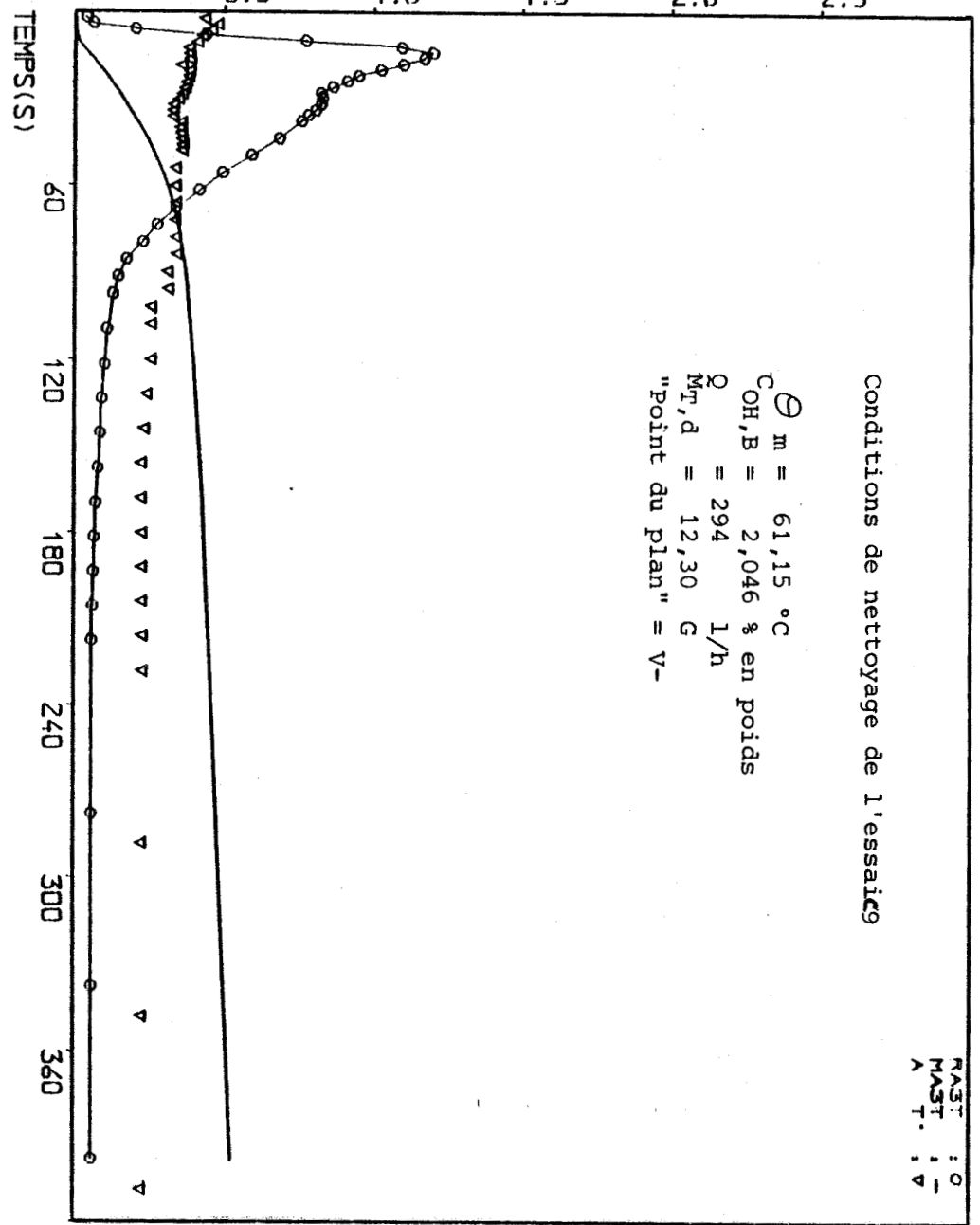
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

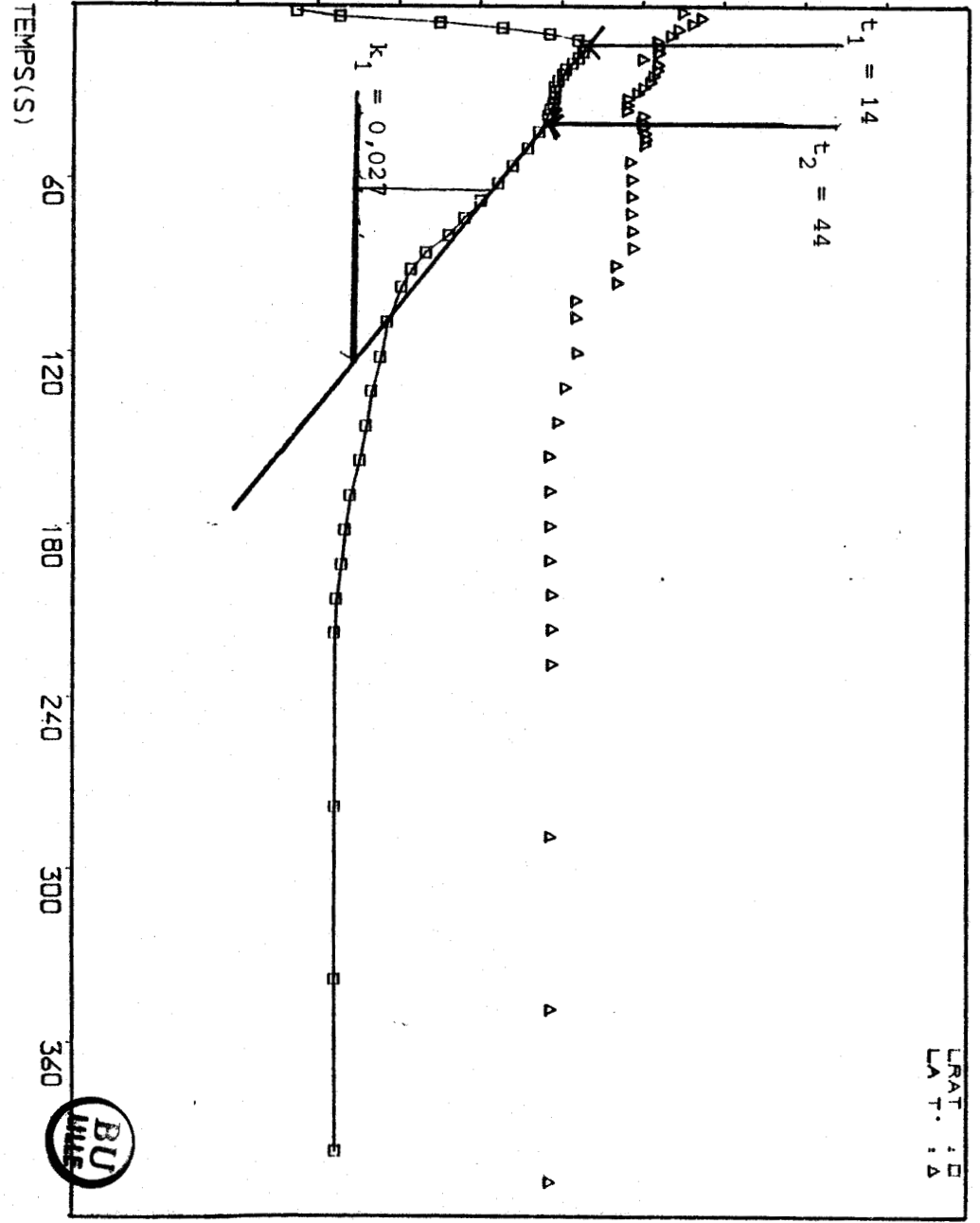


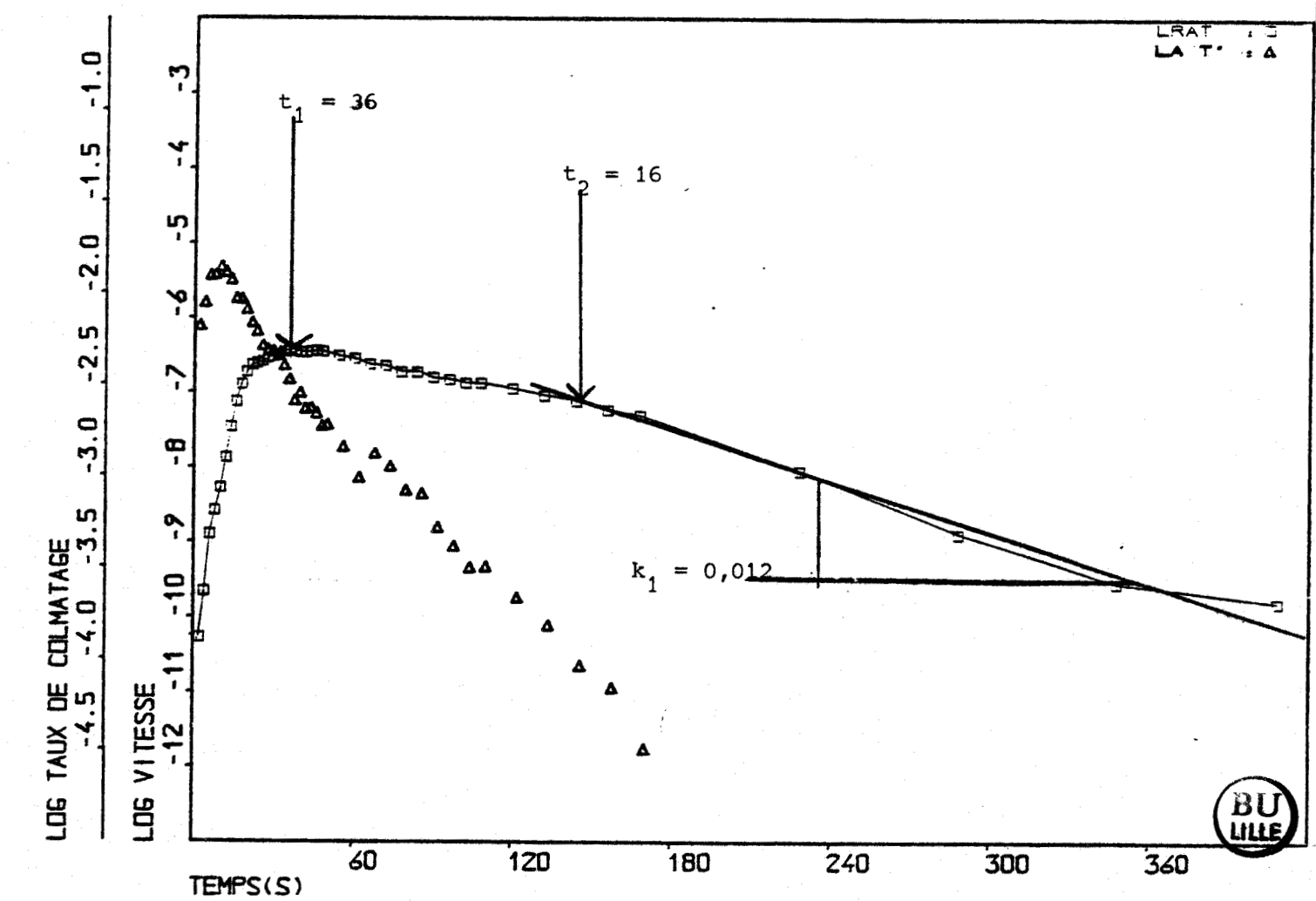
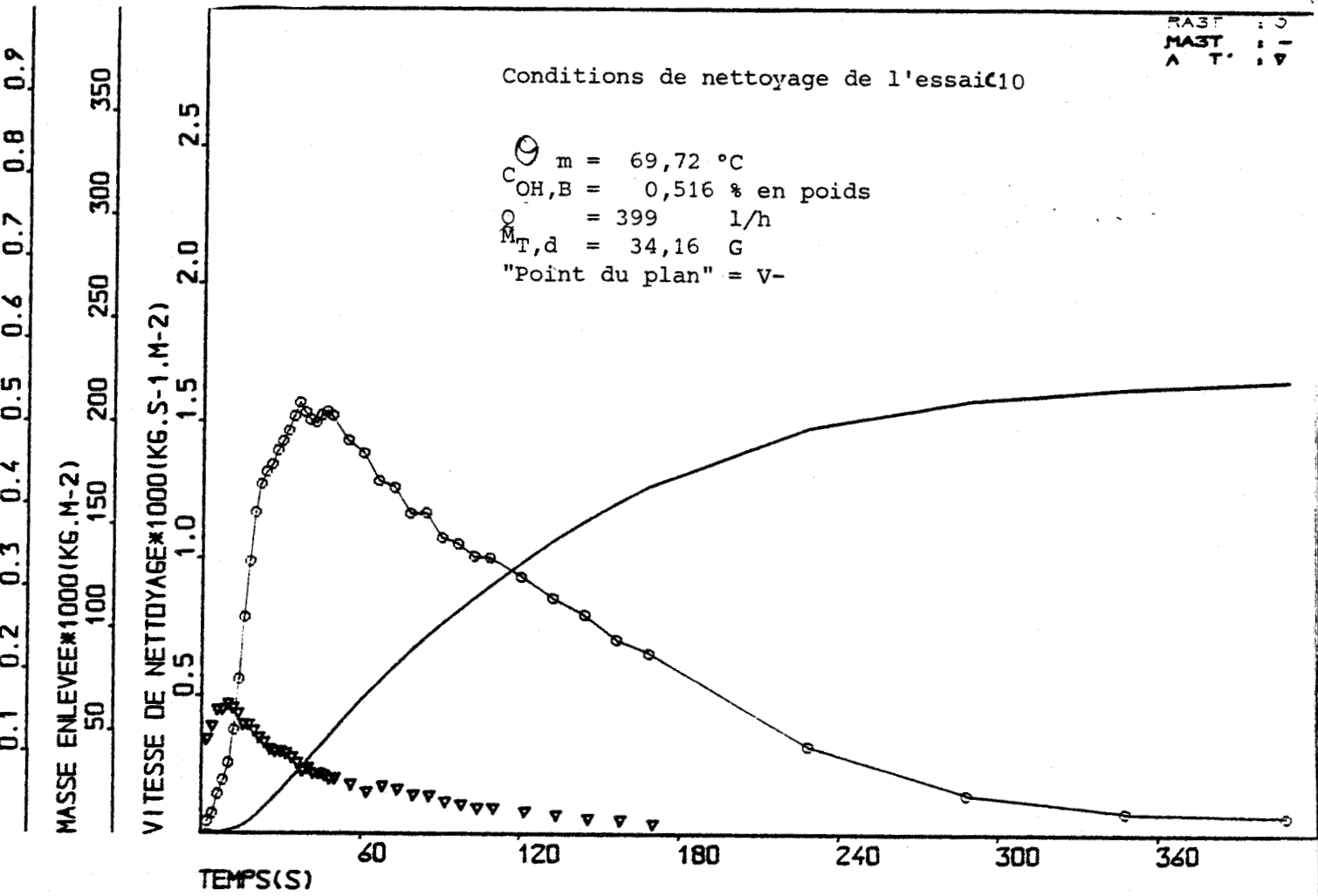
LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3



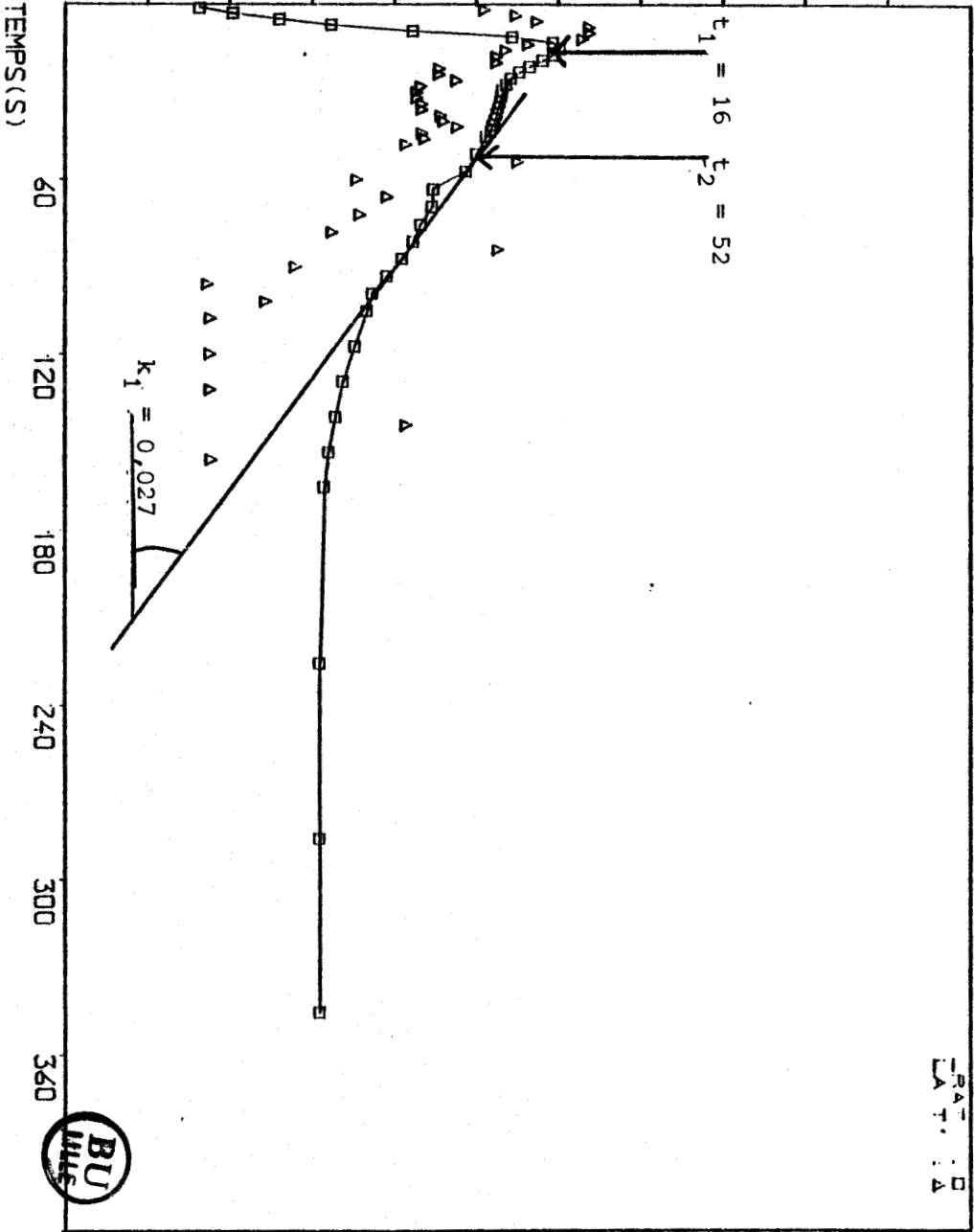


LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

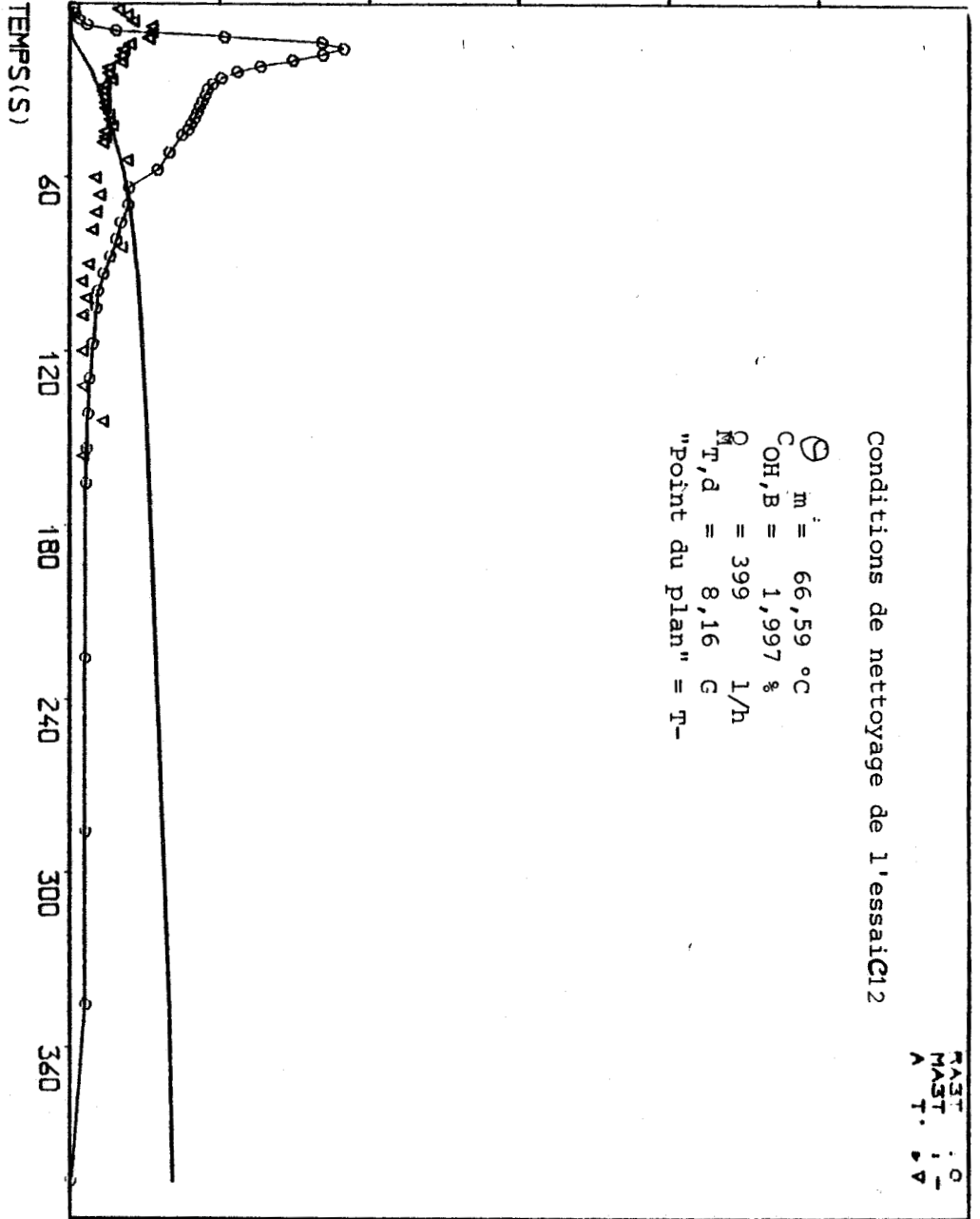


MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

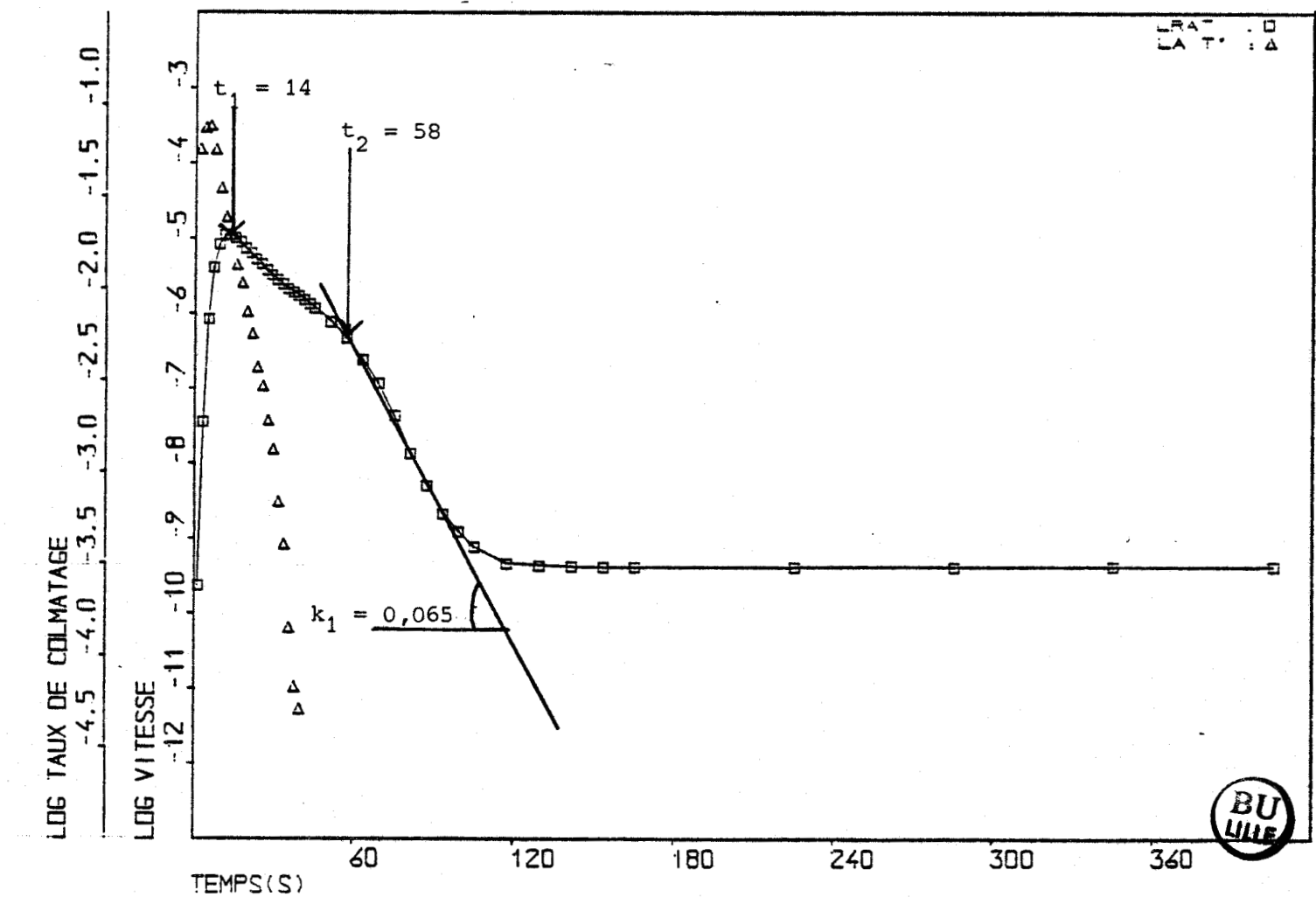
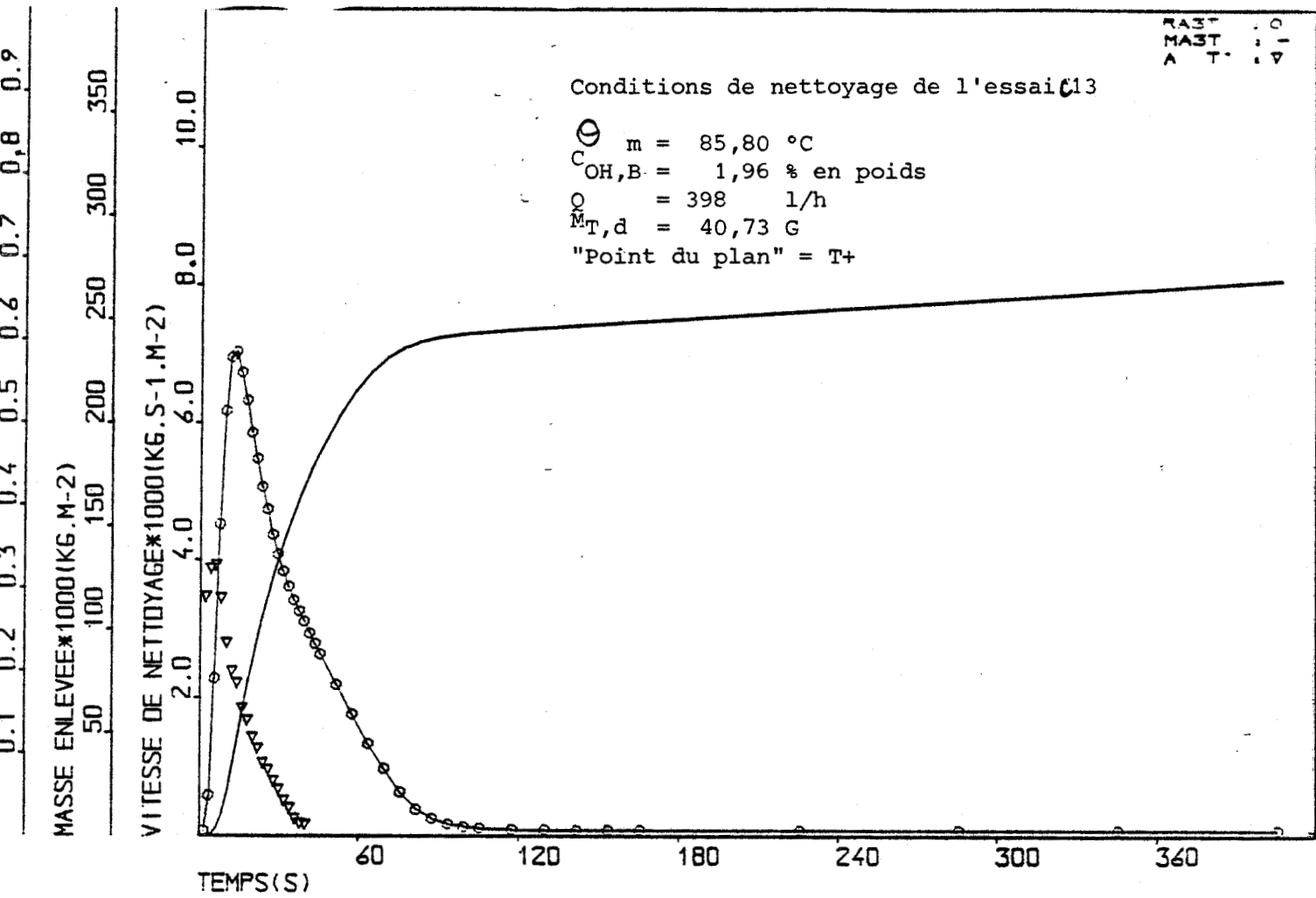
0.5 1.0 1.5 2.0 2.5



Conditions de nettoyage de l'essai C12

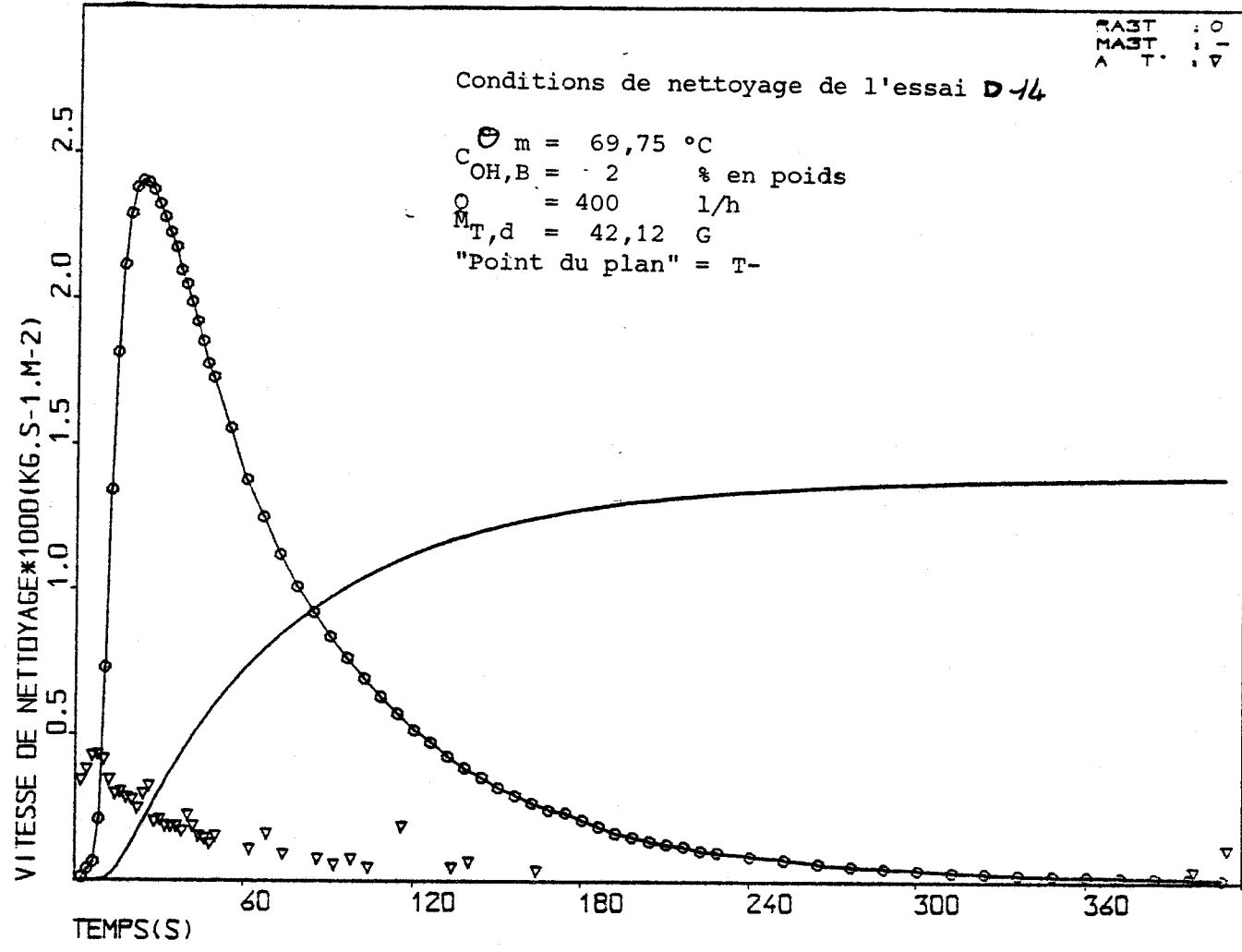
$\varnothing$  m = 66,59 °C  
 $C_{OH,B}$  = 1,997 %  
 $\dot{M}$  = 399 L/h  
 $T_p, d$  = 8,16 G  
 "Point du plan" = T-

RAT : 0  
 LA T. : 0

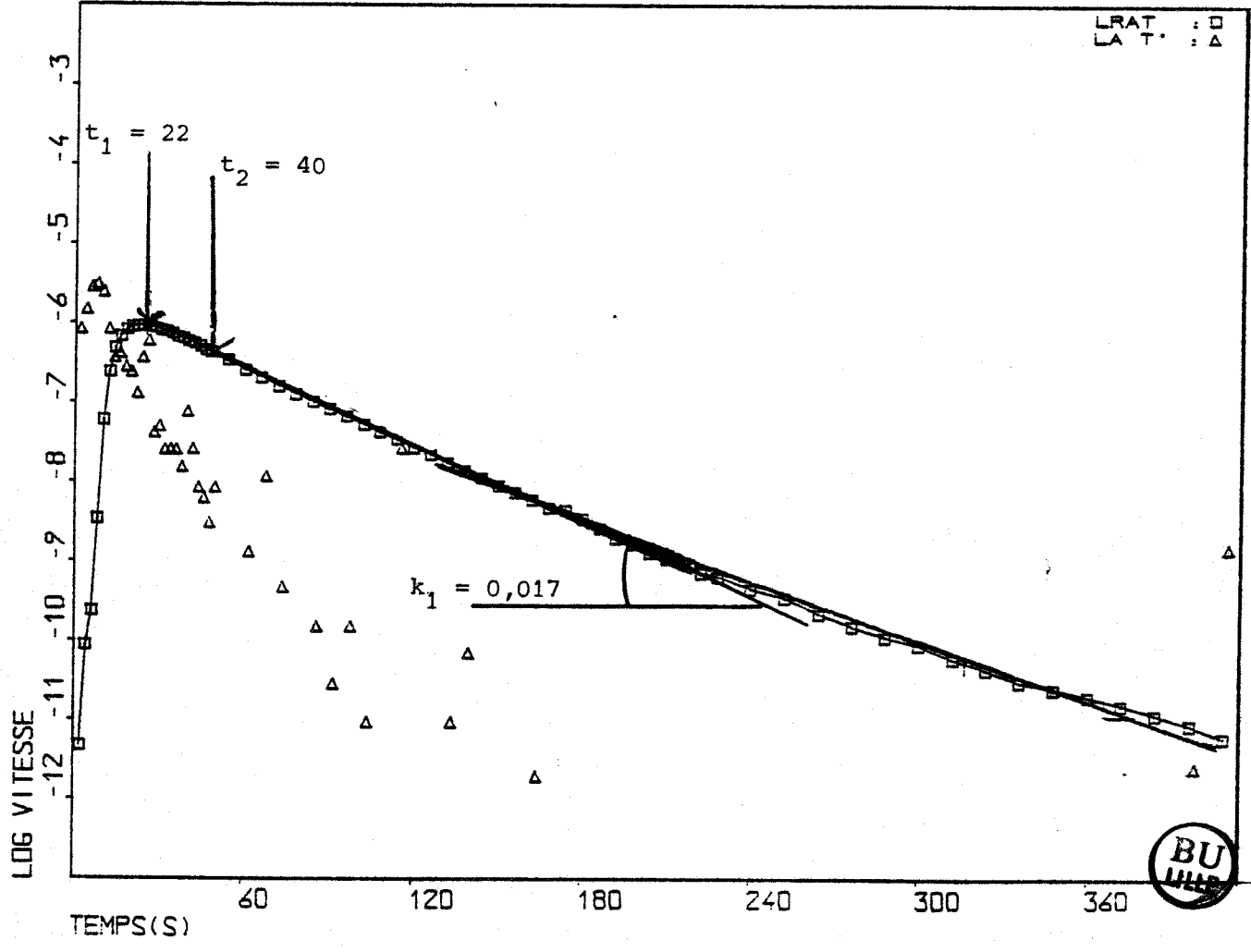




MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9



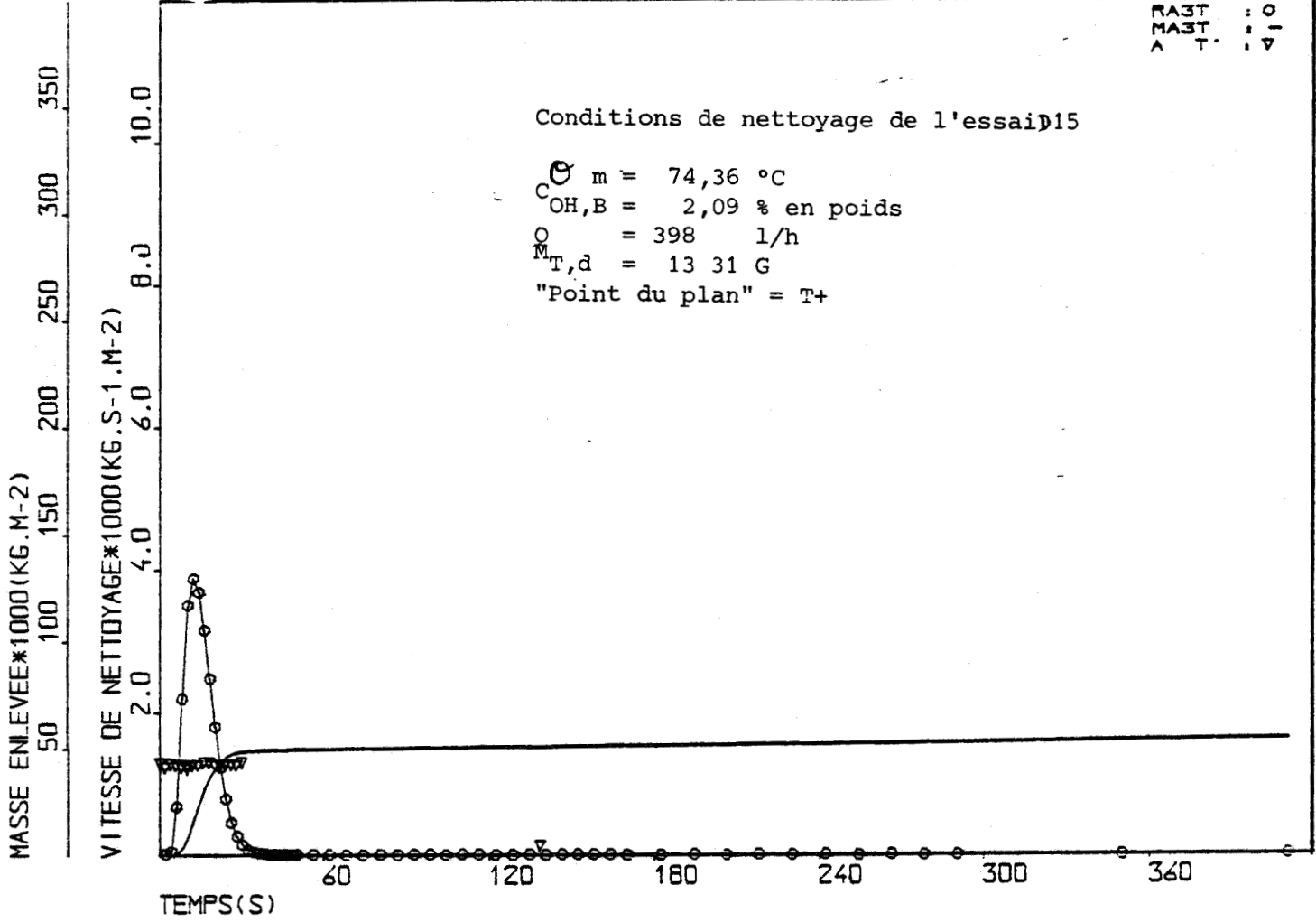
LOG TAUX DE COLMATAGE  
 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0



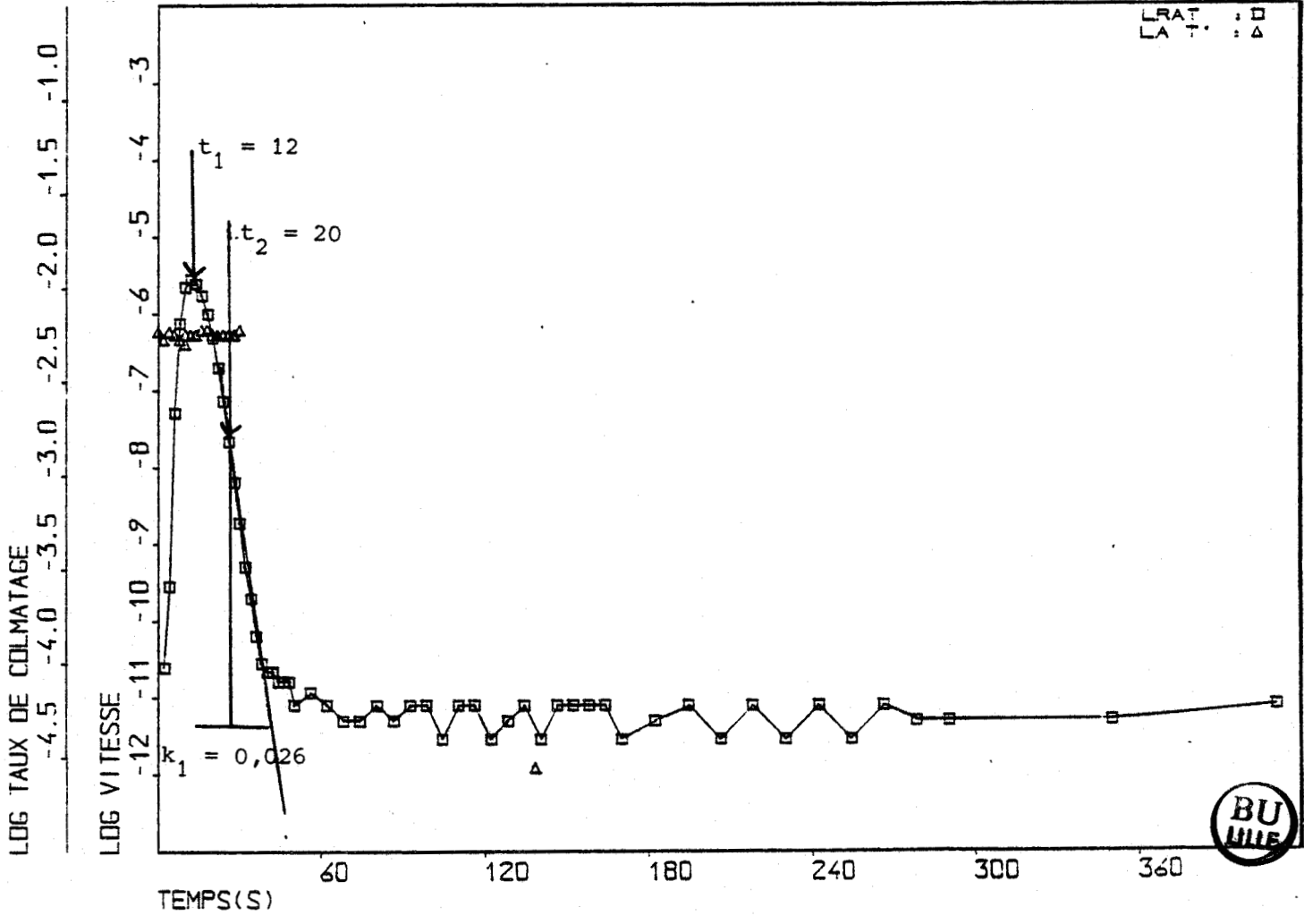
RAST : 0  
MAST : 1  
A T : 17

Conditions de nettoyage de l'essai D15

$\theta_m = 74,36 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2,09 \text{ \% en poids}$   
 $\dot{M}_O = 398 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 13 \text{ 31 G}$   
"Point du plan" = T+

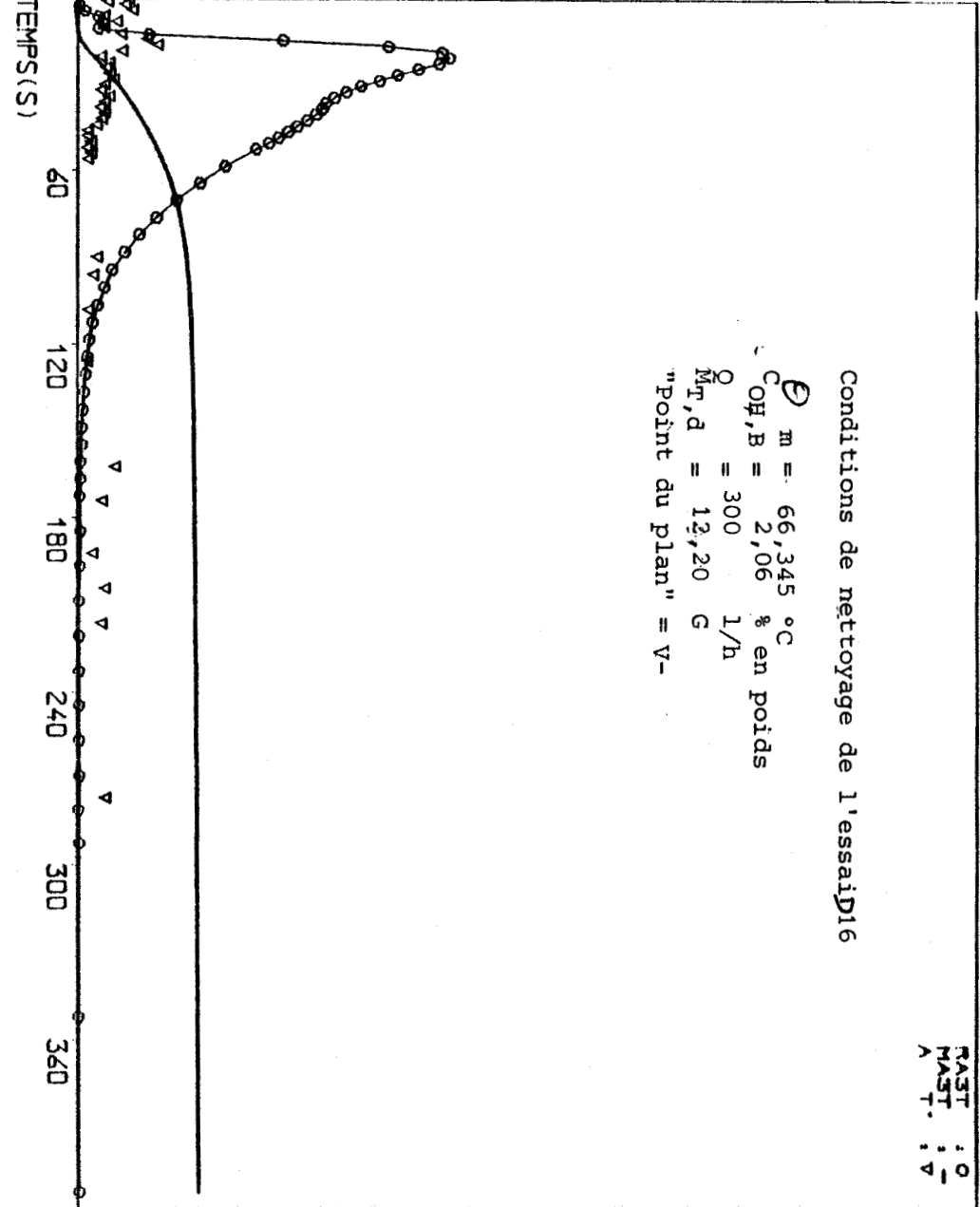


LRAT : 0  
LA T : 17



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9  
 MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
 50 100 150 200 250 300 350

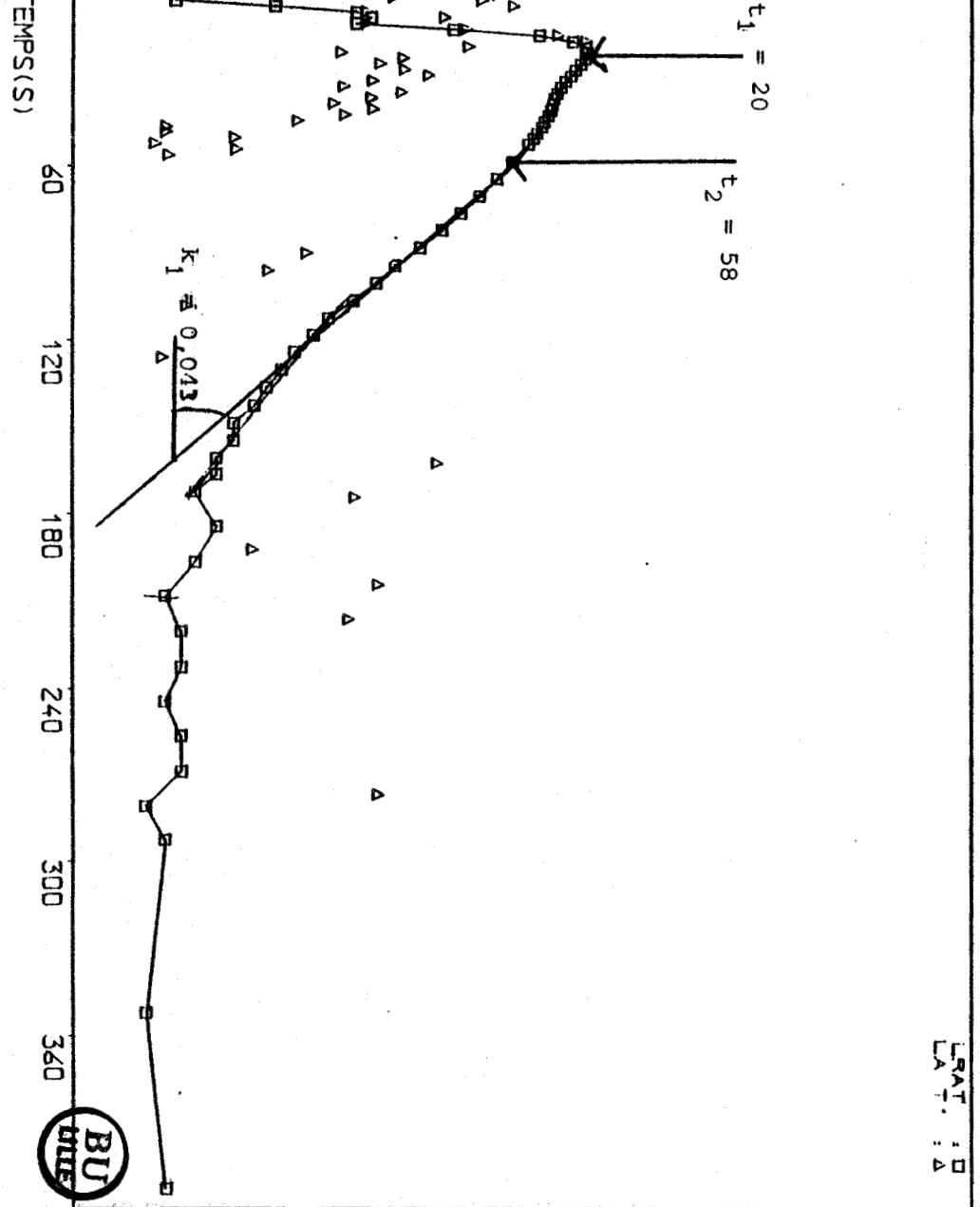
VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)  
 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5



Conditions de nettoyage de l'essai D16  
 $\rho_m = 66,345 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2,06 \text{ \% en poids}$   
 $O = 300 \text{ l/h}$   
 $M_T, d = 12,20 \text{ G}$   
 "Point du plan" = V-

LOG TAUX DE COLMATAGE  
 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

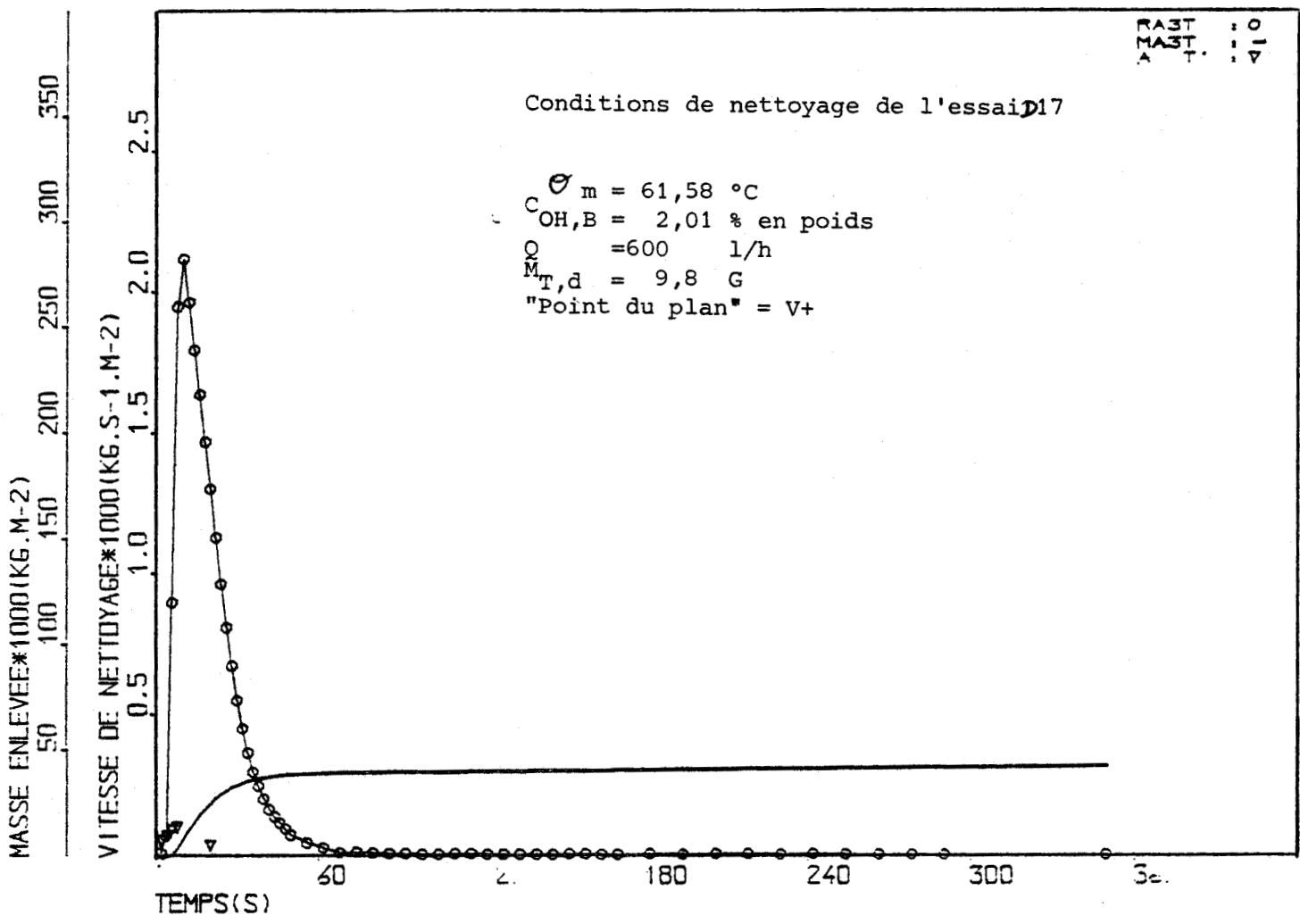
LOG VITESSE  
 -12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3



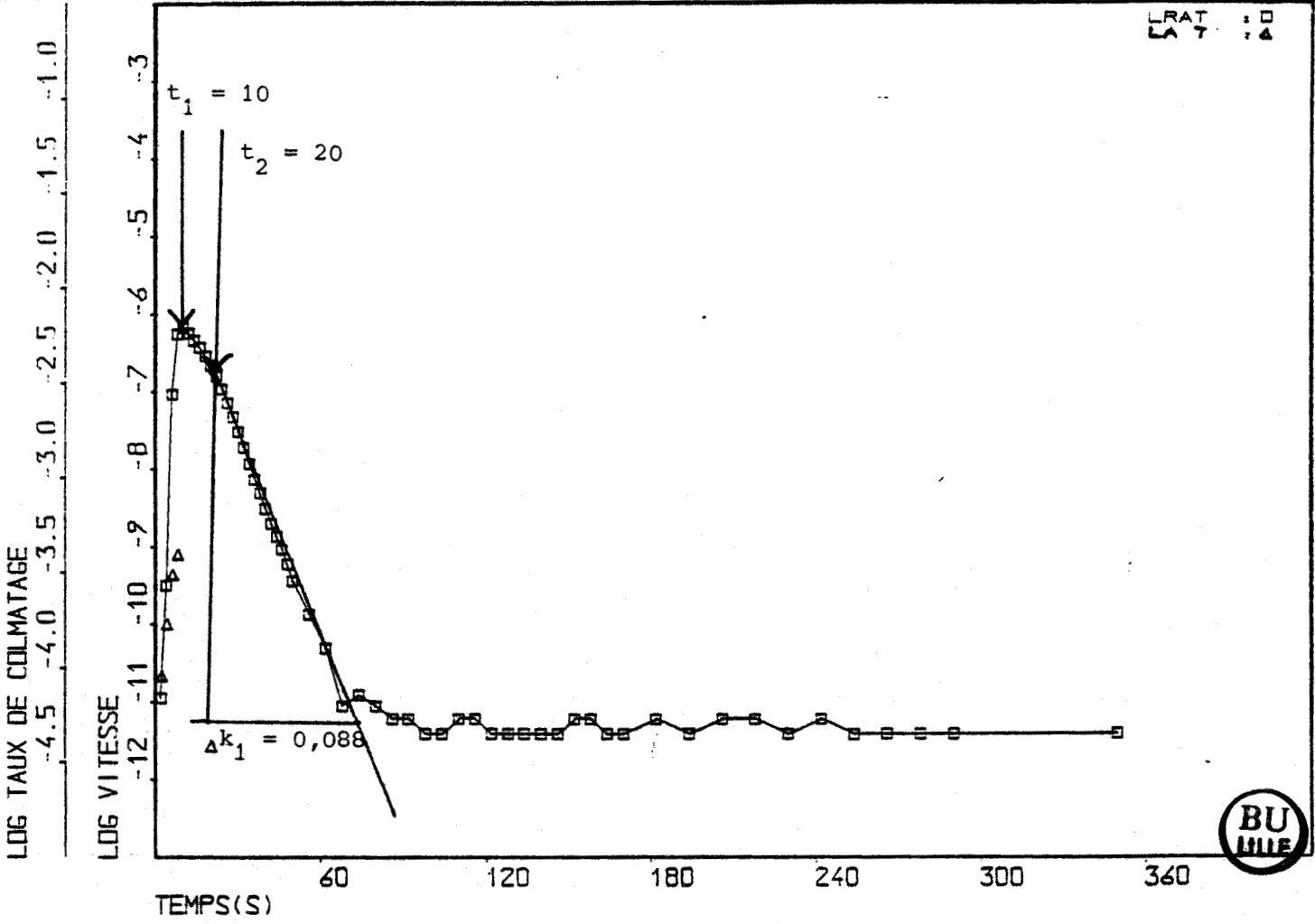
RAST : 0  
 MAST : 1  
 A T : 7

Conditions de nettoyage de l'essai 17

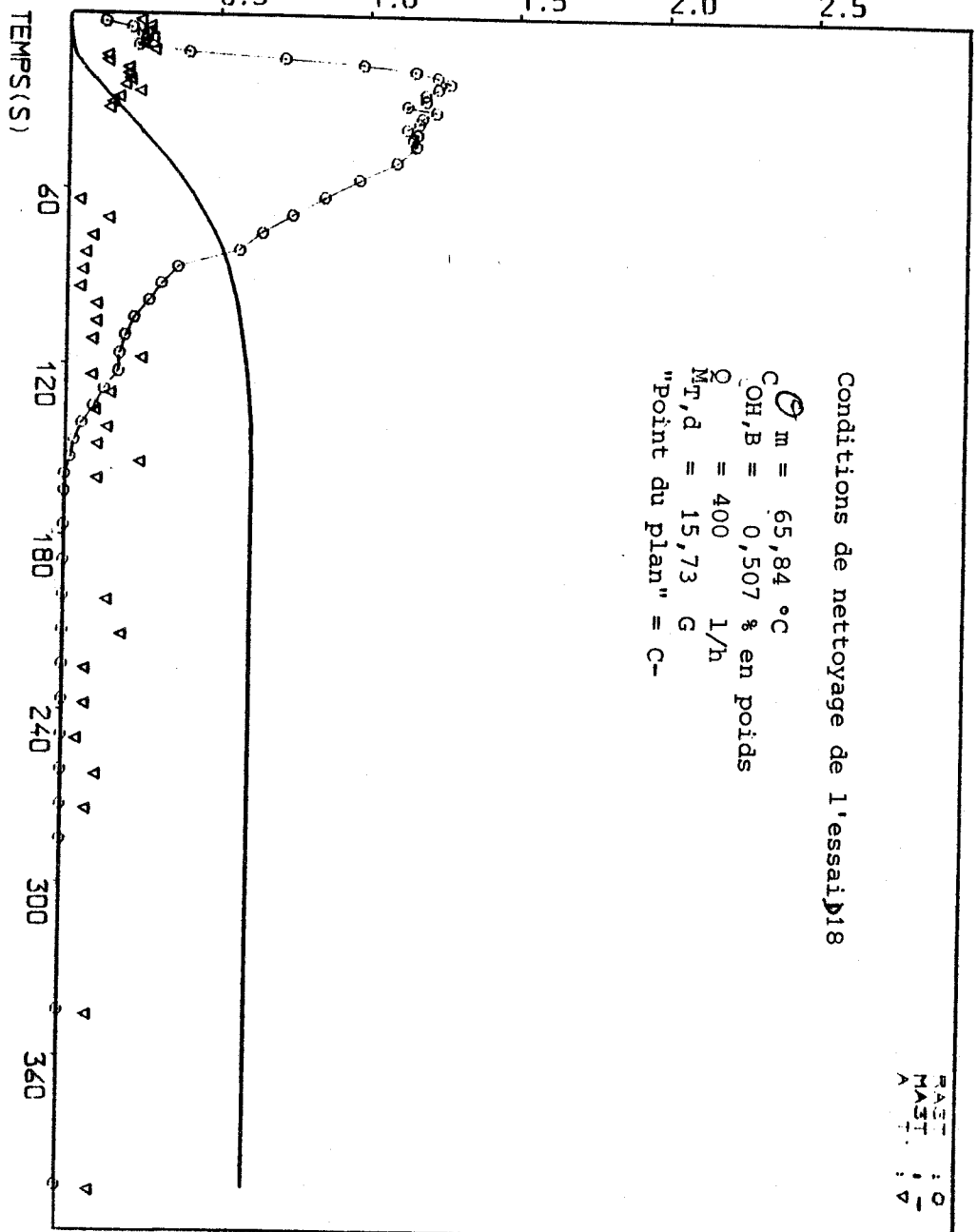
$\theta_m = 61,58 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2,01 \text{ \% en poids}$   
 $M_{O} = 600 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 9,8 \text{ G}$   
 "Point du plan" = V+



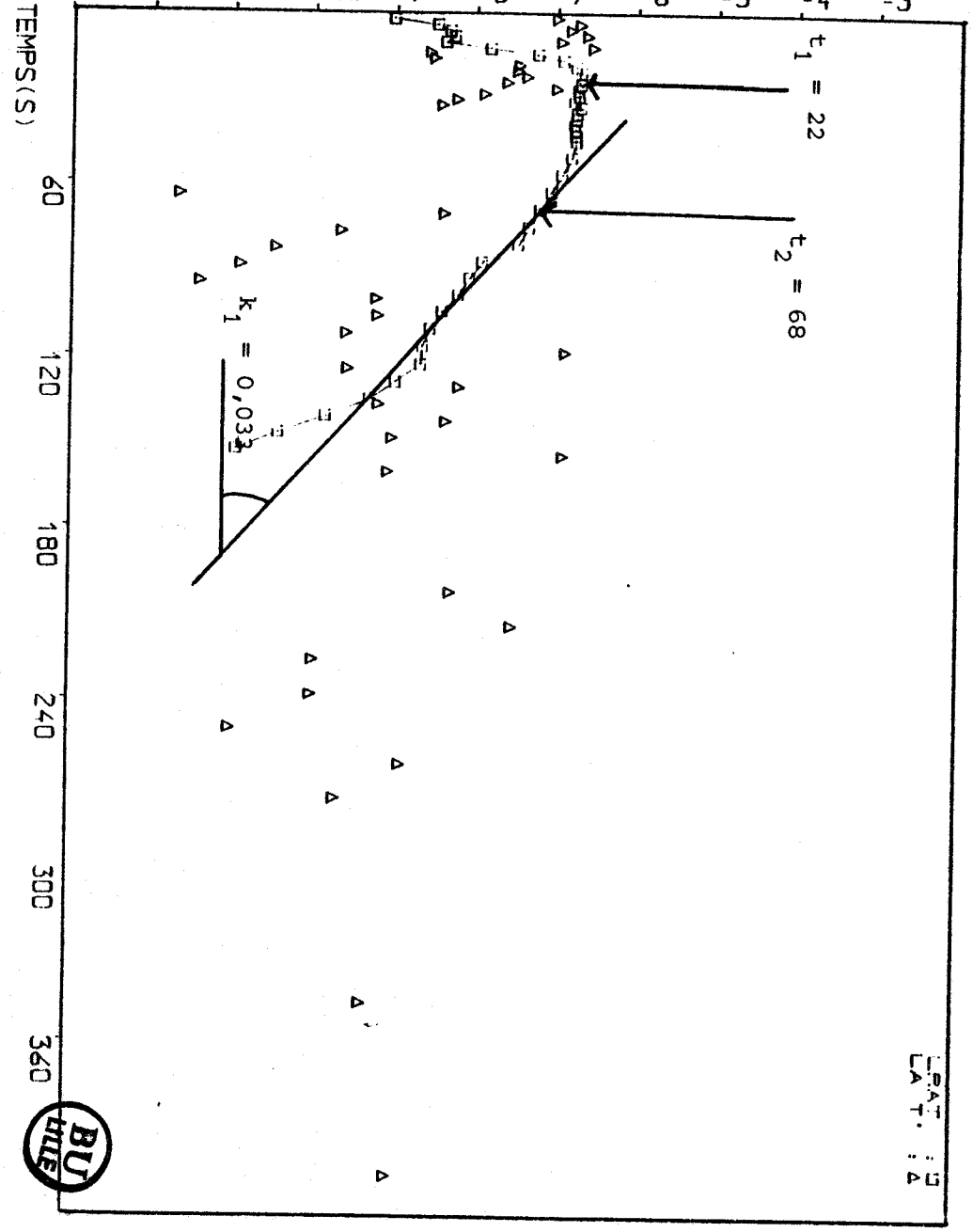
LRAT : 0  
 LA T : 4



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9  
 MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
 50 100 150 200 250 300 350  
 VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)  
 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5



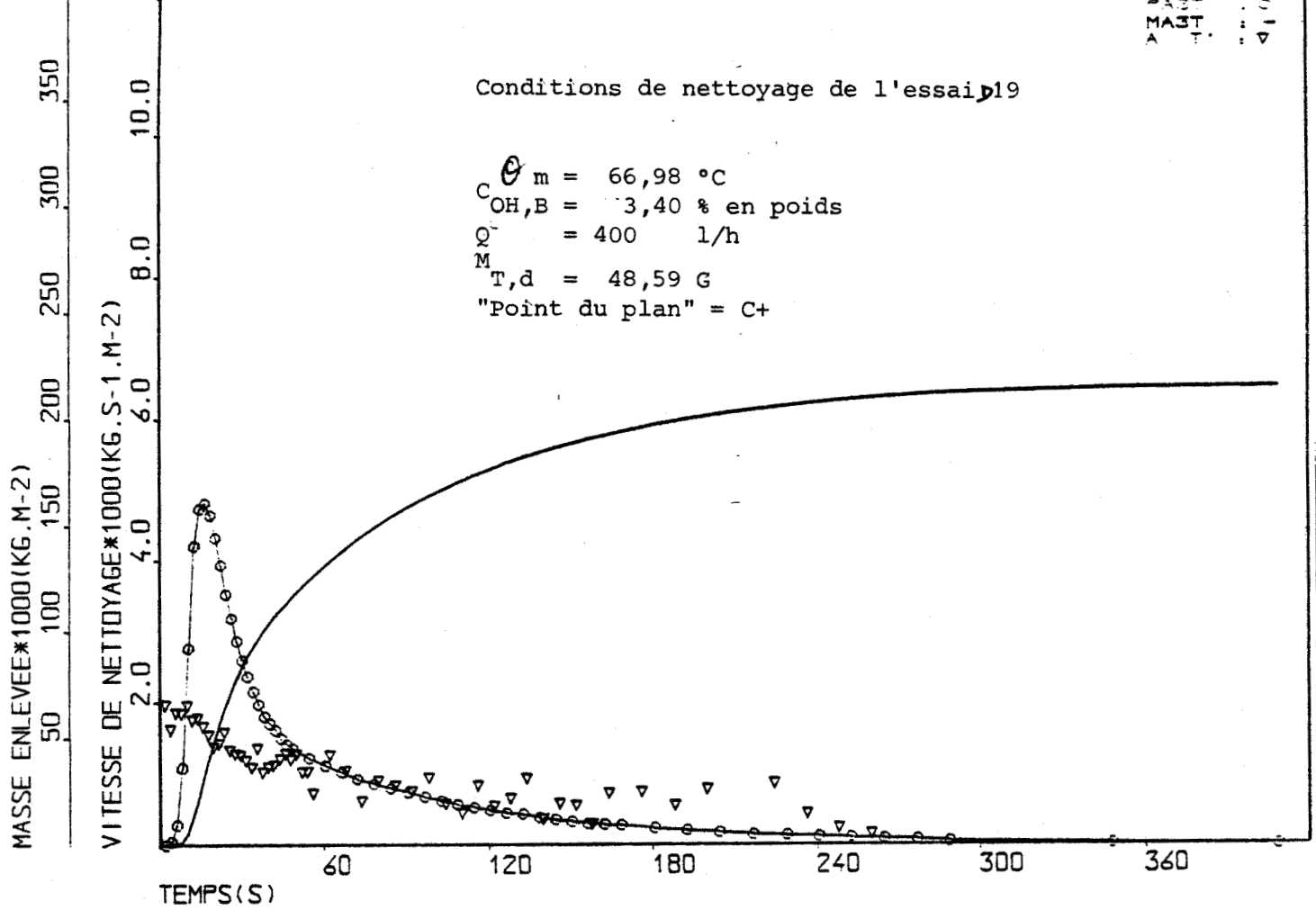
LOG TAUX DE COLMATAGE  
 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0  
 LOG VITESSE  
 -12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3



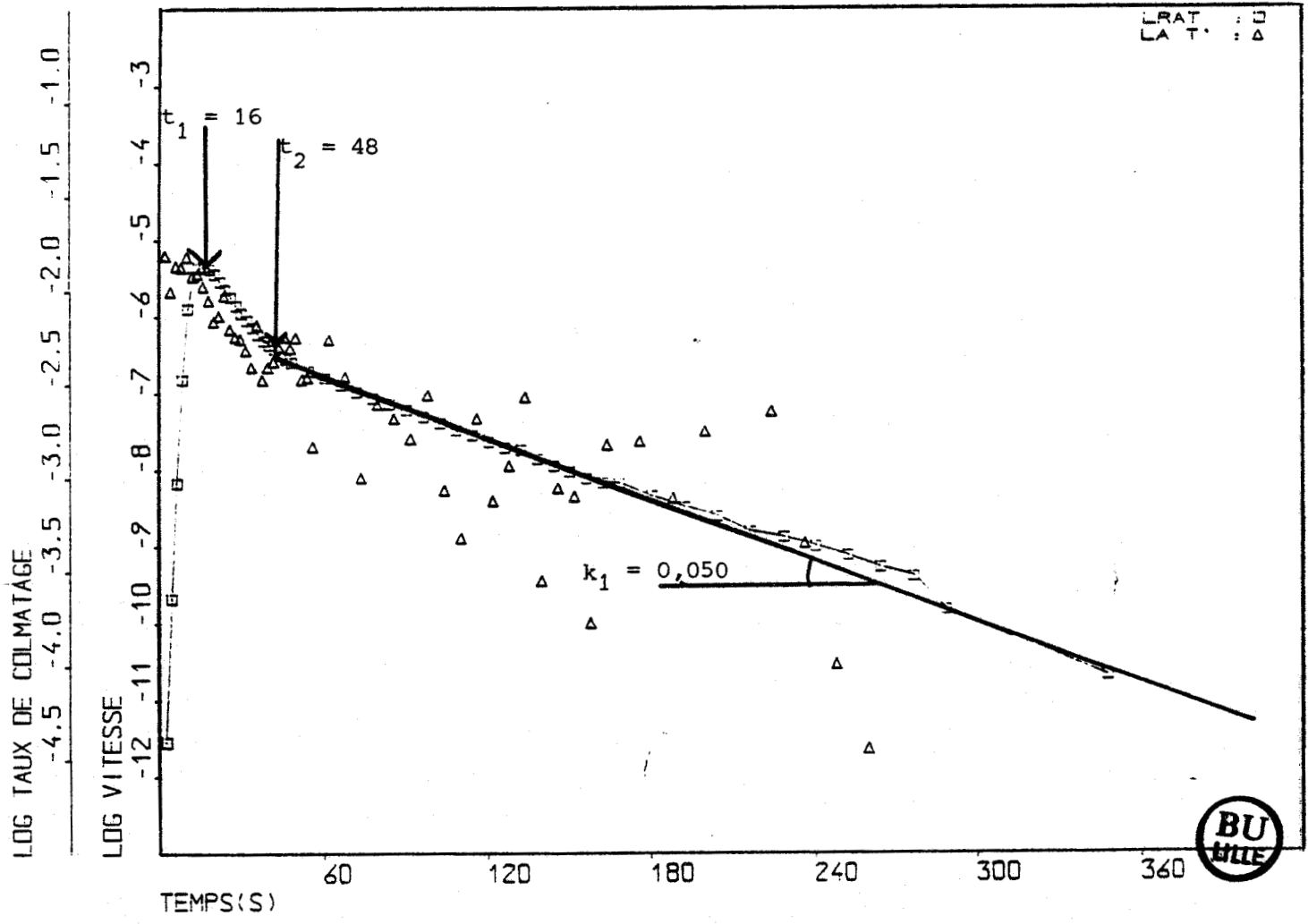
MAST : 10  
A T : 10

Conditions de nettoyage de l'essai 19

$\theta_m = 66,98 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 3,40 \text{ \% en poids}$   
 $Q = 400 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 48,59 \text{ G}$   
 "Point du plan" = C+



LRAT : 10  
LA T : 10



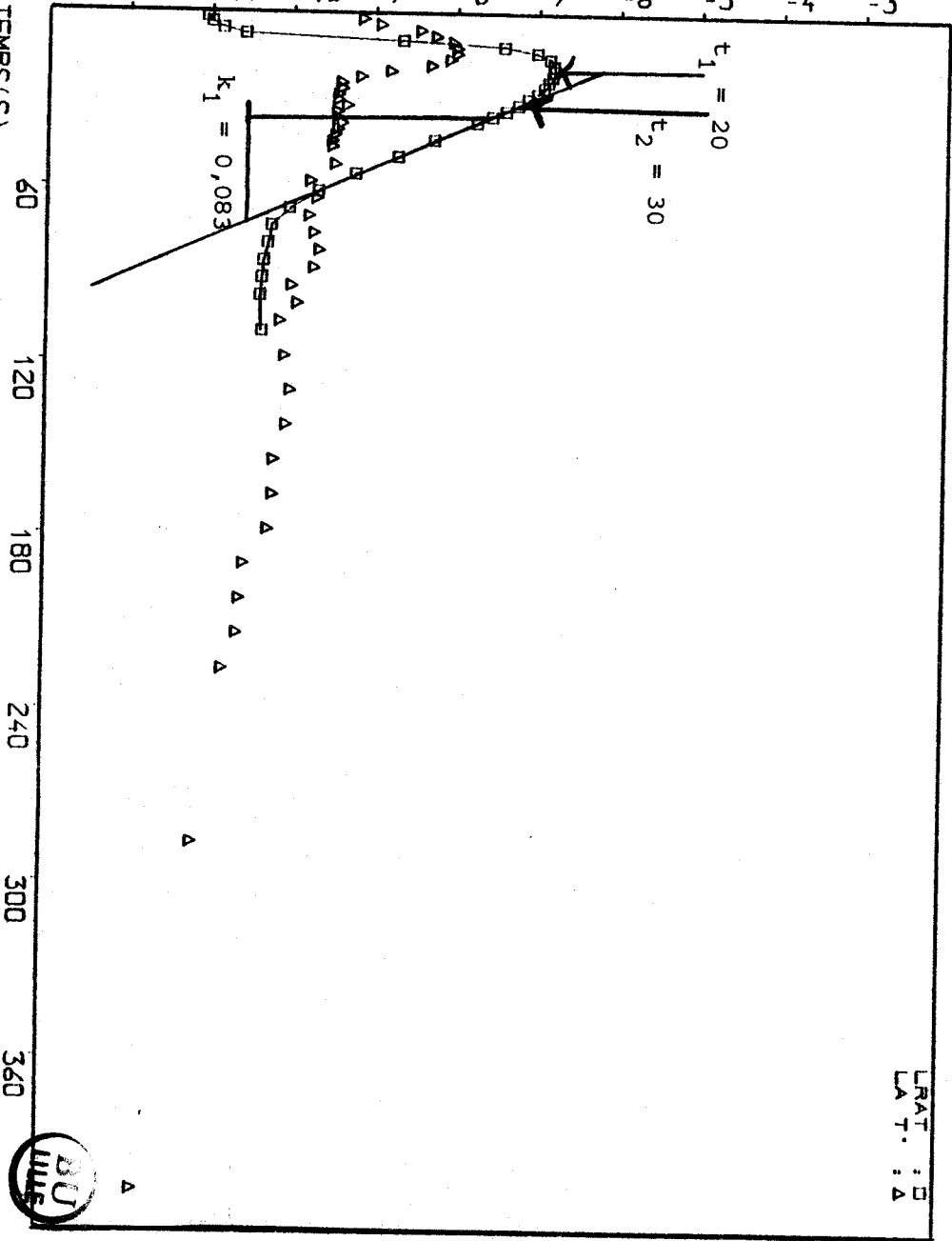
LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

TEMPS(S)



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

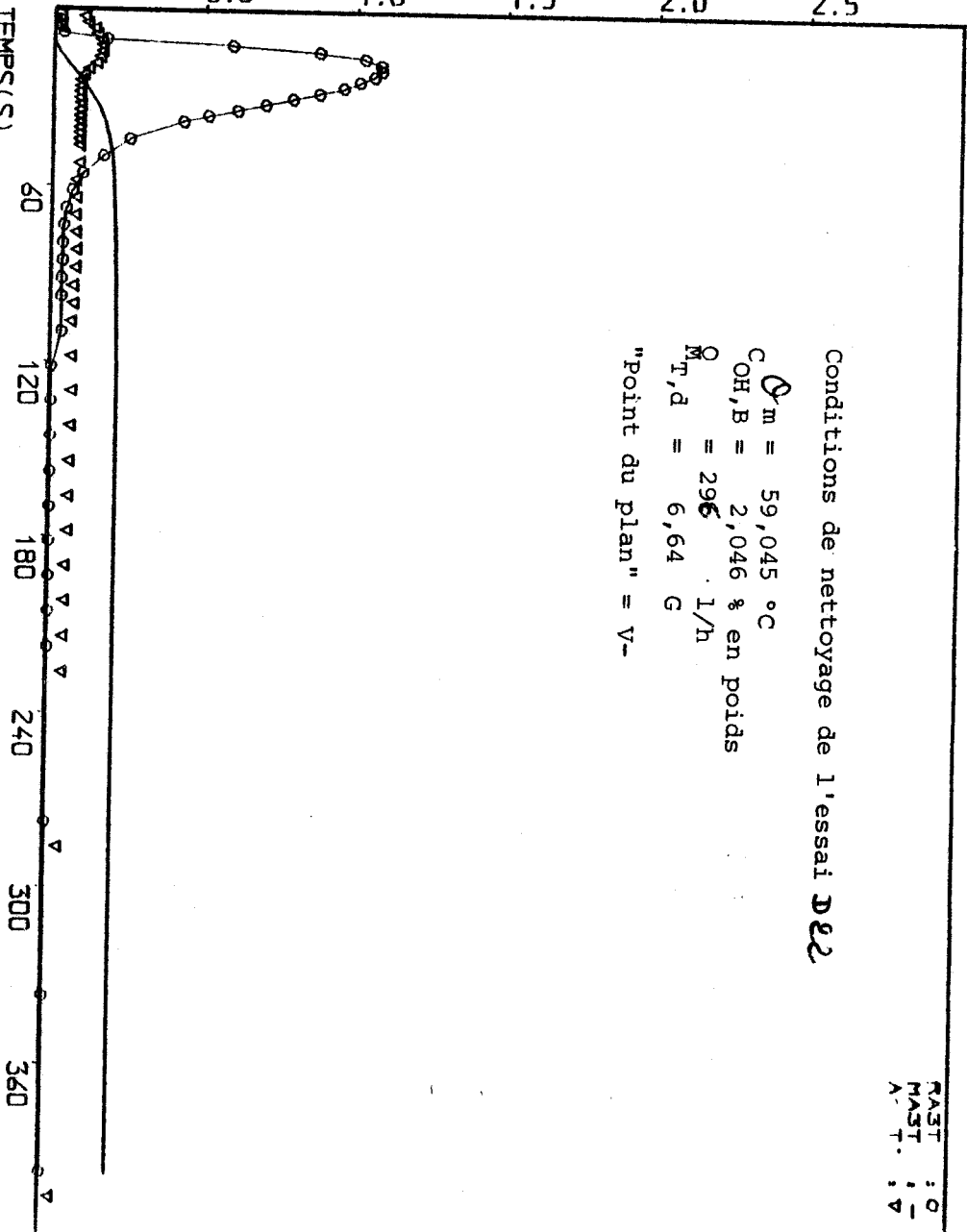
MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

TEMPS(S)



Conditions de nettoyage de l'essai D22

$\phi_m = 59,045 \text{ } ^\circ\text{C}$

COH,B = 2,046 % en poids

$\phi_{T,d} = 296 \text{ } 1/h$

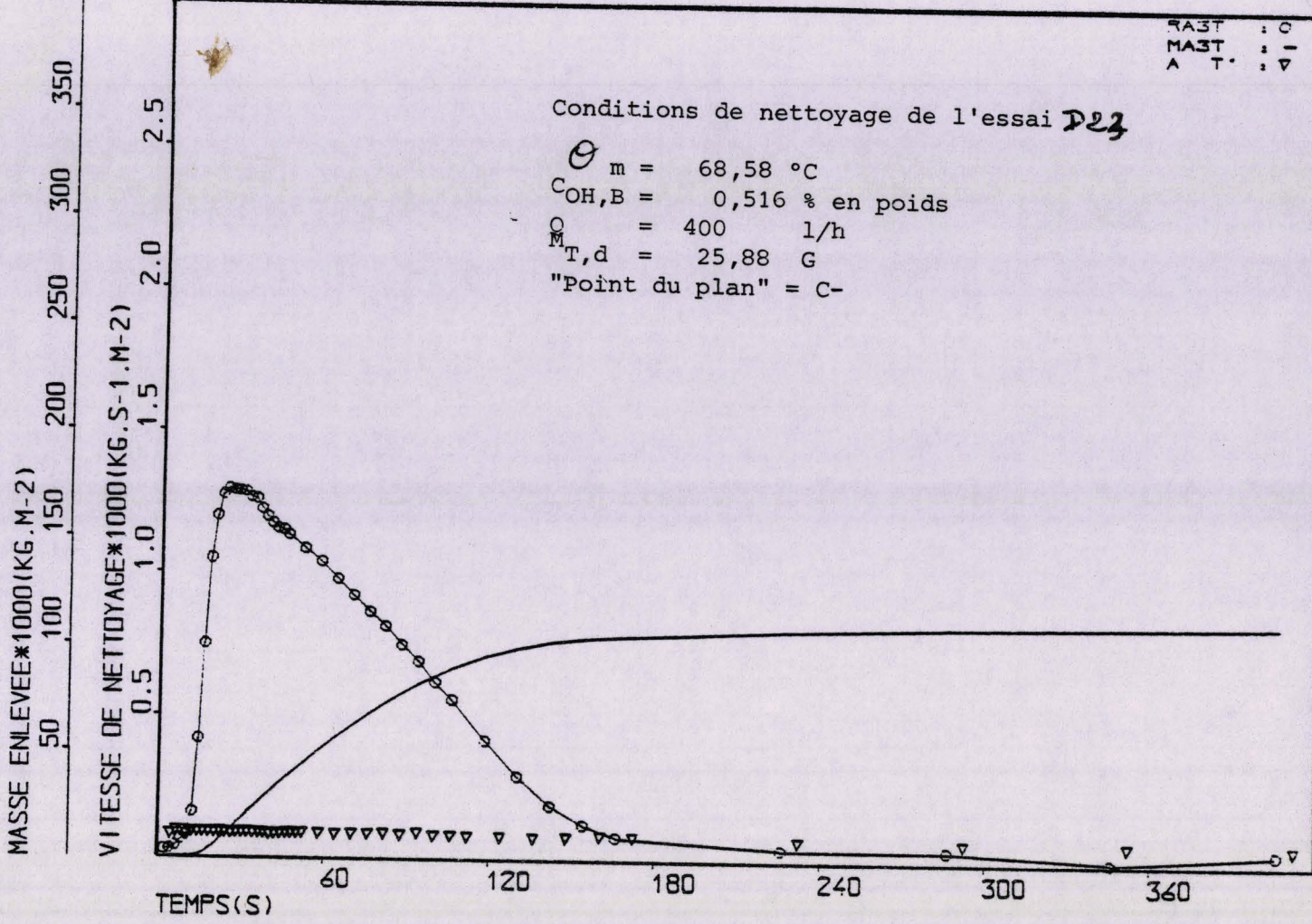
$M_{T,d} = 6,64 \text{ G}$

"point du plan" = V-

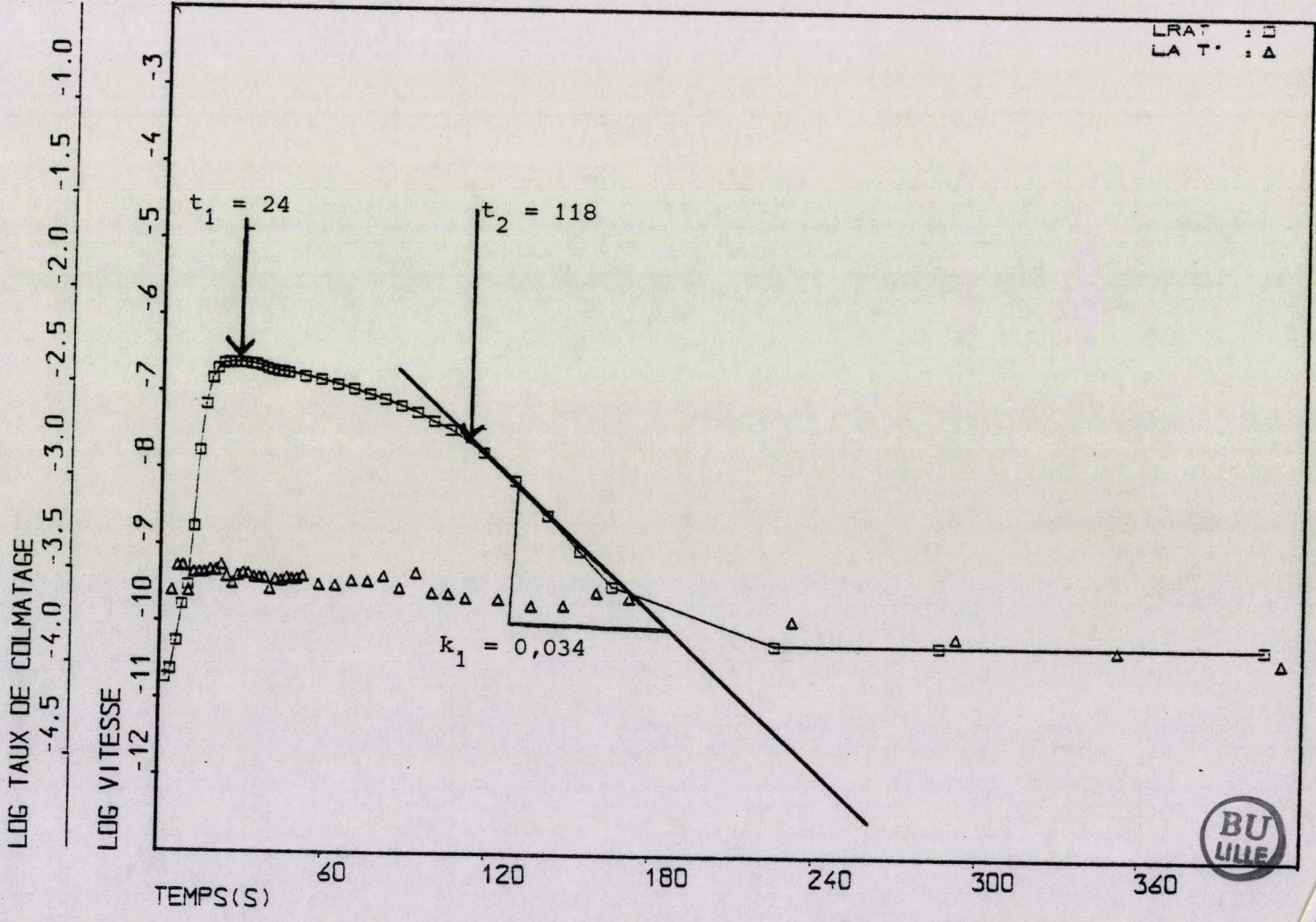
RA3T : 0  
 MA3T : -  
 A T : v

Conditions de nettoyage de l'essai **D23**

$\theta_m = 68,58 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 0,516 \text{ \% en poids}$   
 $M_{O} = 400 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 25,88 \text{ G}$   
 "Point du plan" = C-



LRAT : 0  
 LA T : Δ

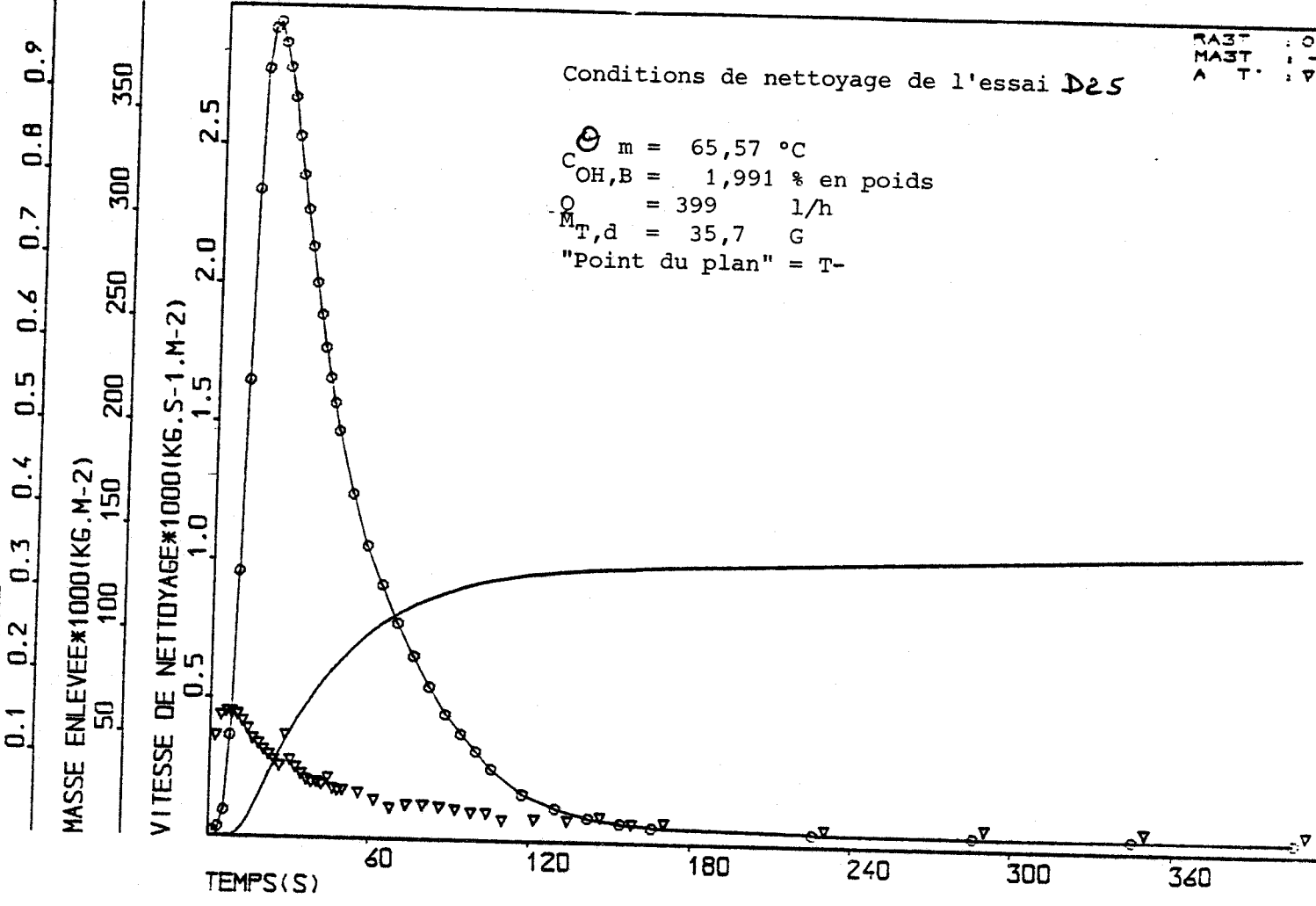




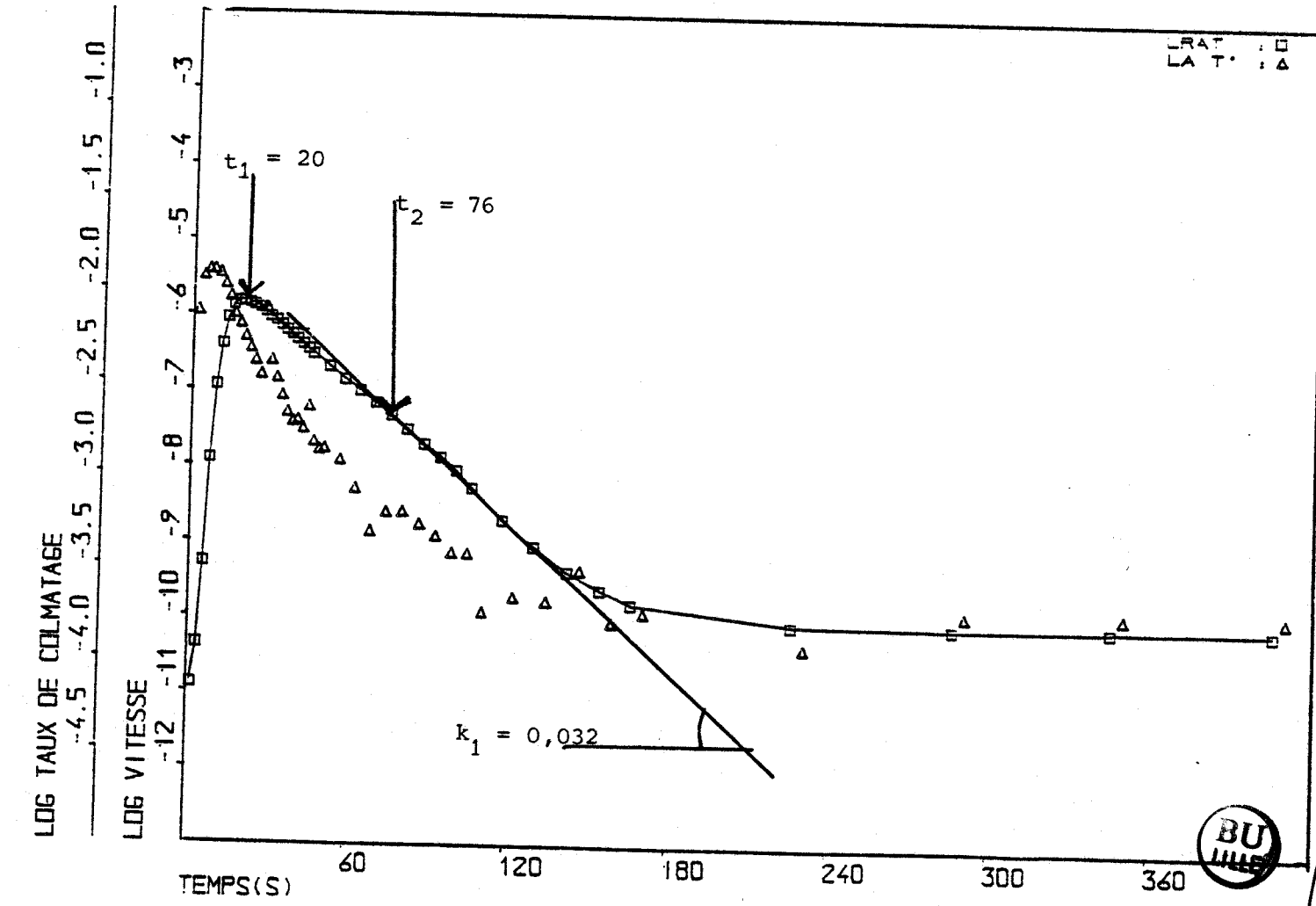
RABT : 0  
 MAST : 1  
 A T : 4

Conditions de nettoyage de l'essai D25

$\Theta_m = 65,57 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 1,991 \text{ \% en poids}$   
 $M_{T,d} = 399 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 35,7 \text{ G}$   
 "Point du plan" = T-



CRAT : 0  
 LA T : 4



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

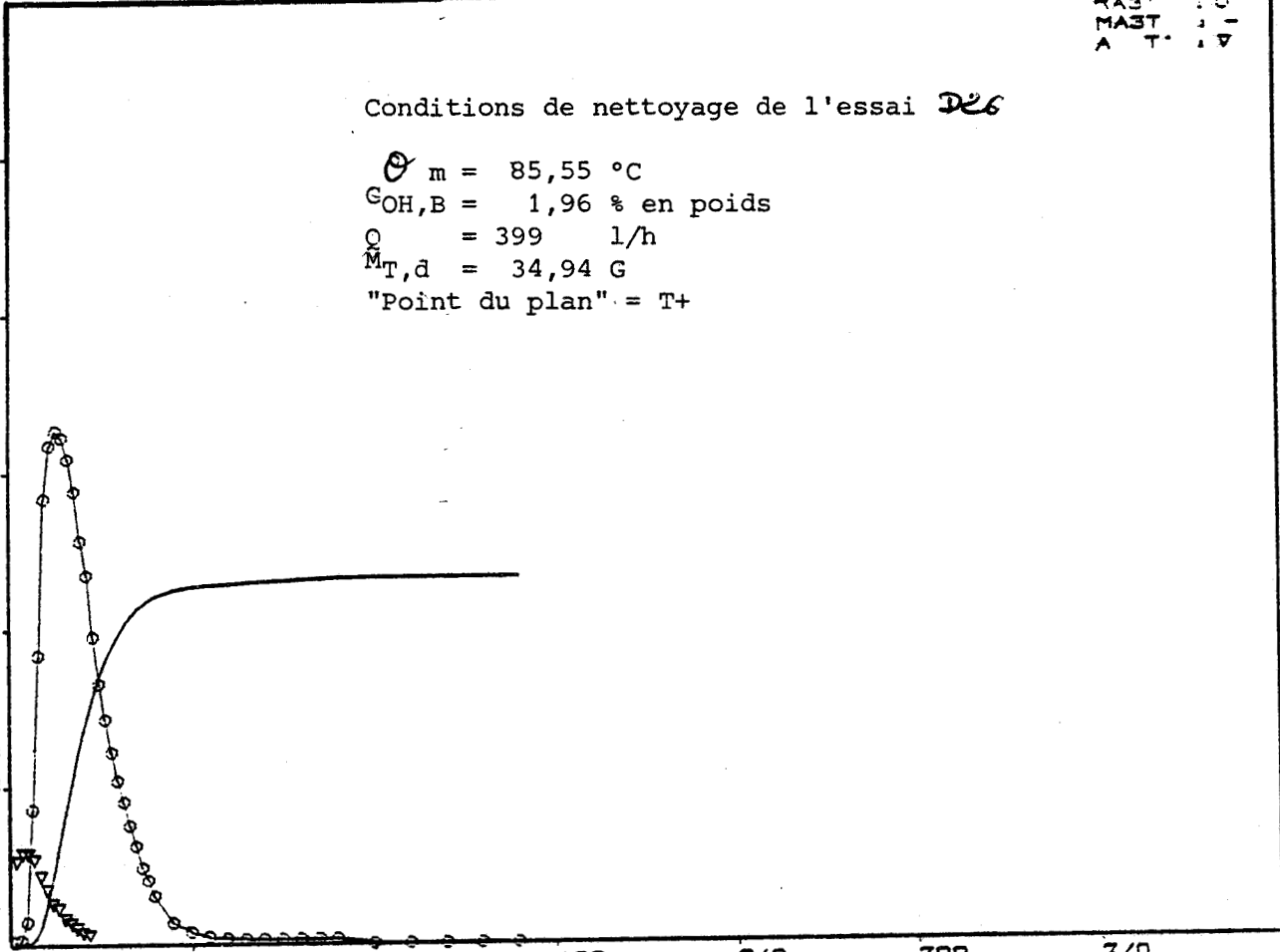
2.0 4.0 6.0 8.0 10.0

TEMPS(S)

Conditions de nettoyage de l'essai D26

$\theta_m = 85,55 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 1,96 \text{ \% en poids}$   
 $M_{T,d} = 399 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 34,94 \text{ G}$   
 "Point du plan" = T+

RAST : 0  
 MAST : 1  
 A T : 17



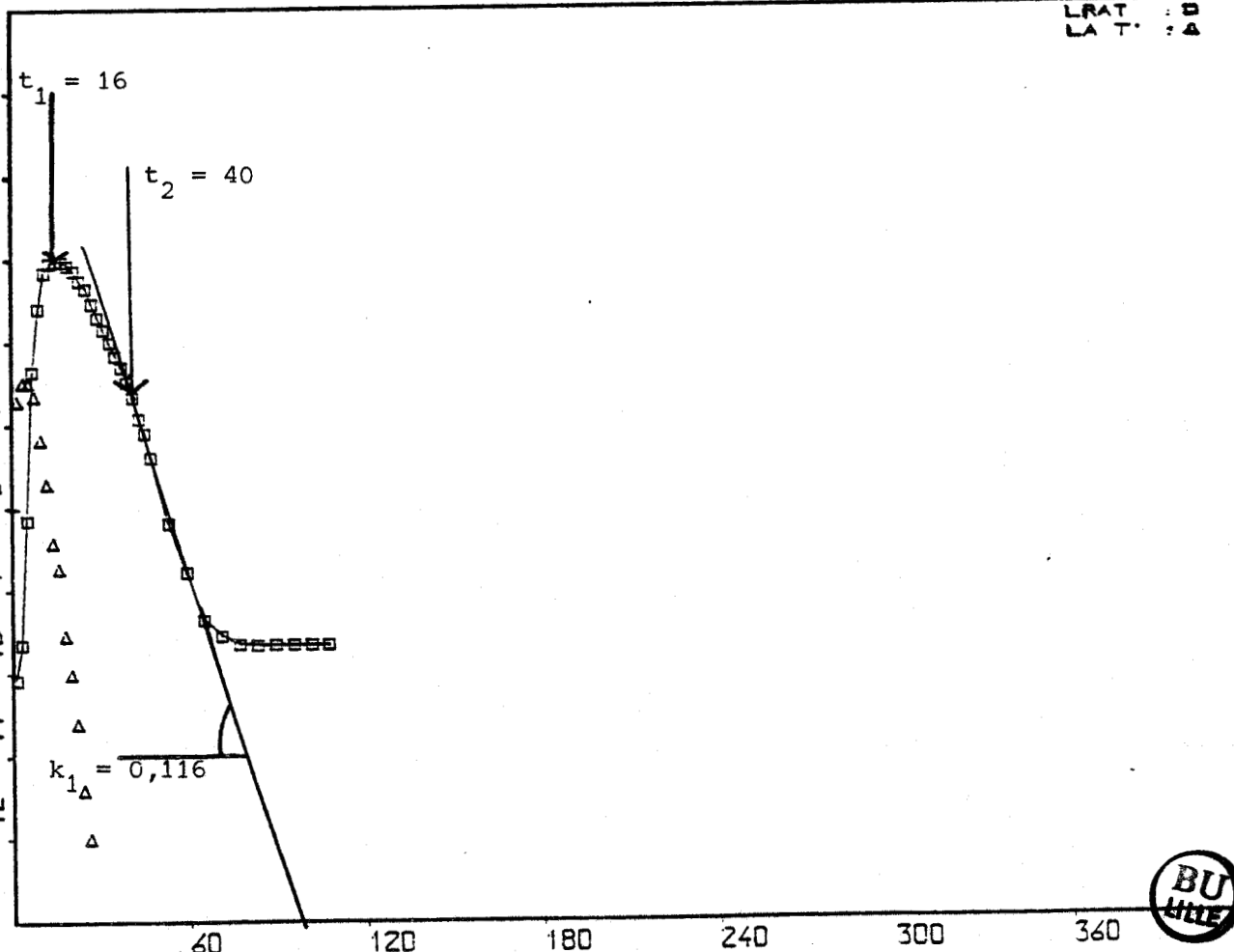
LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12

TEMPS(S)



LRAT : 8  
 LA T : 4



RA3: 0  
 MA3: -  
 A : 7

Conditions de nettoyage de l'essai C27

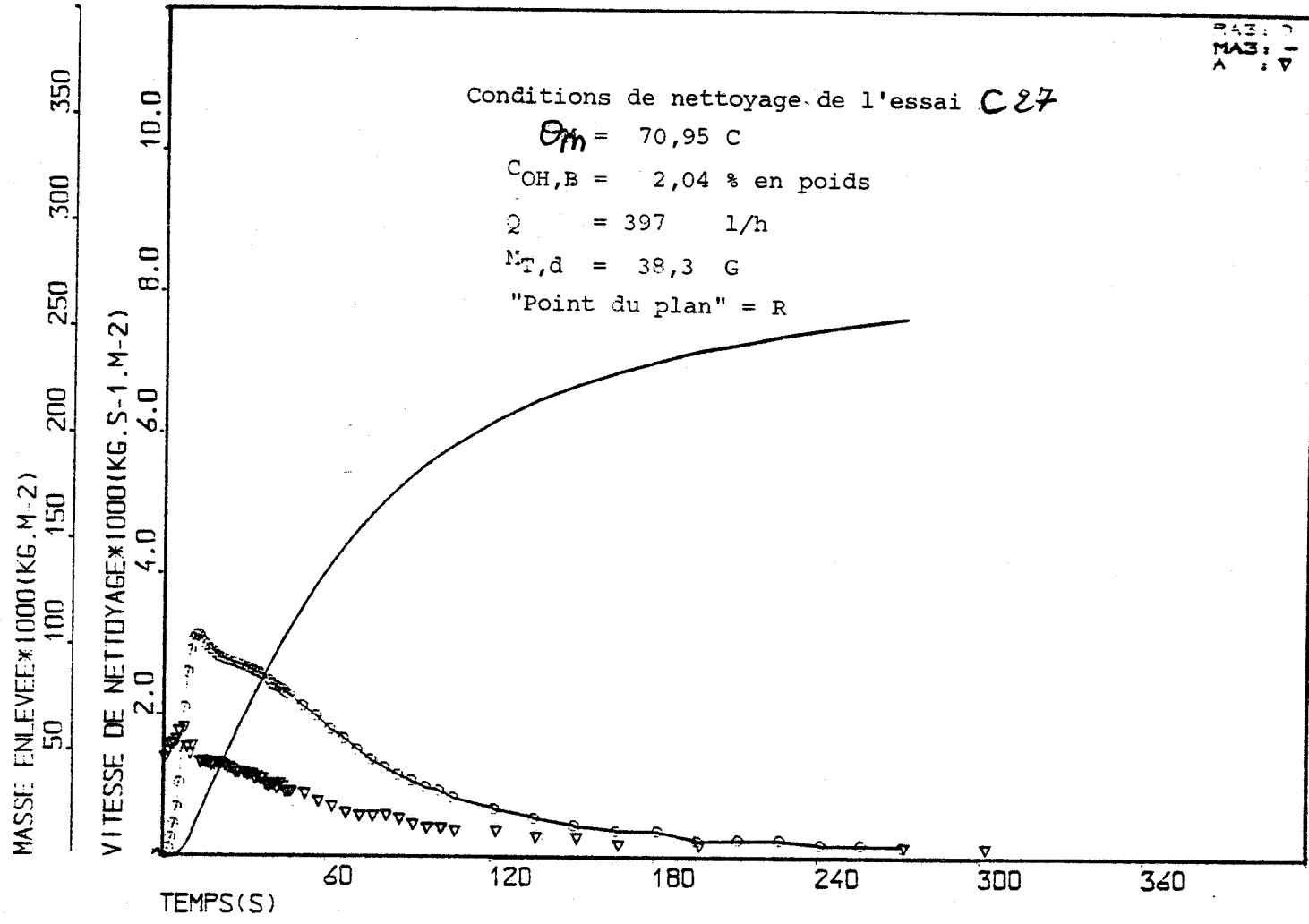
$\theta_m = 70,95 \text{ C}$

$C_{OH,B} = 2,04 \text{ \% en poids}$

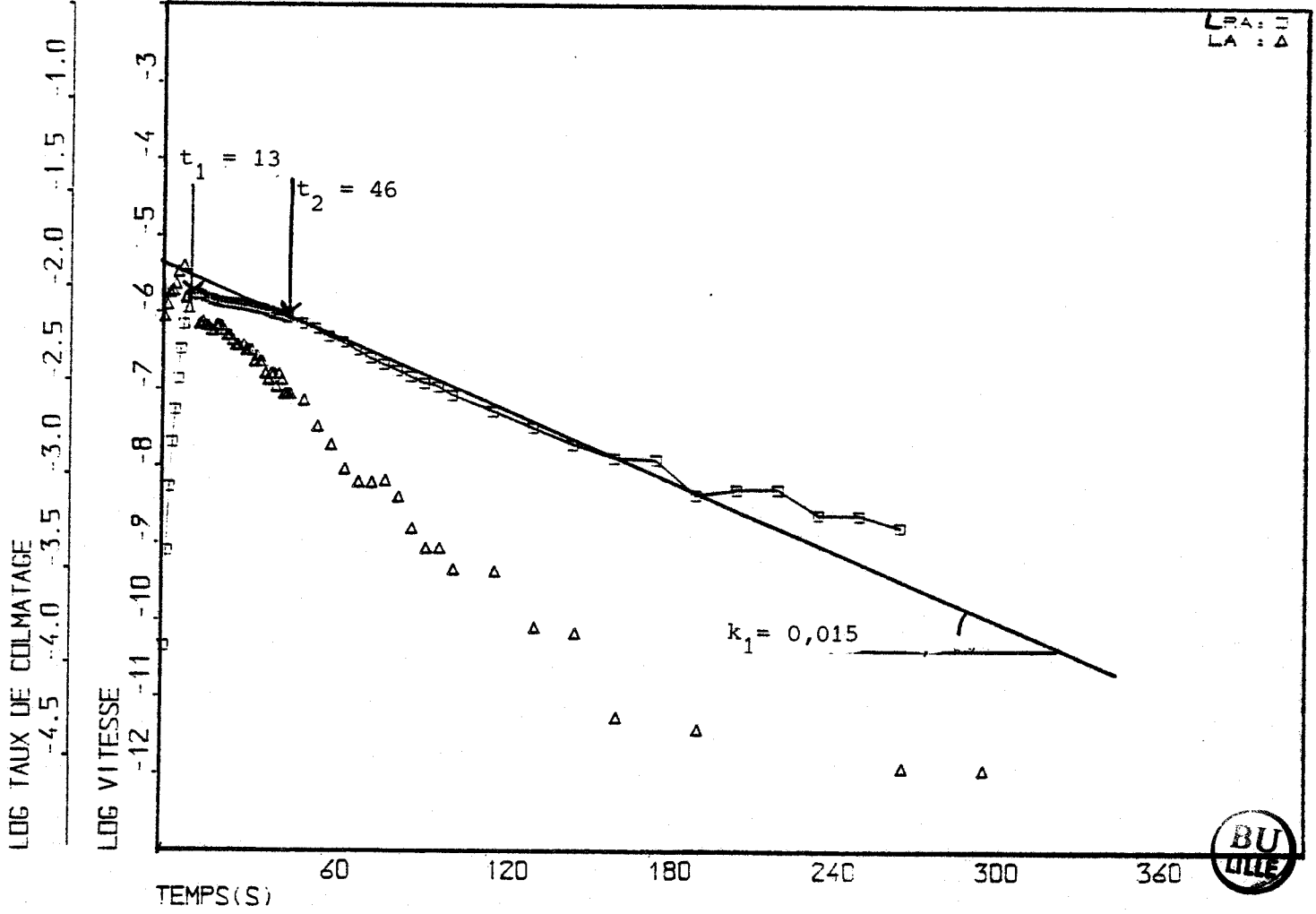
$\Omega = 397 \text{ 1/h}$

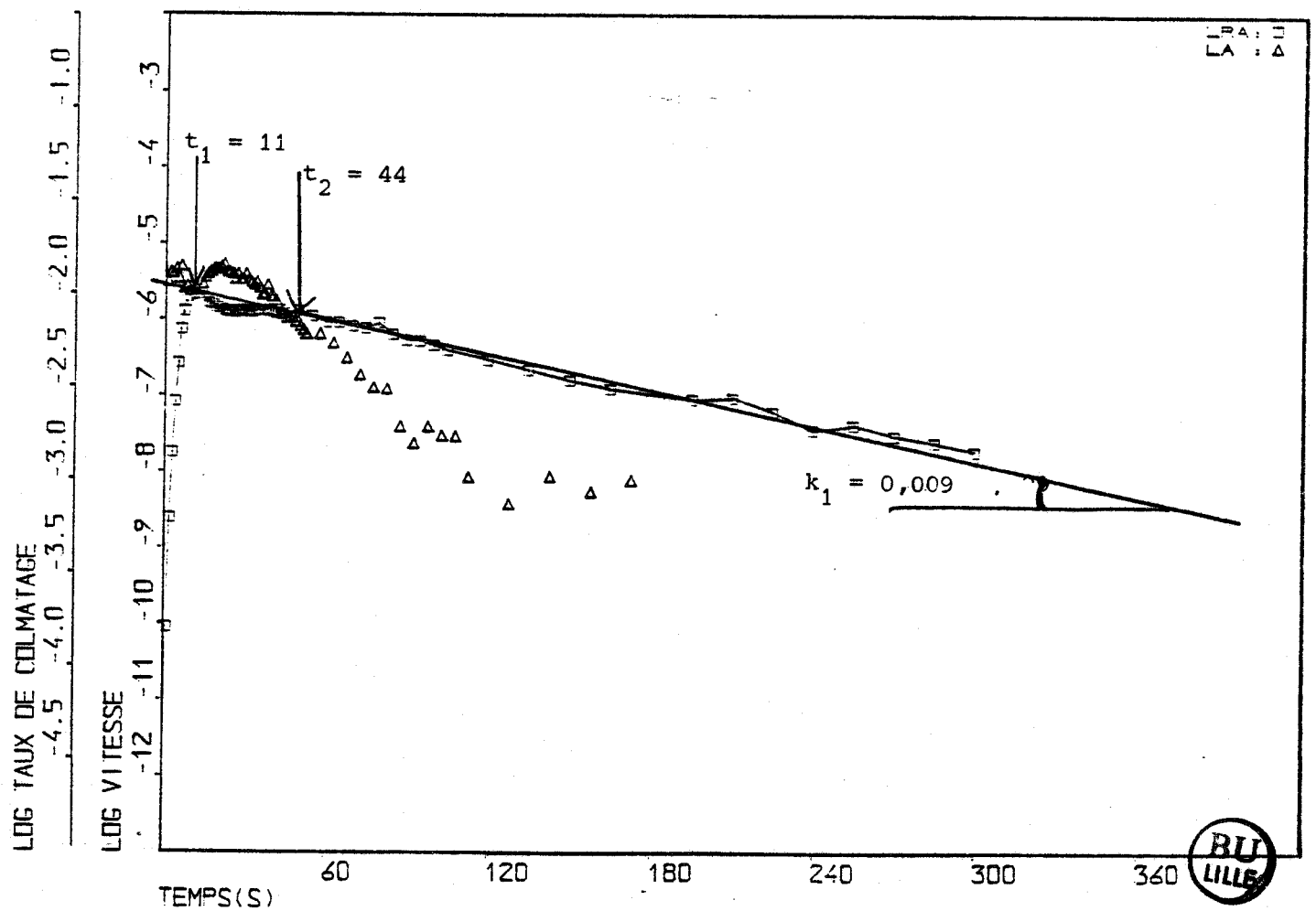
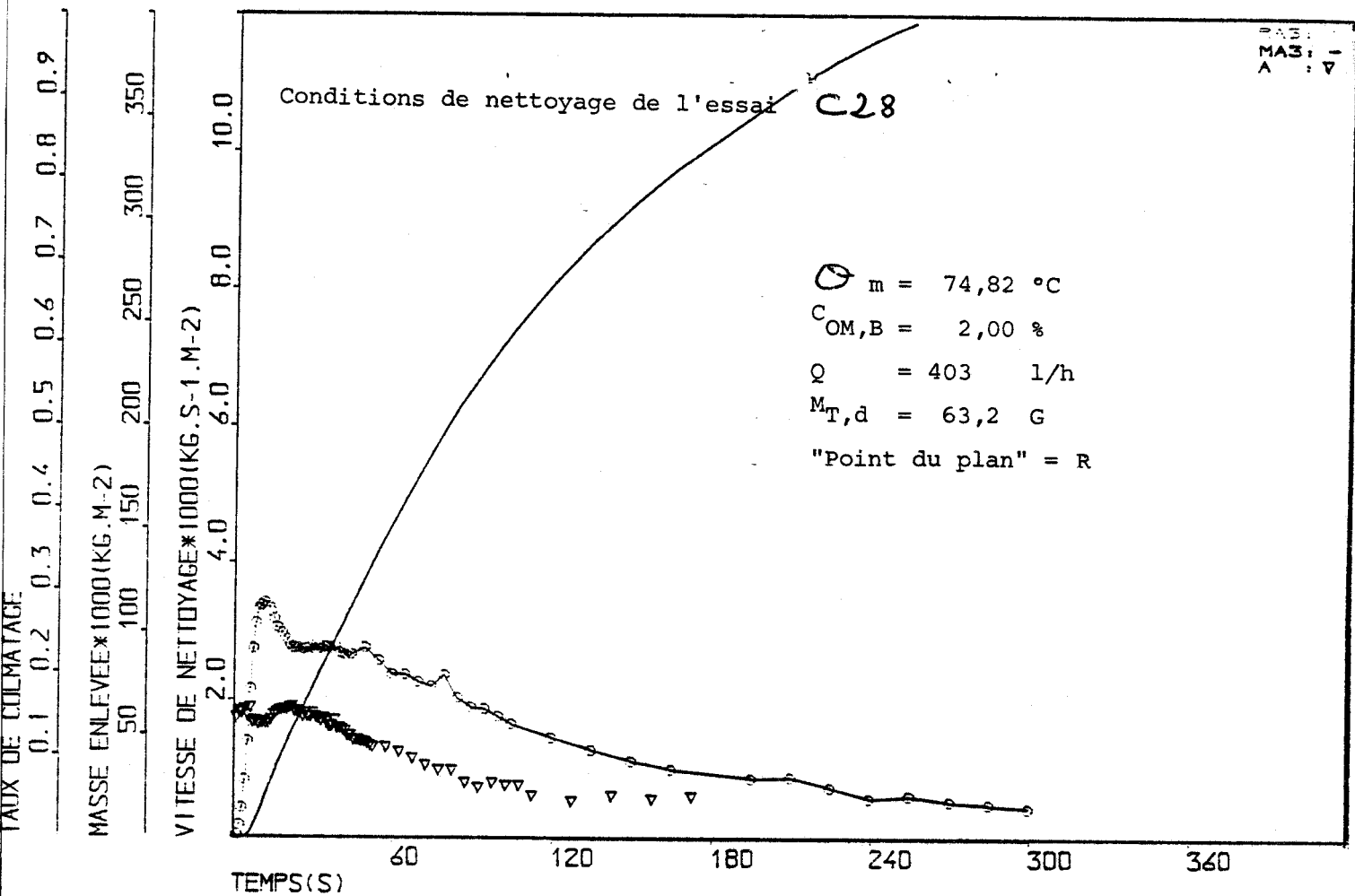
$M_{T,d} = 38,3 \text{ G}$

"Point du plan" = R



LA3: 0  
 LA : 4





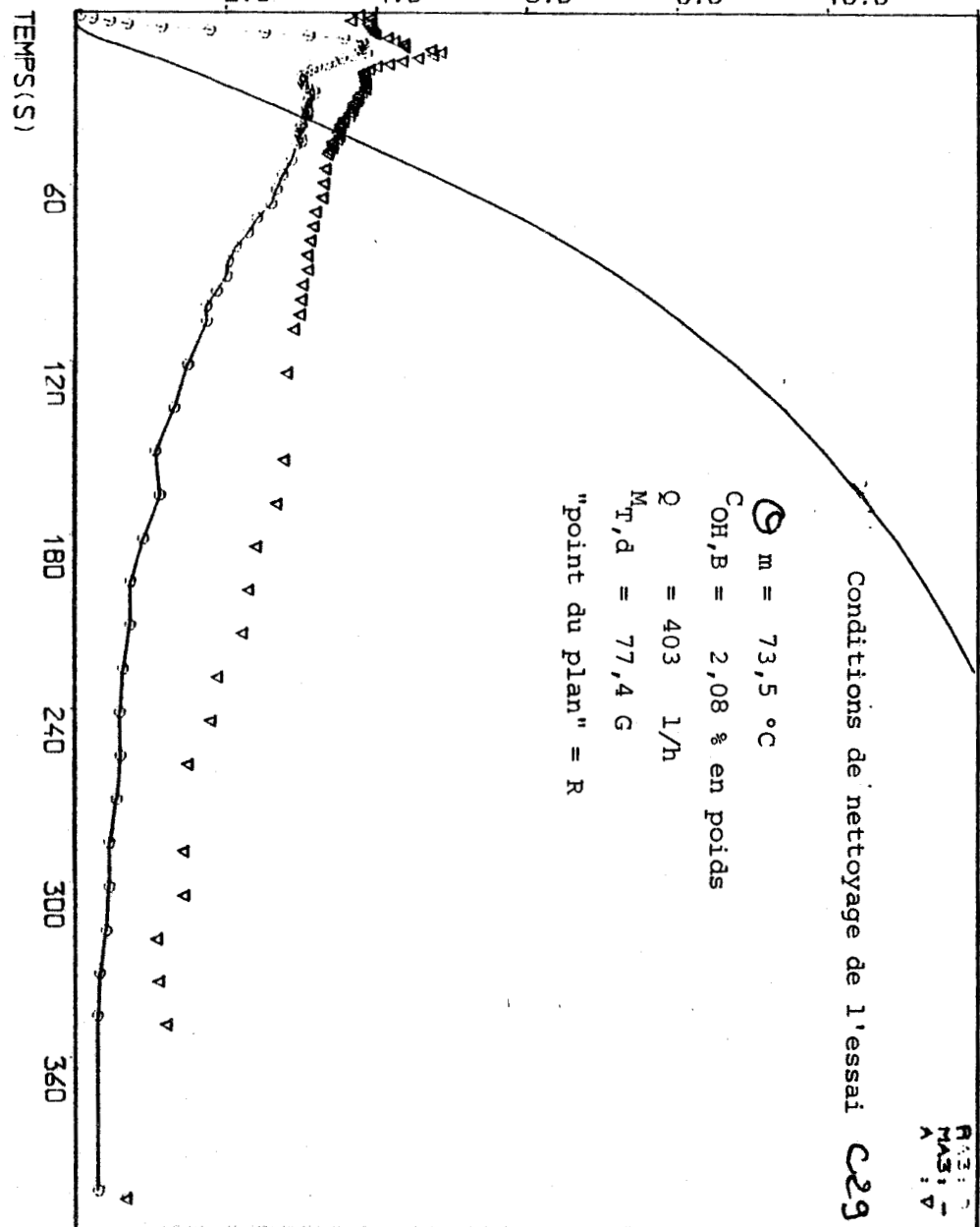
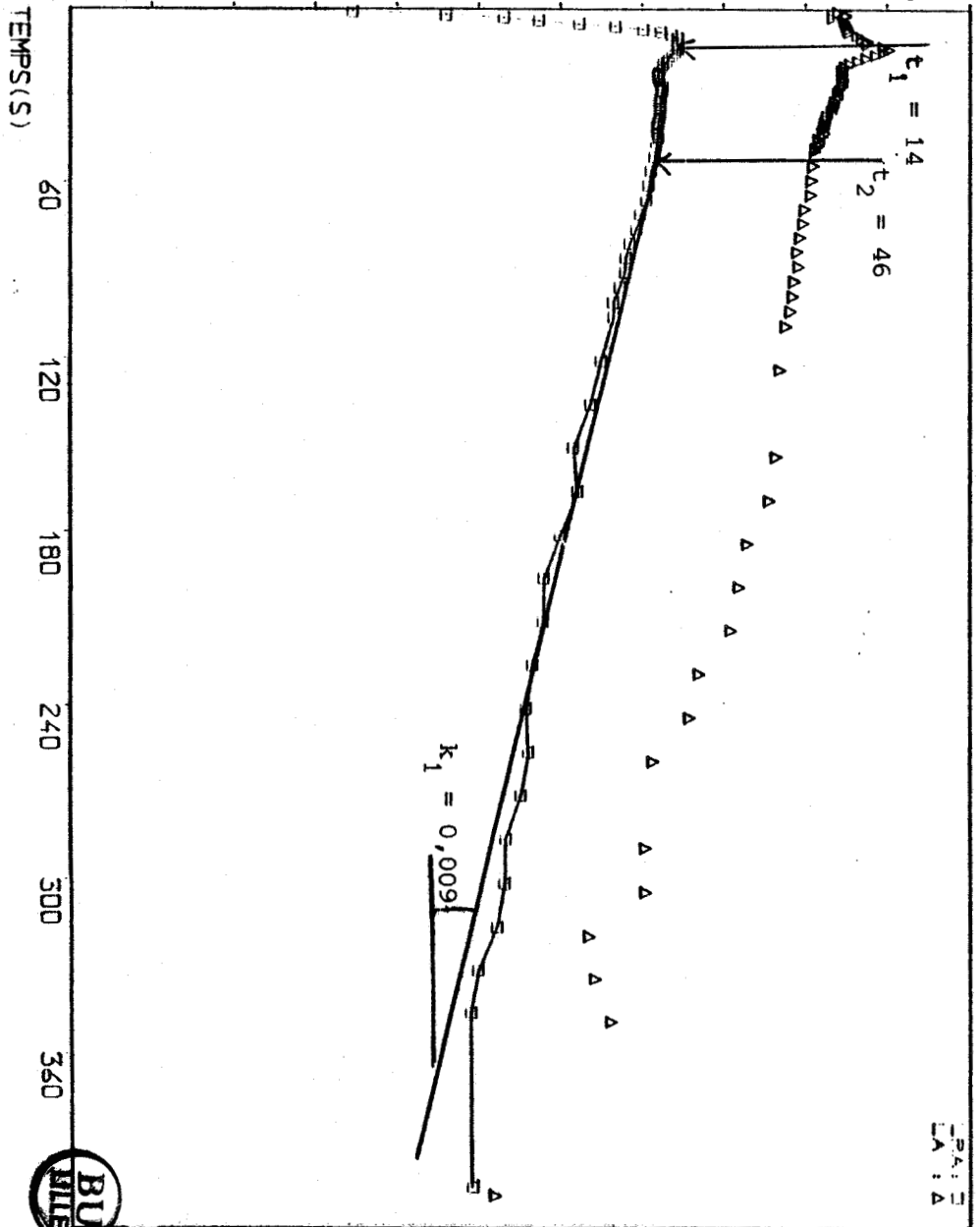
TAUX DE COLMATAGE  
 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

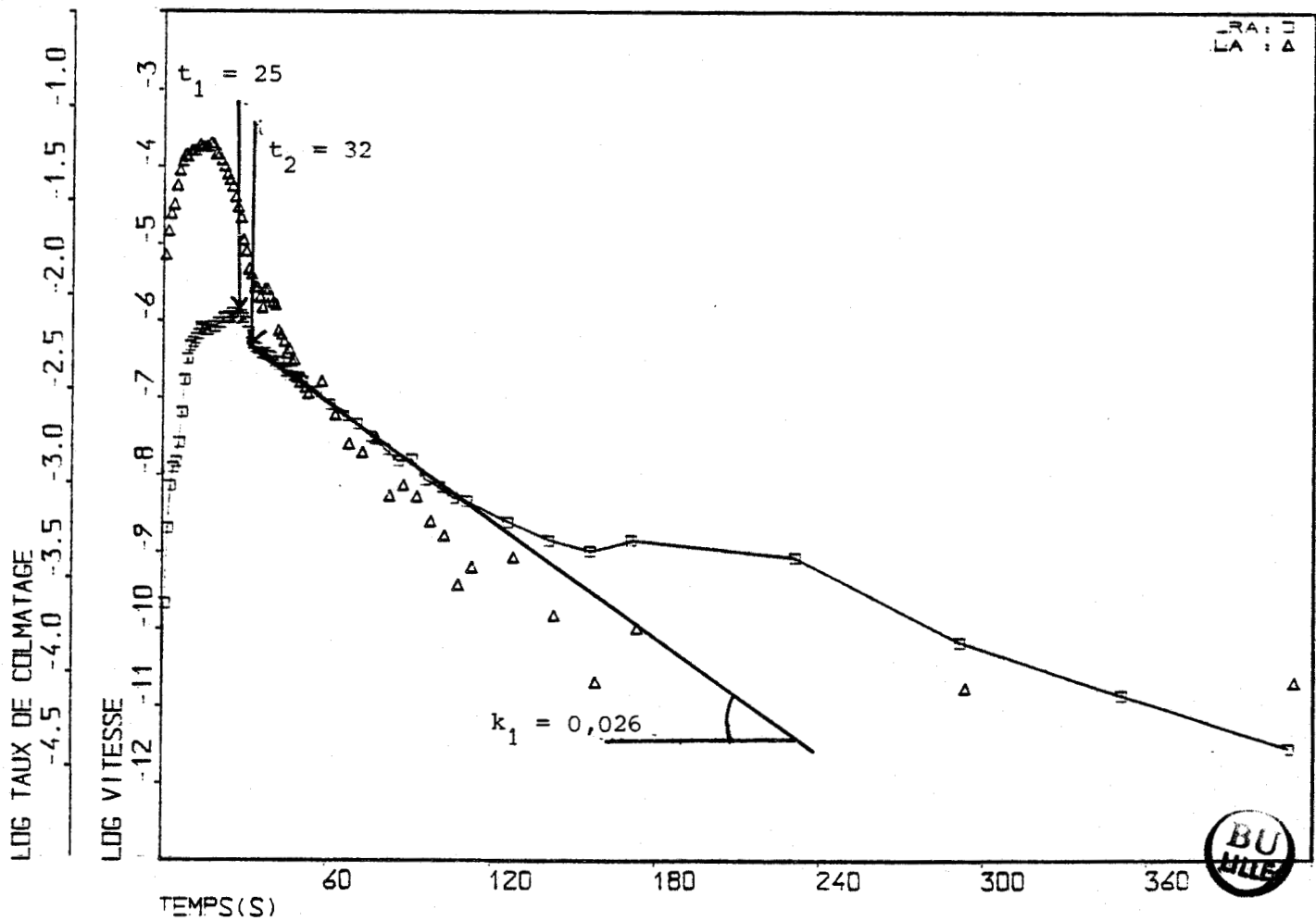
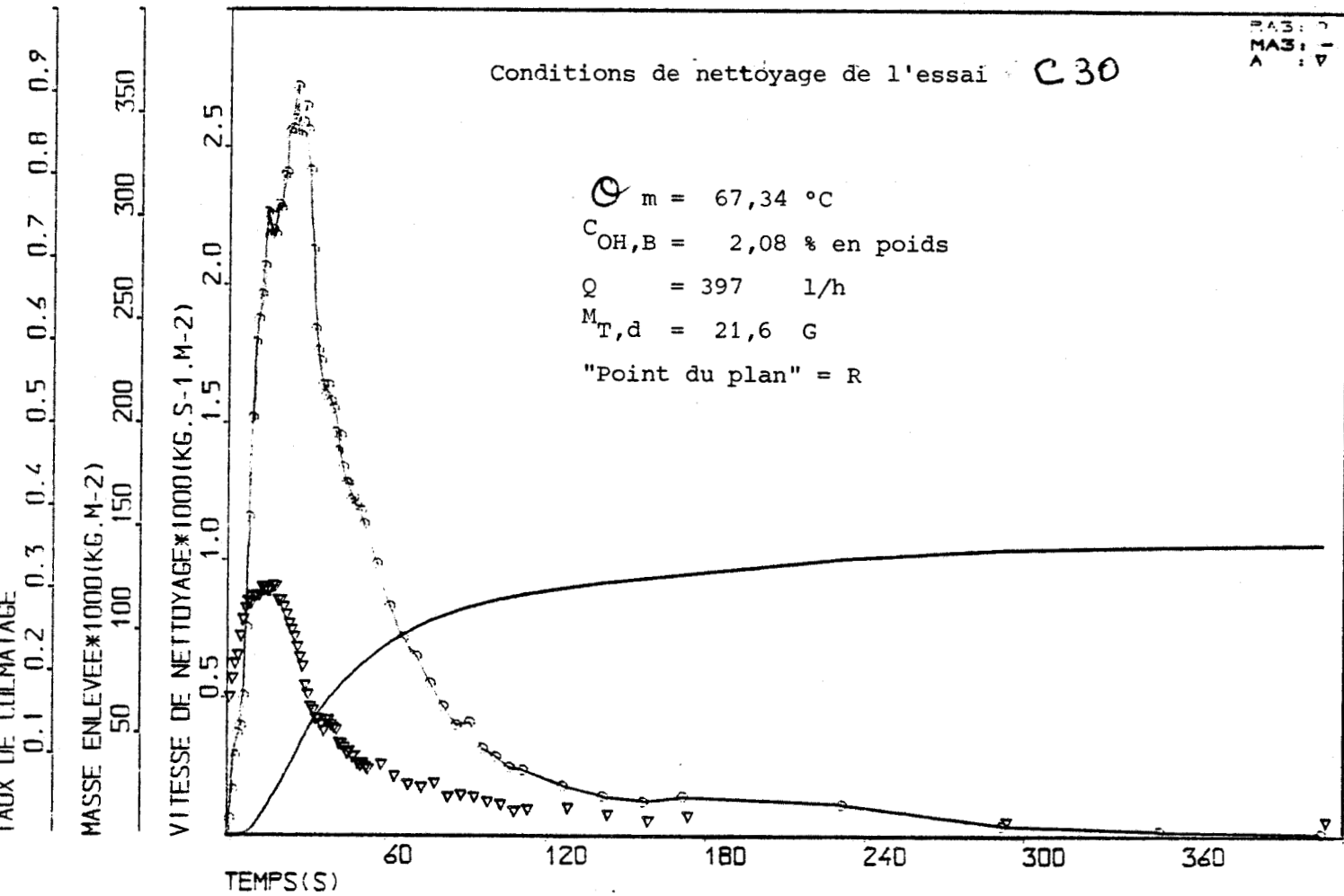
MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
 50 100 150 200 250 300 350

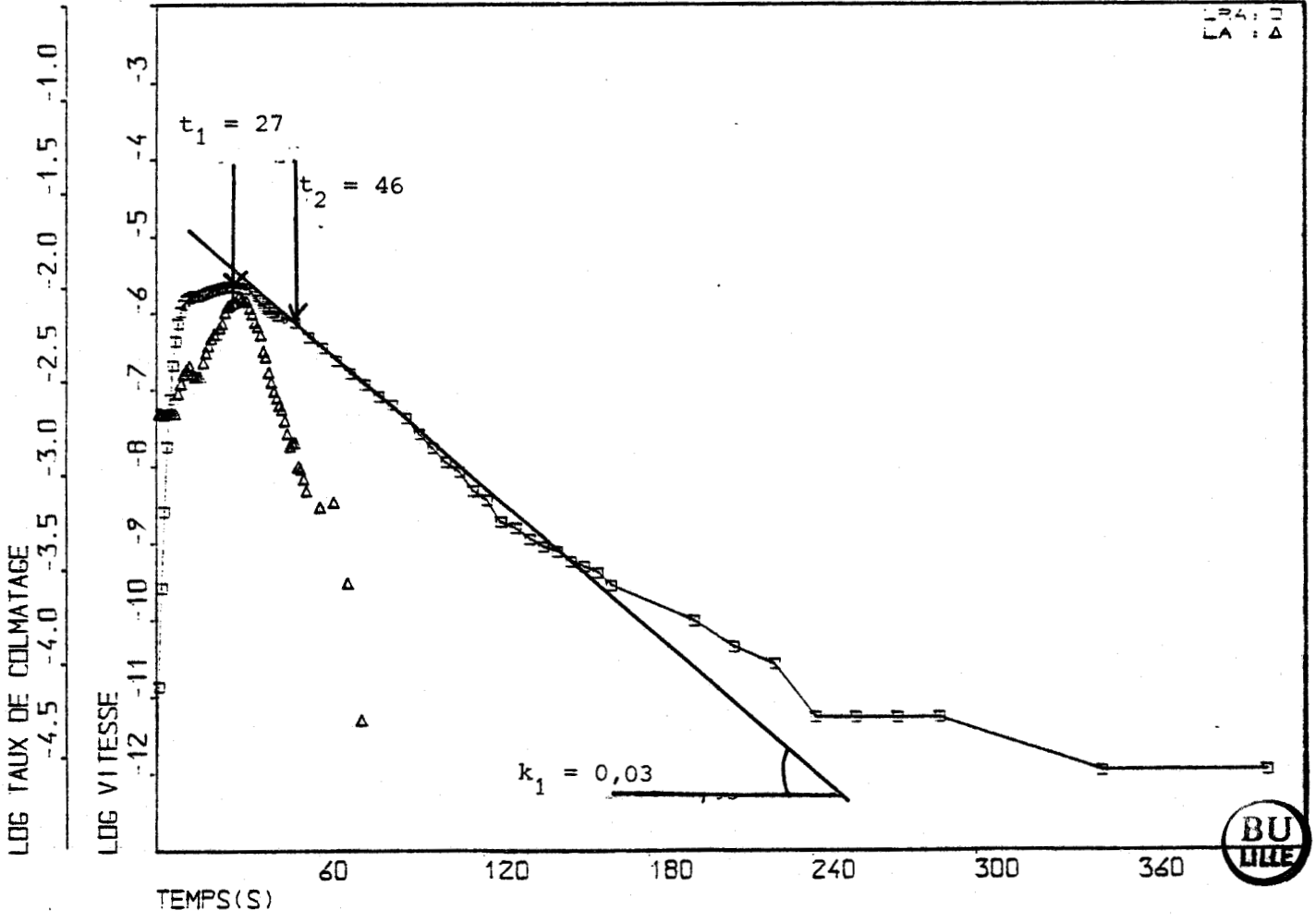
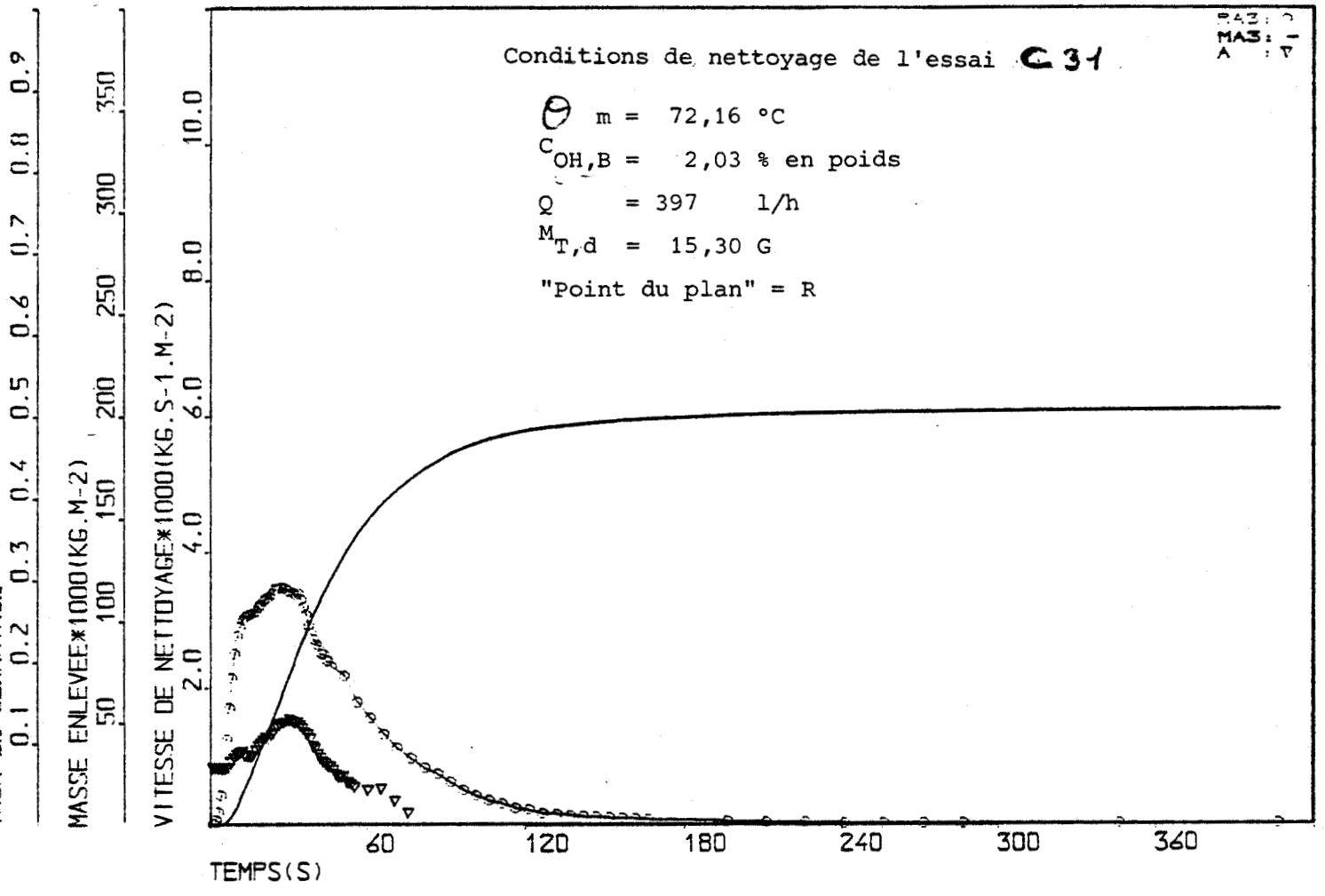
VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)  
 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0

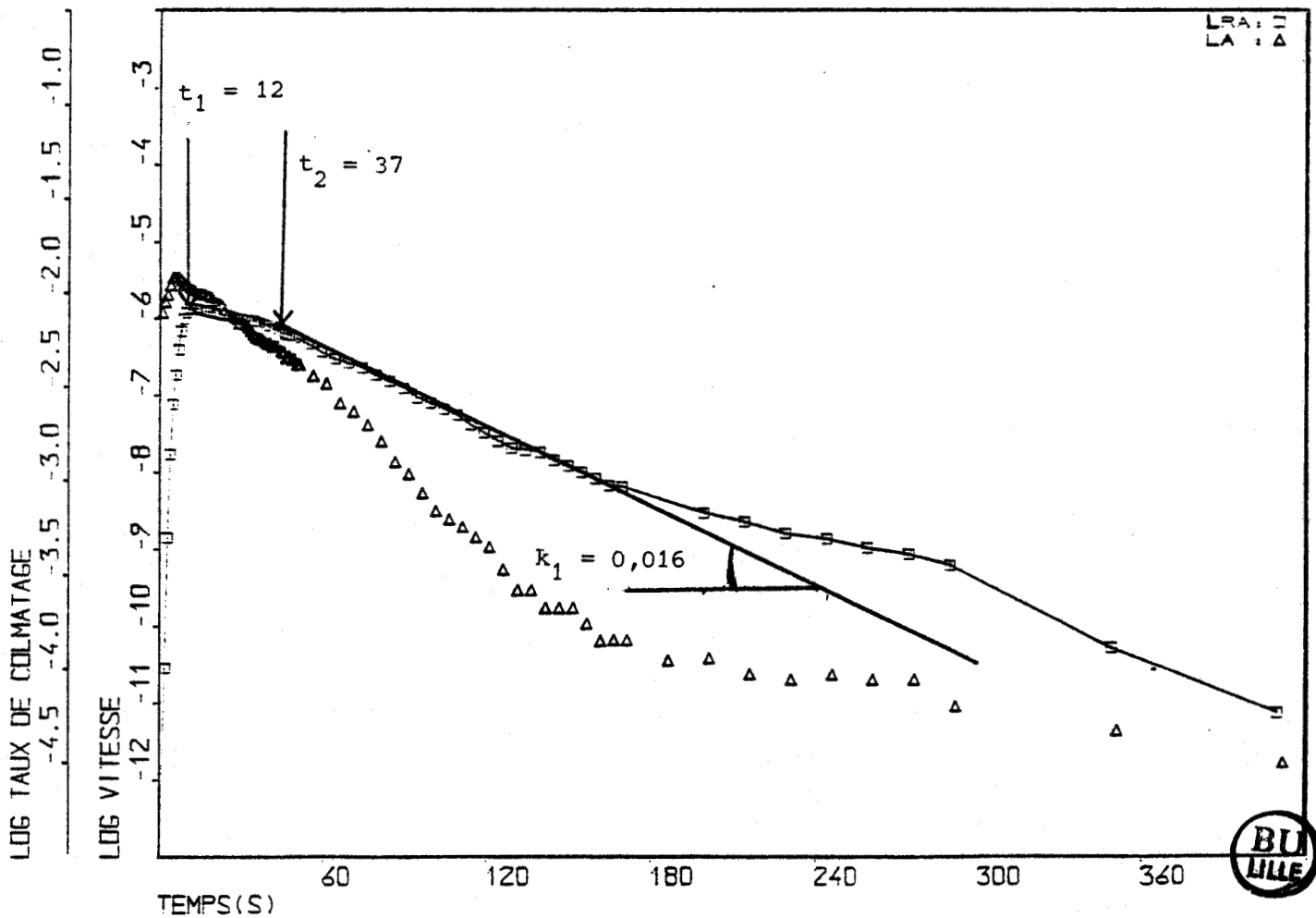
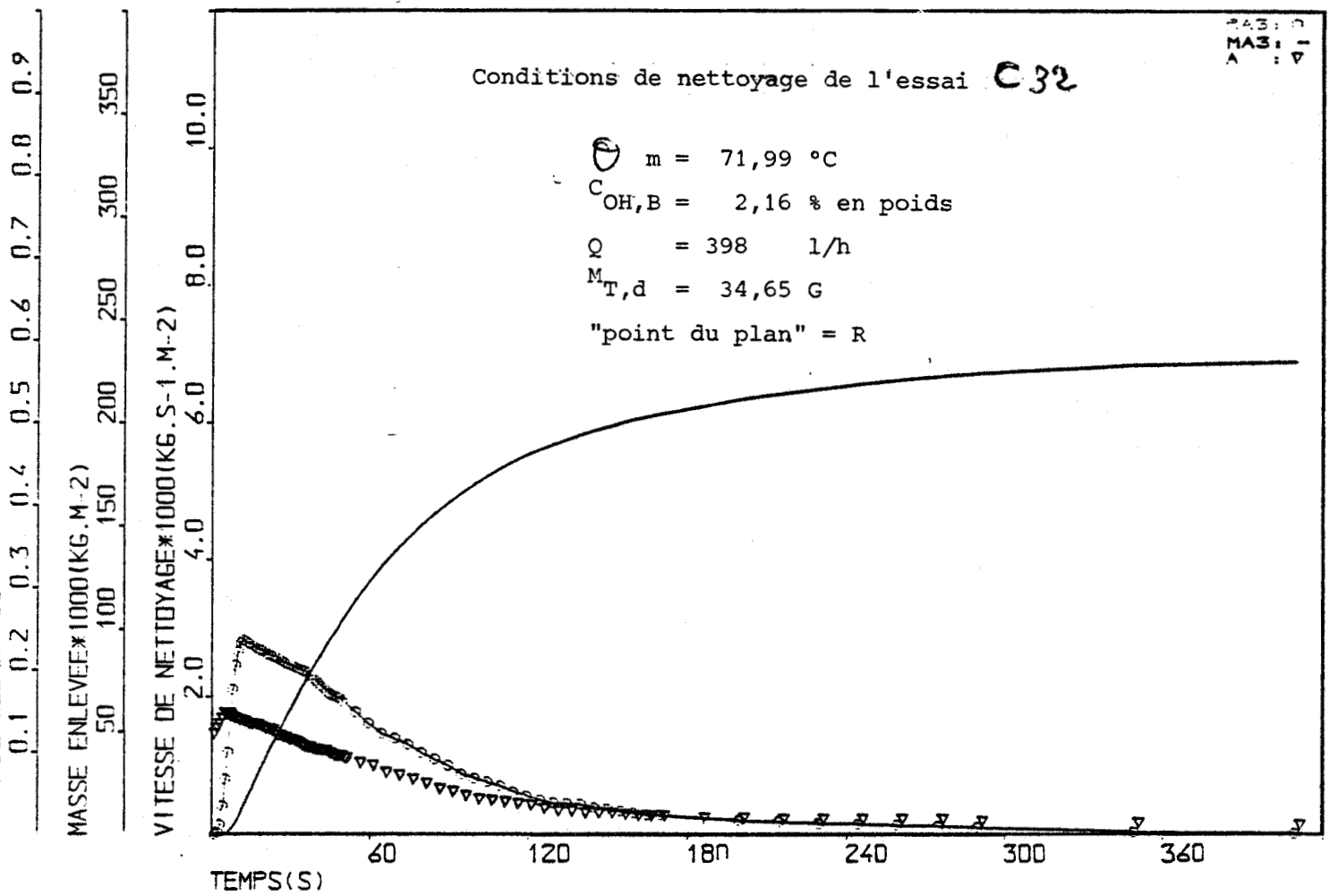
LOG TAUX DE COLMATAGE  
 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE  
 -12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

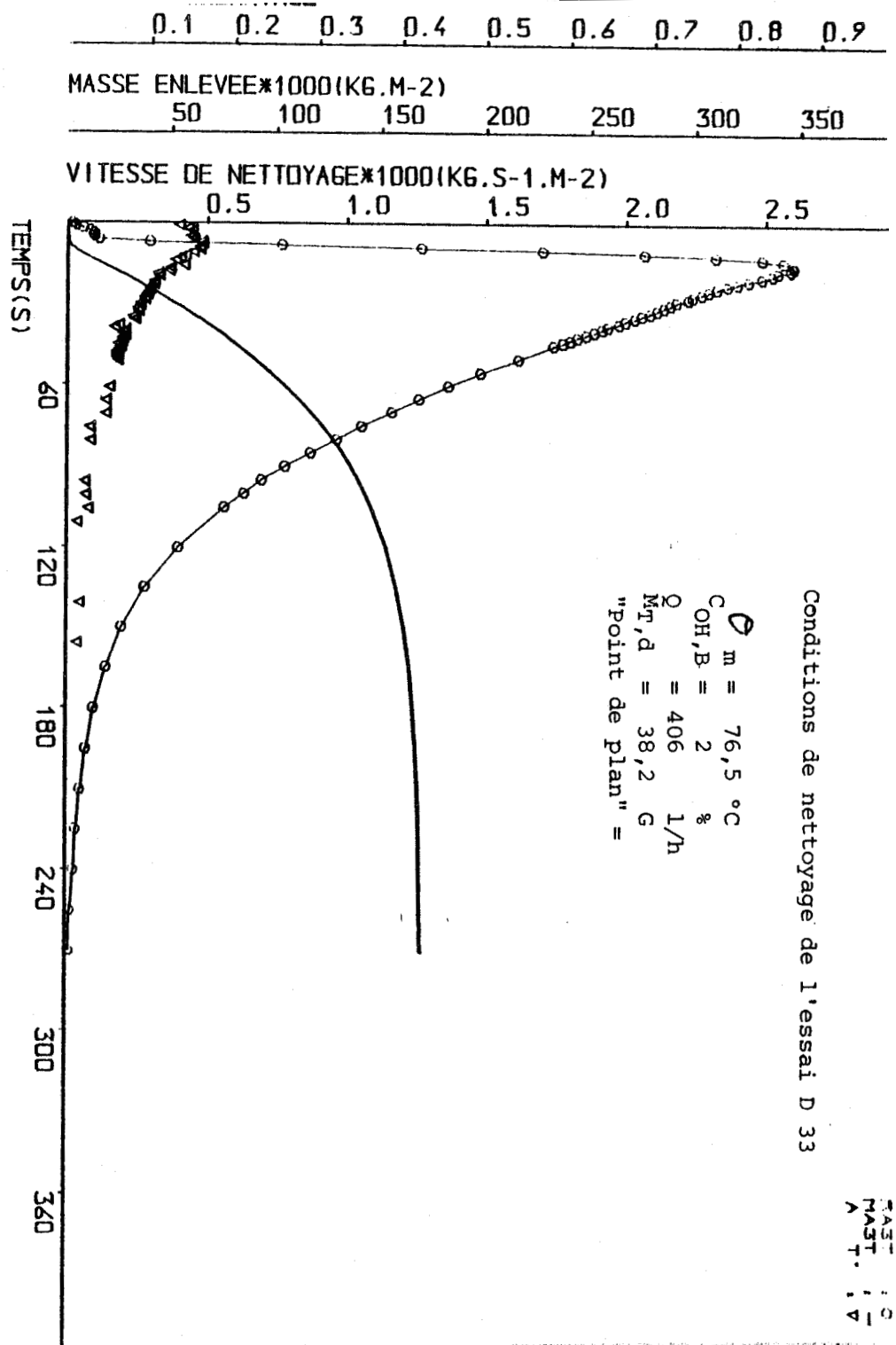
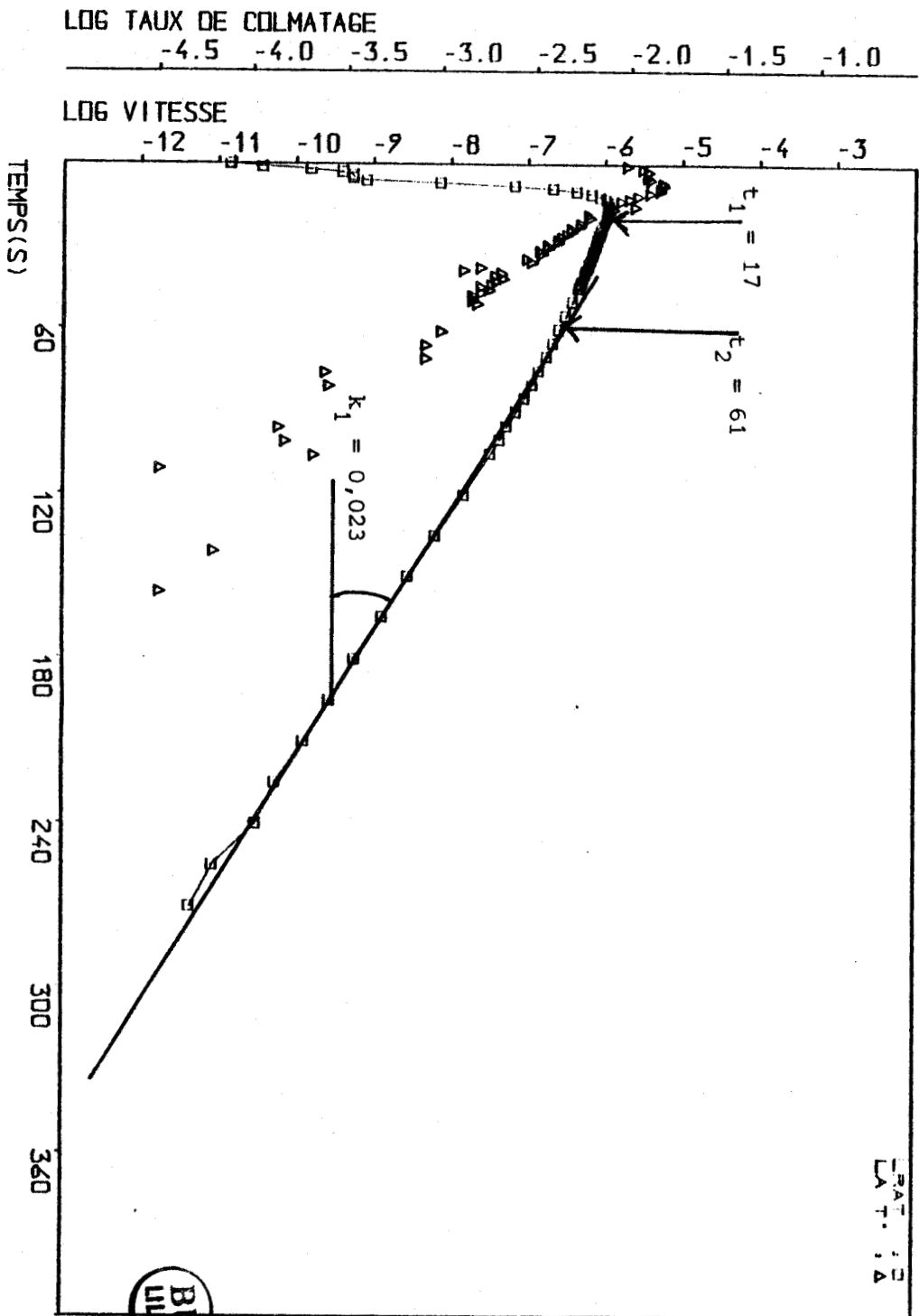










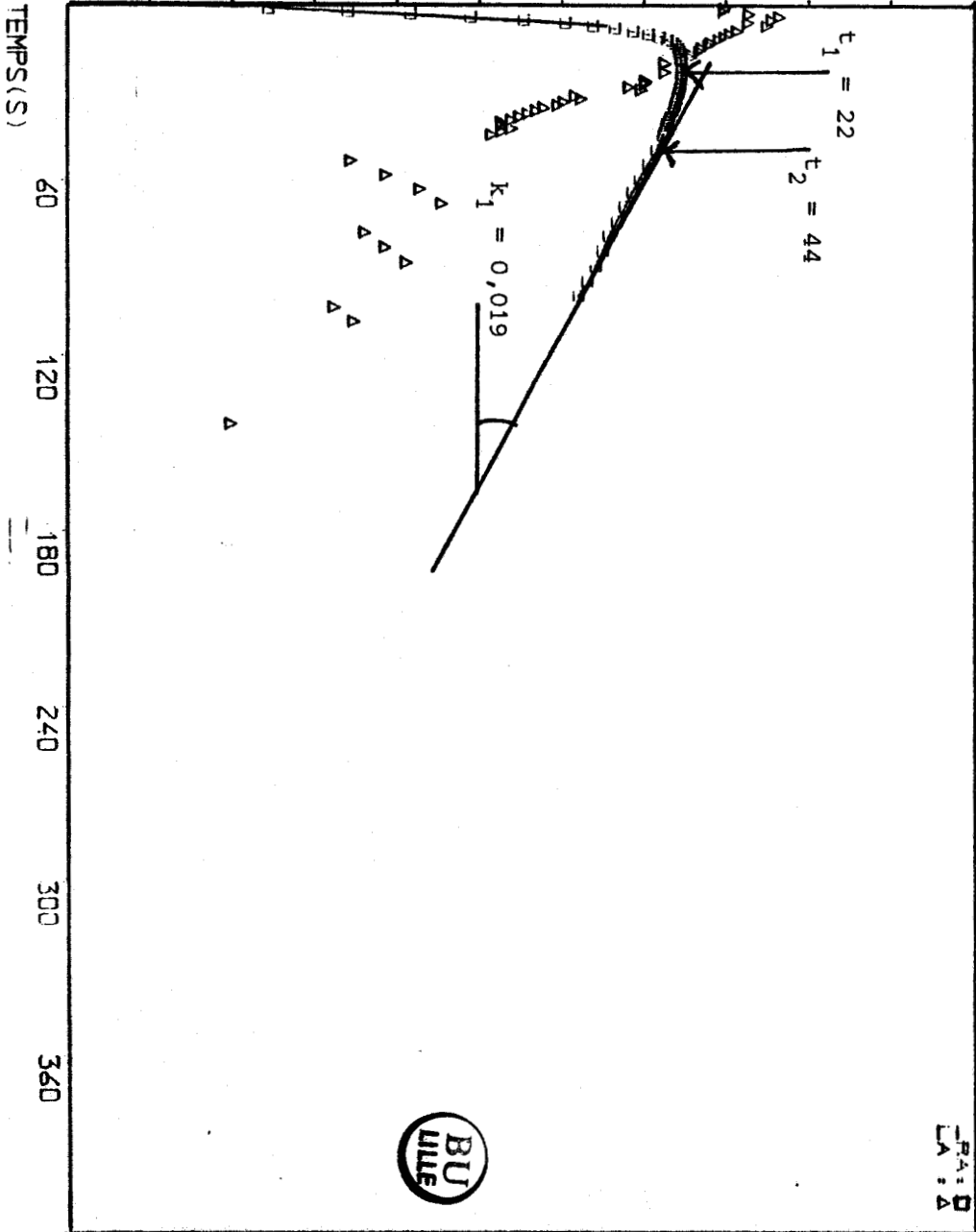


LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

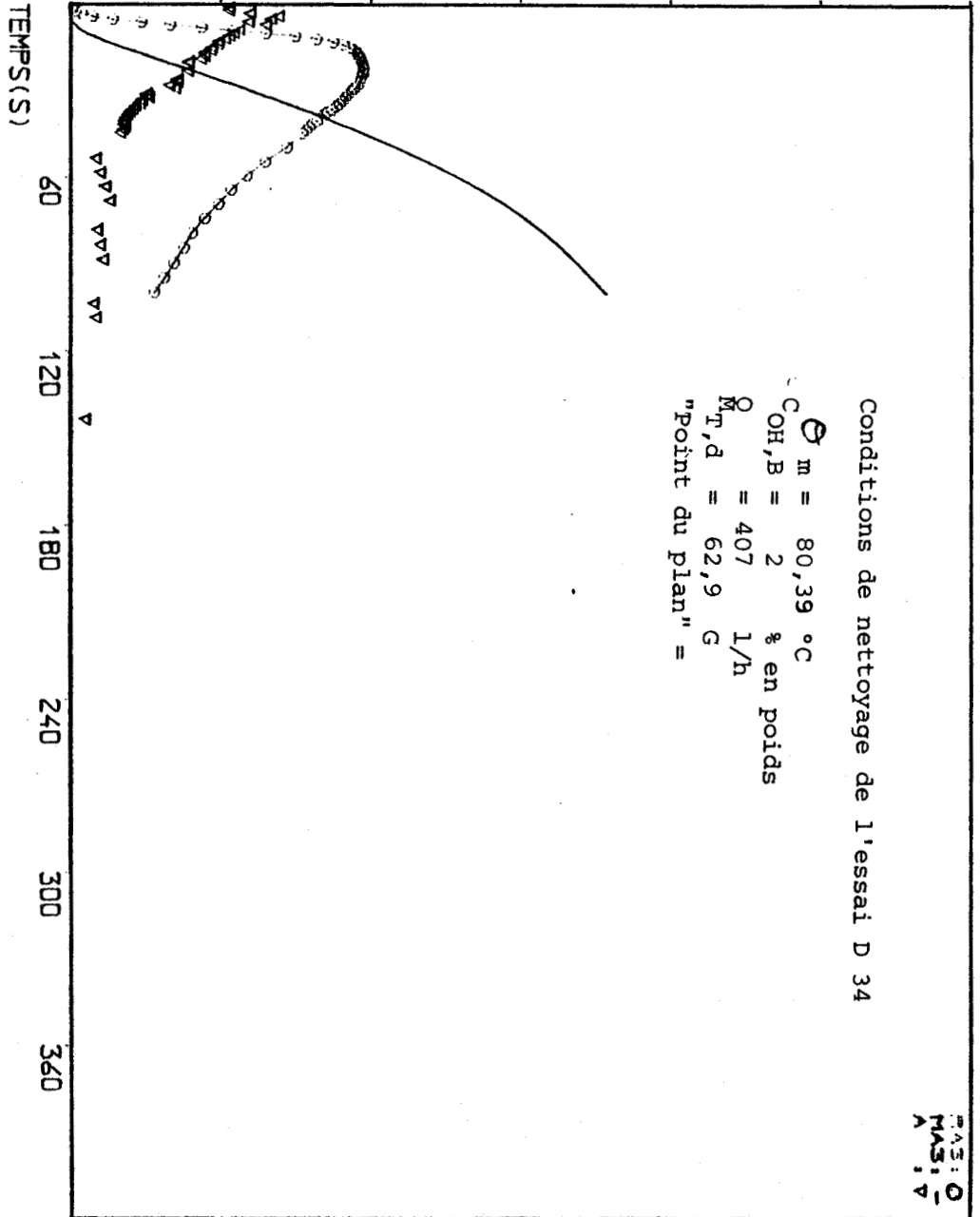


MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

2.0 4.0 6.0 8.0 10.0



Conditions de nettoyage de l'essai D 34

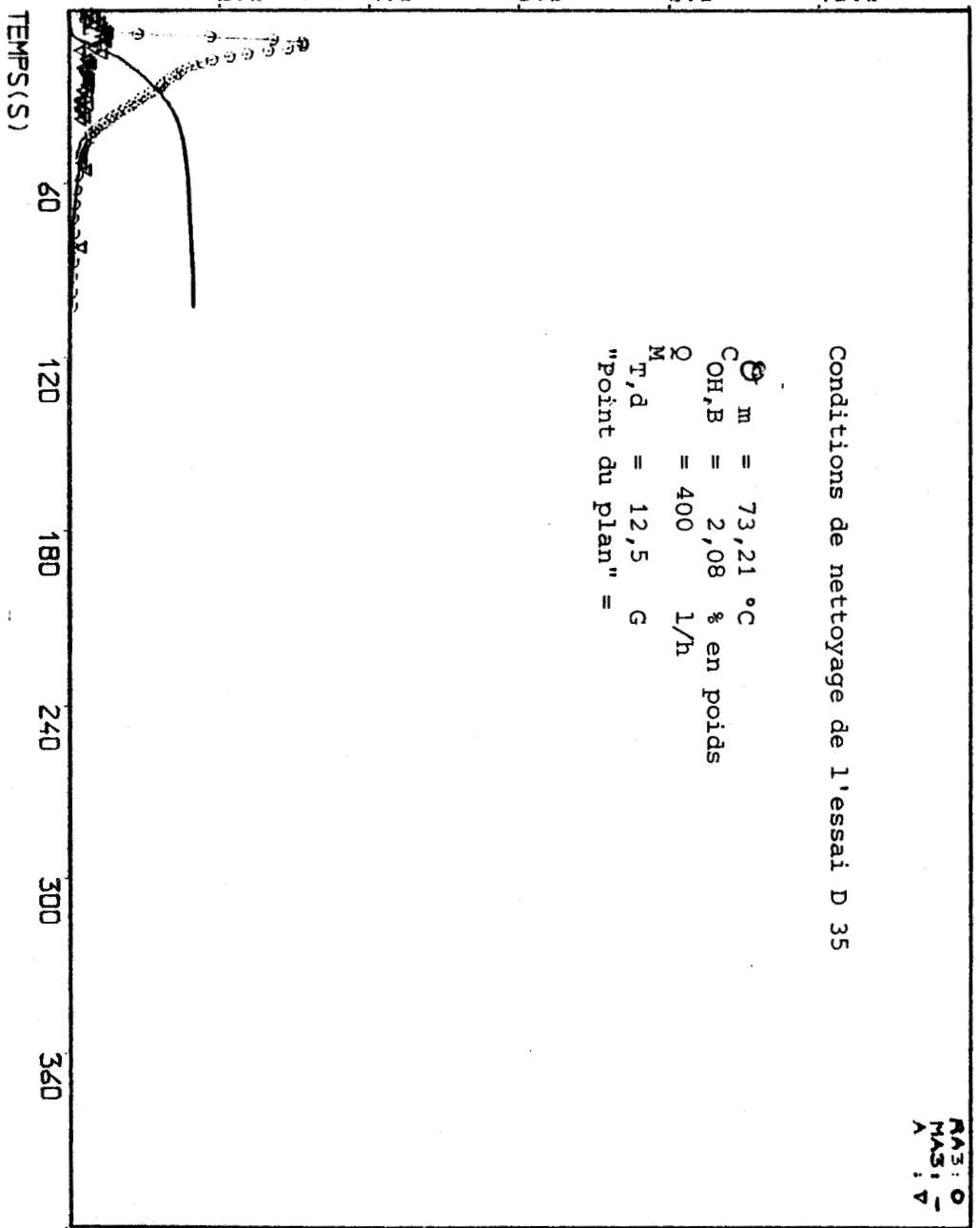
$\Theta_m = 80,39 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2 \text{ \% en poids}$   
 $O = 407 \text{ l/h}$   
 $M_T, d = 62,9 \text{ G}$   
"point du plan" =

PA:O  
MAS:V

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

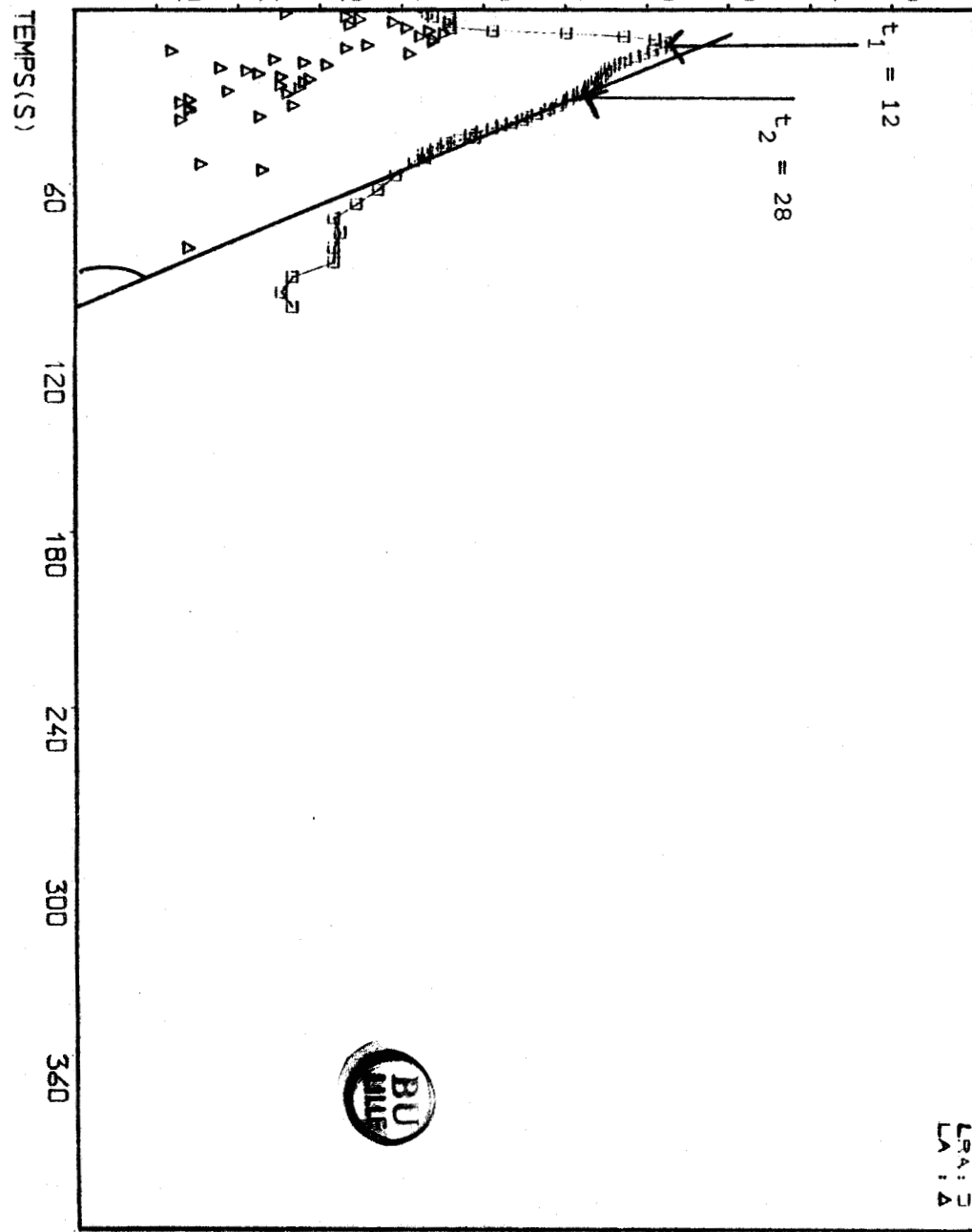
MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)  
50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)  
2.0 4.0 6.0 8.0 10.0



LOG TAUX DE COLMATAGE  
-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE  
-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3



RAS: 0  
MAS: 1  
A: 1

### Conditions de nettoyage de l'essai D 36

$\theta_m = 78,6 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C_{OH,B} = 2,03 \text{ \% en poids}$   
 $\omega = 398 \text{ l/h}$   
 $M_{T,d} = 81 \text{ G}$   
"Point du plan" =

MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

10.0

8.0

6.0

4.0

2.0

TEMPS(S)

60

120

180

240

300

360

-3

-4

-5

-6

-7

-8

-9

-10

-11

-12

TEMPS(S)

60

120

180

240

300

360



RA: 0  
LA: 1

LOG TAUX DE COLMATAGE

-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

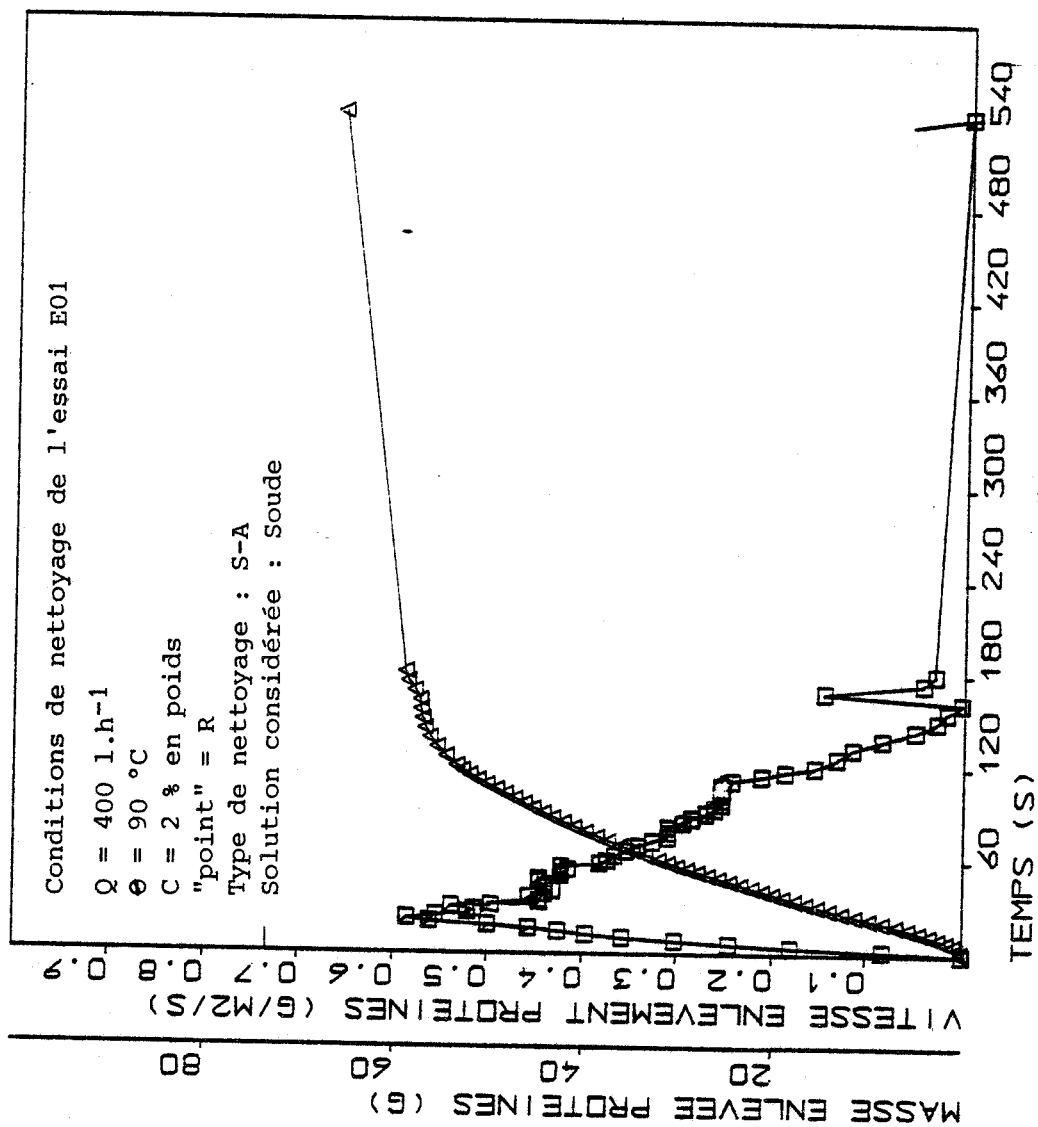
-3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12

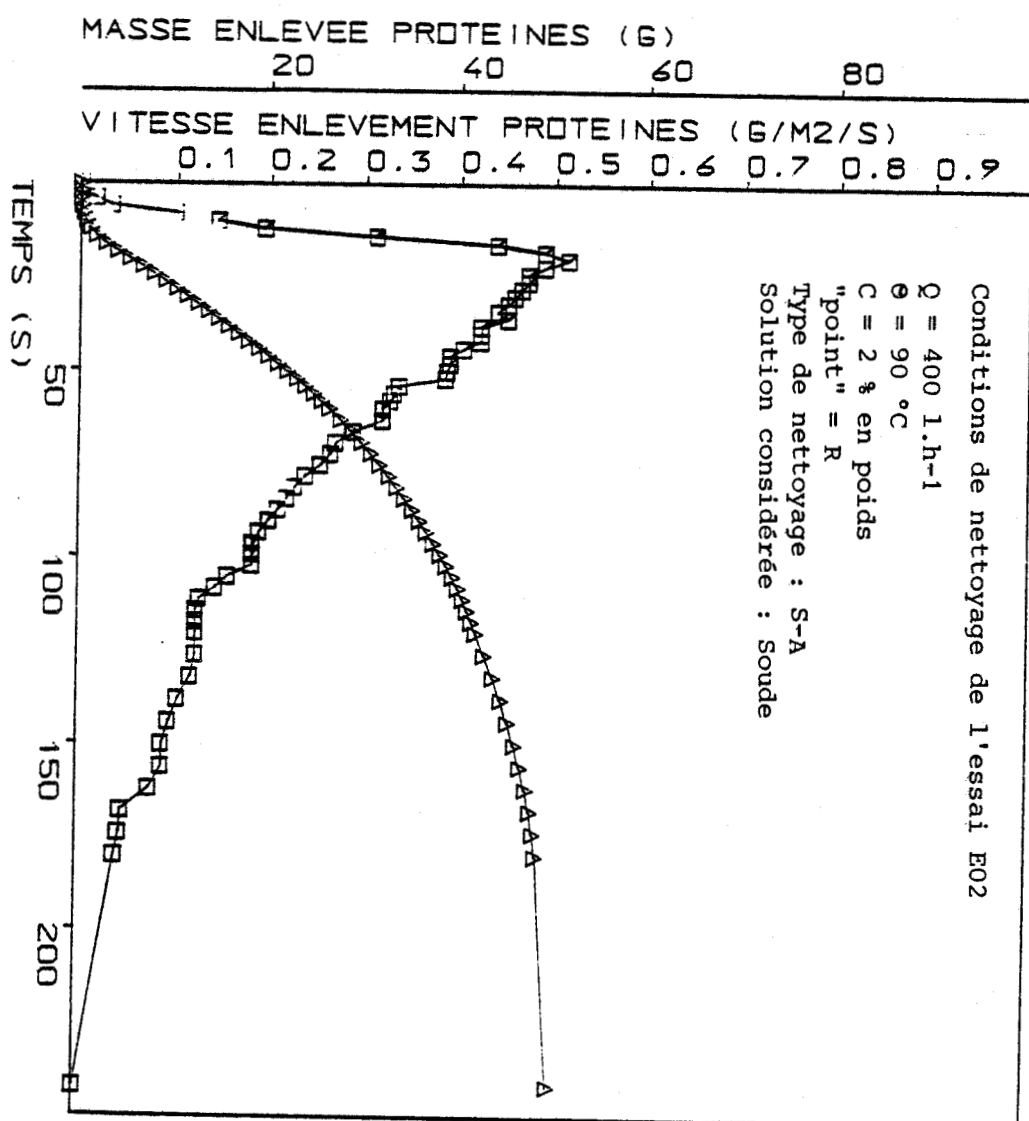
$t_1 = 14$

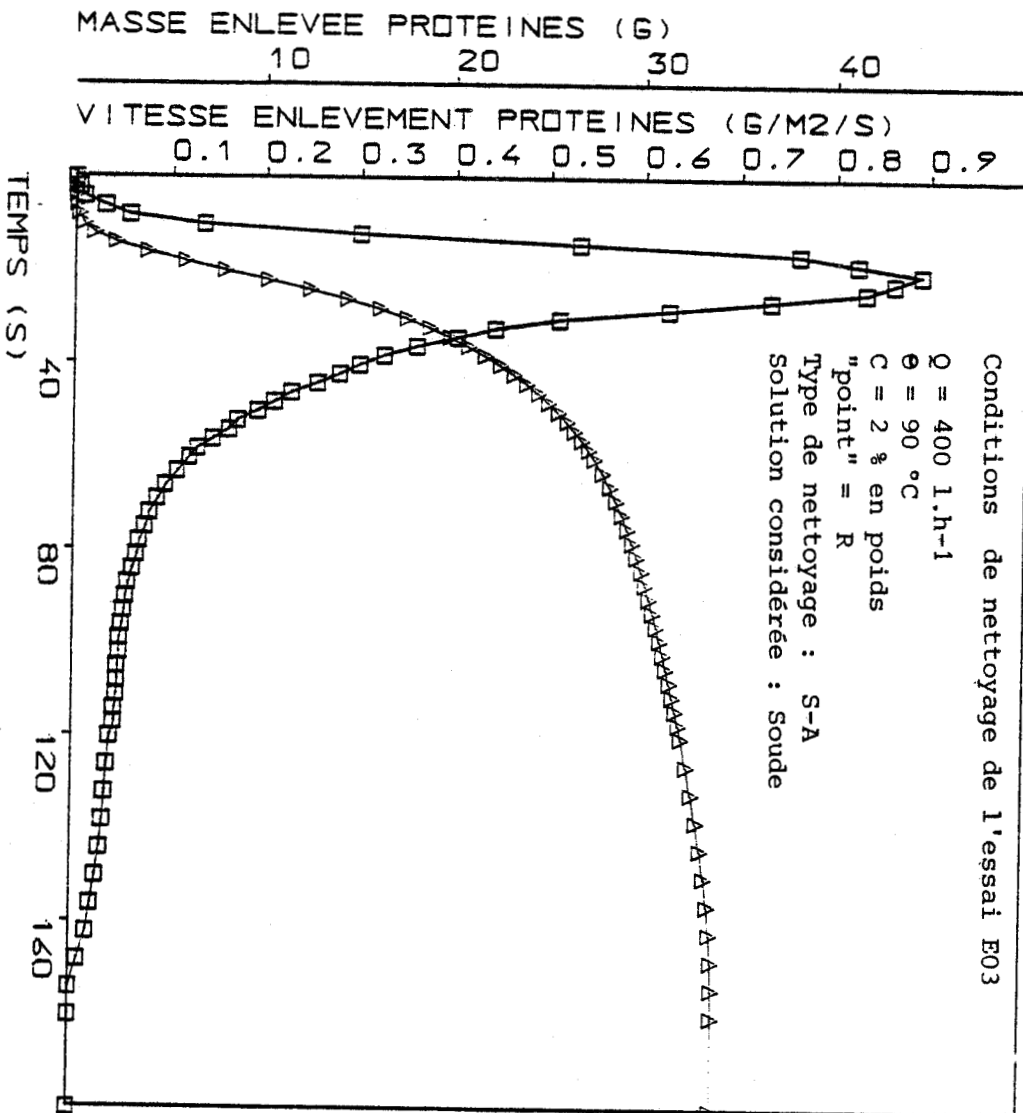
$t_2 = 83$

$k_1 = 0,087$

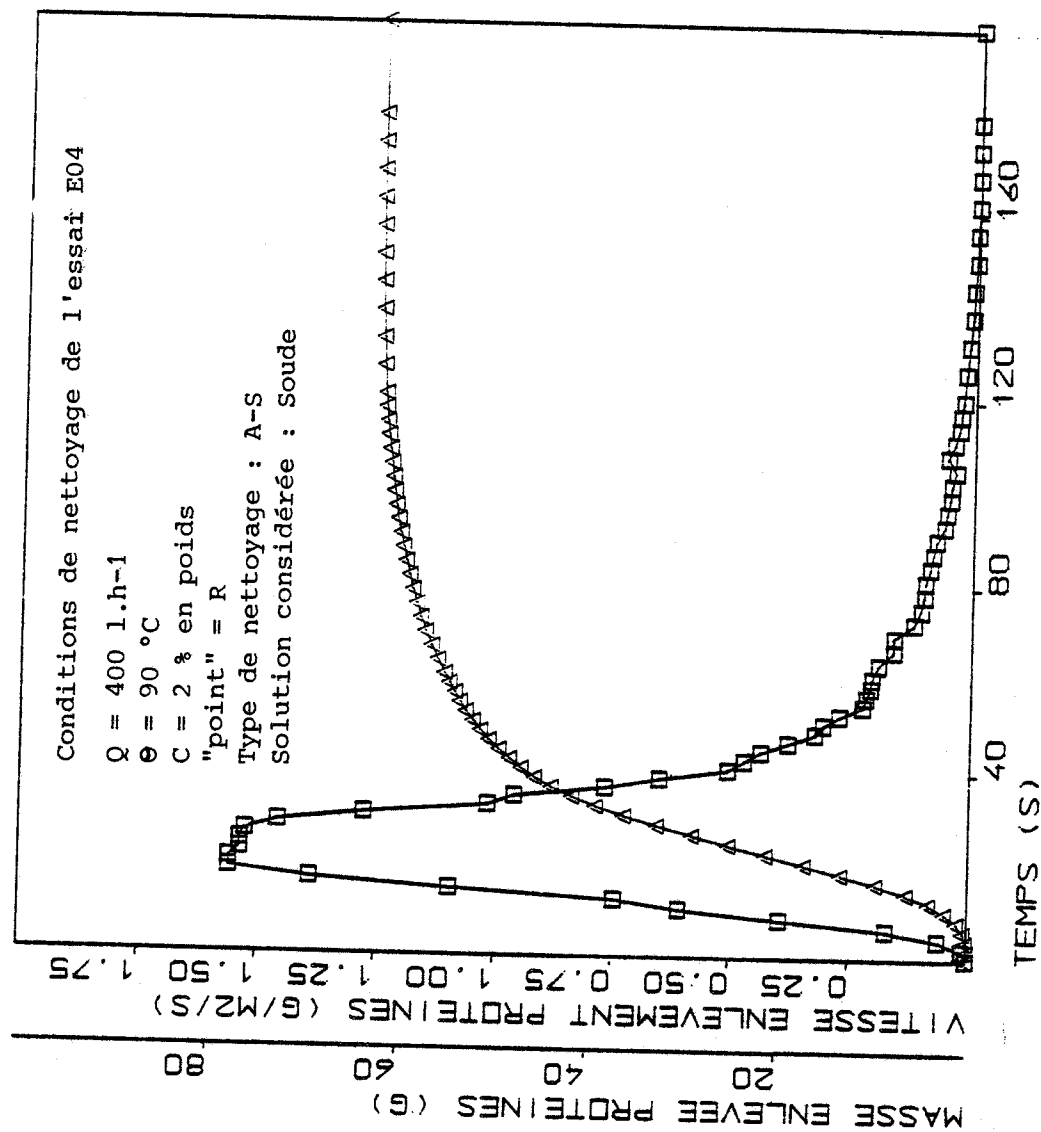
b) CAS DU STERILISATEUR

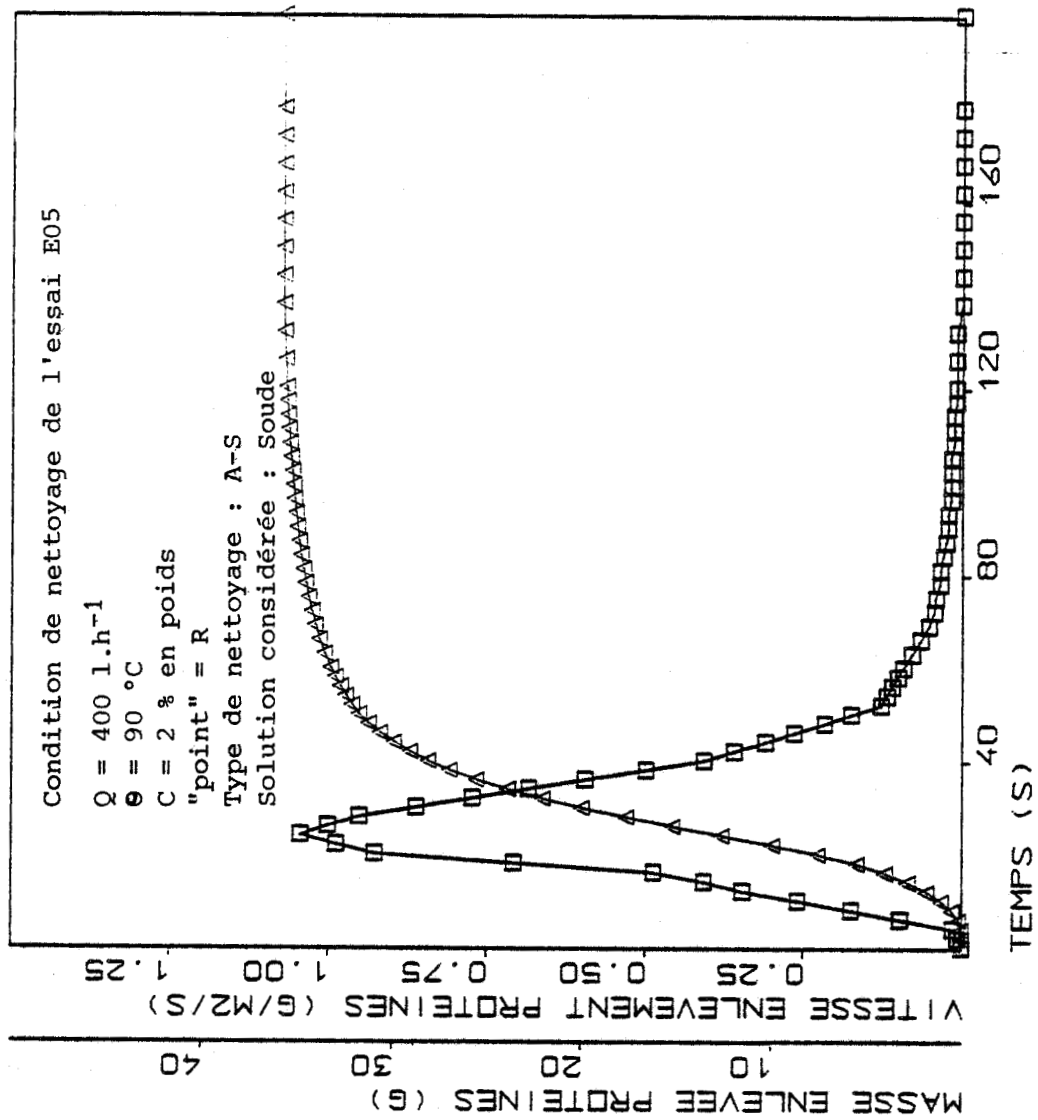


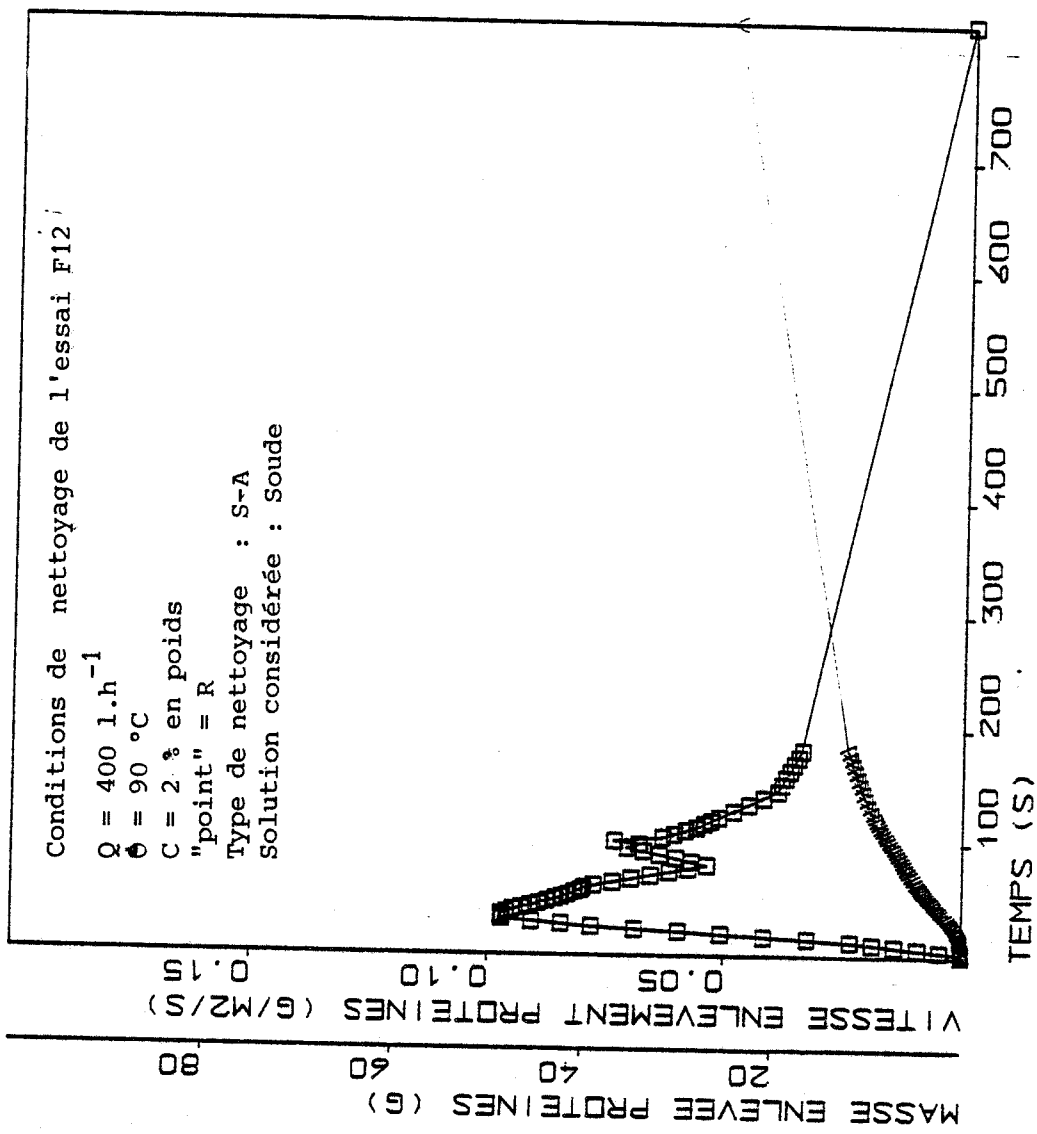












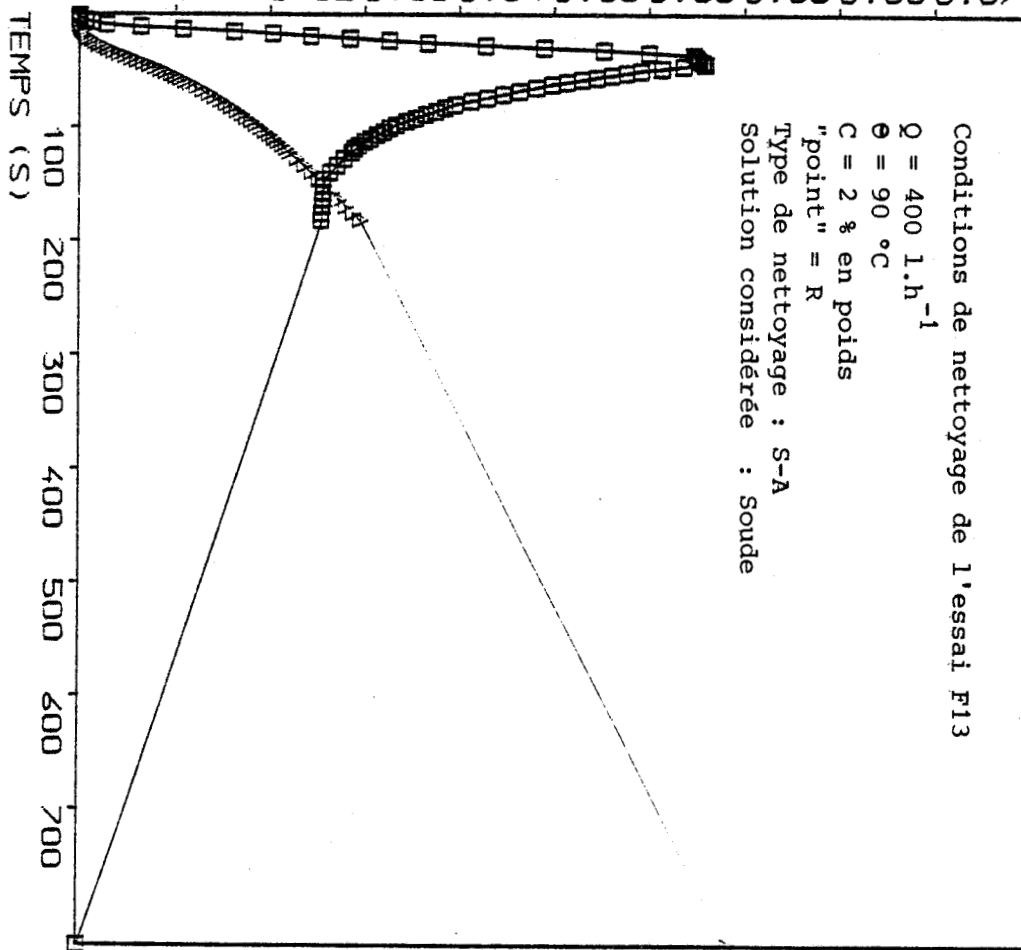


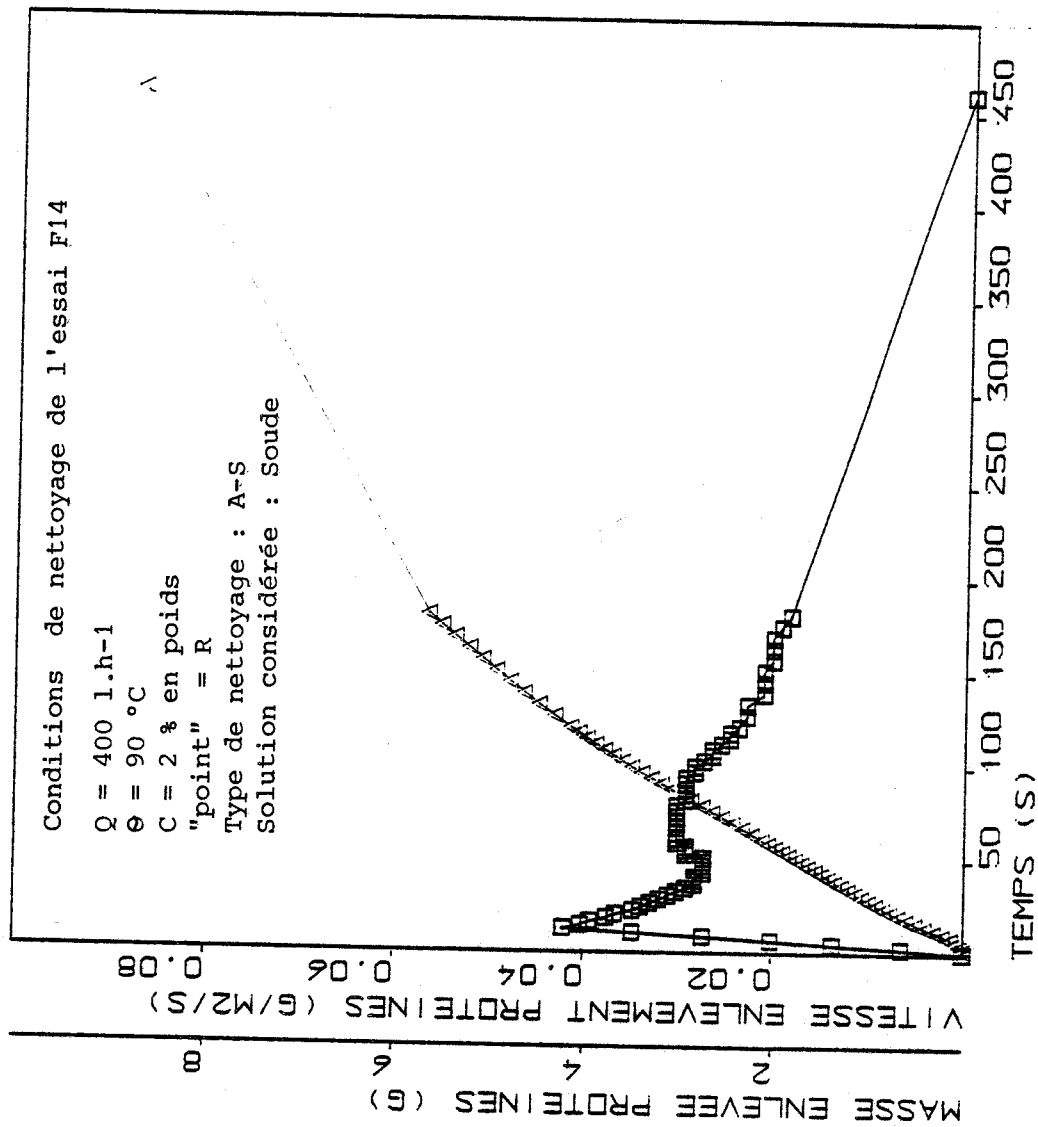
MASSE ENLEVEE PROTEINES (G)

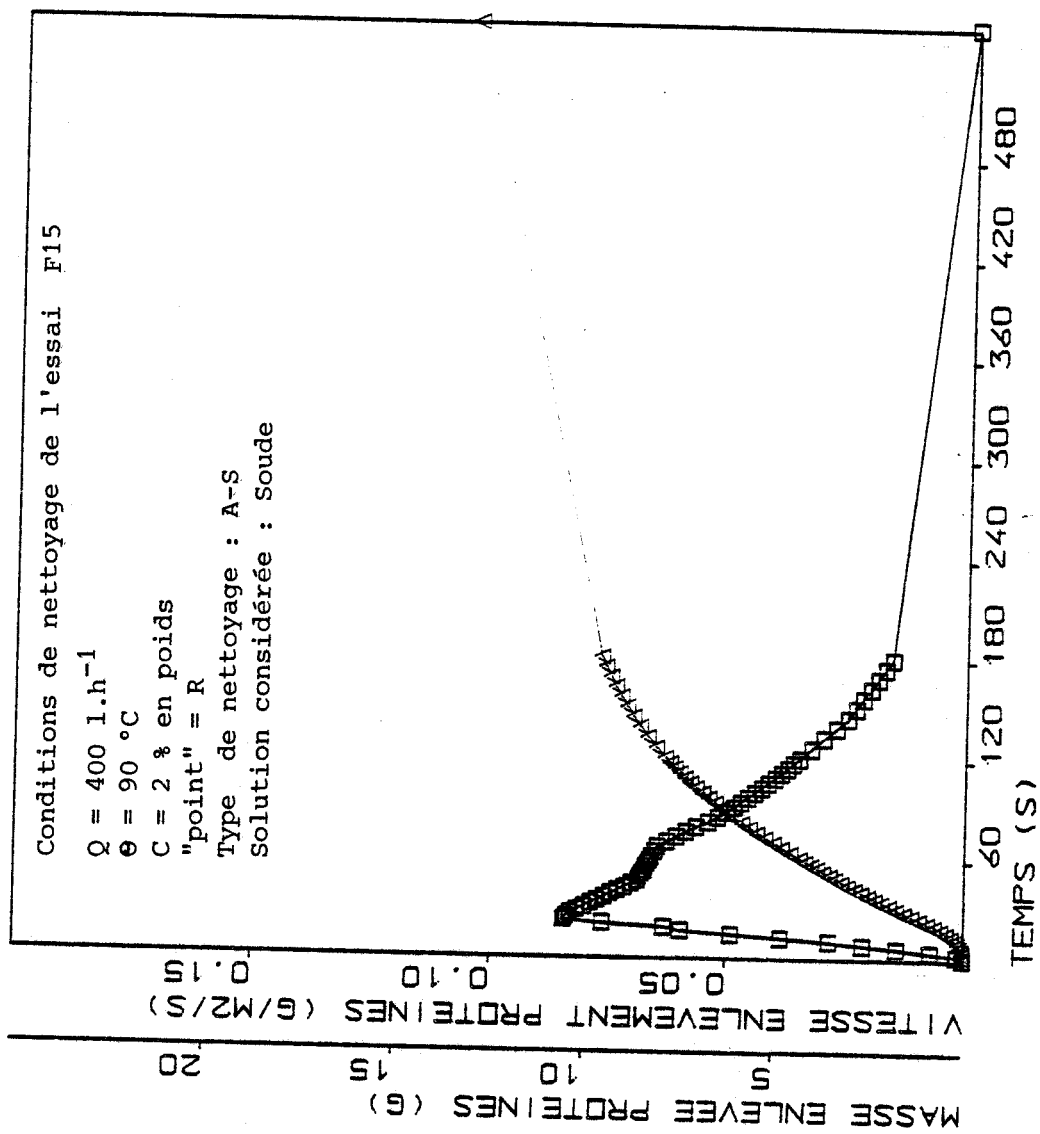
5 10 15 20

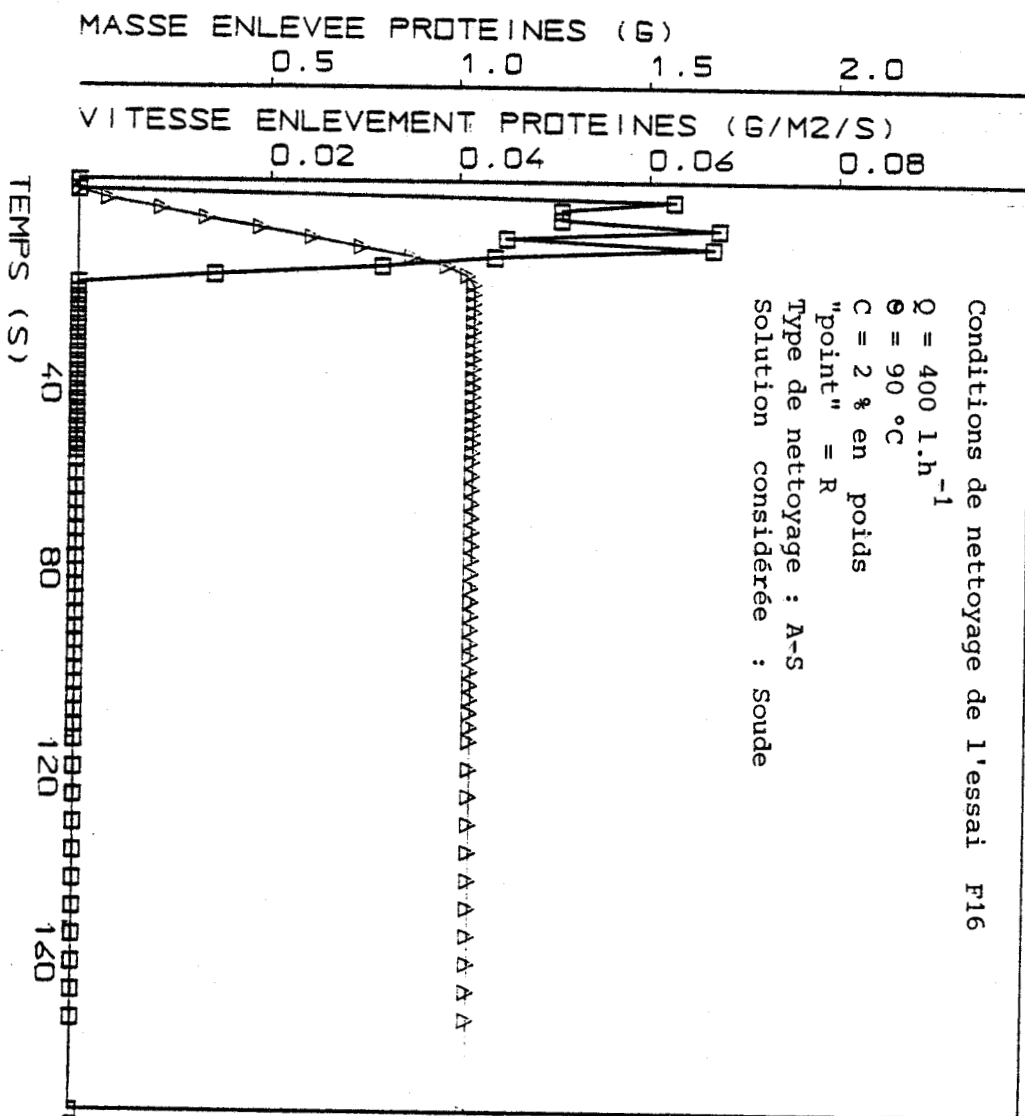
VITESSE ENLEVEMENT PROTEINES (G/M2/S)

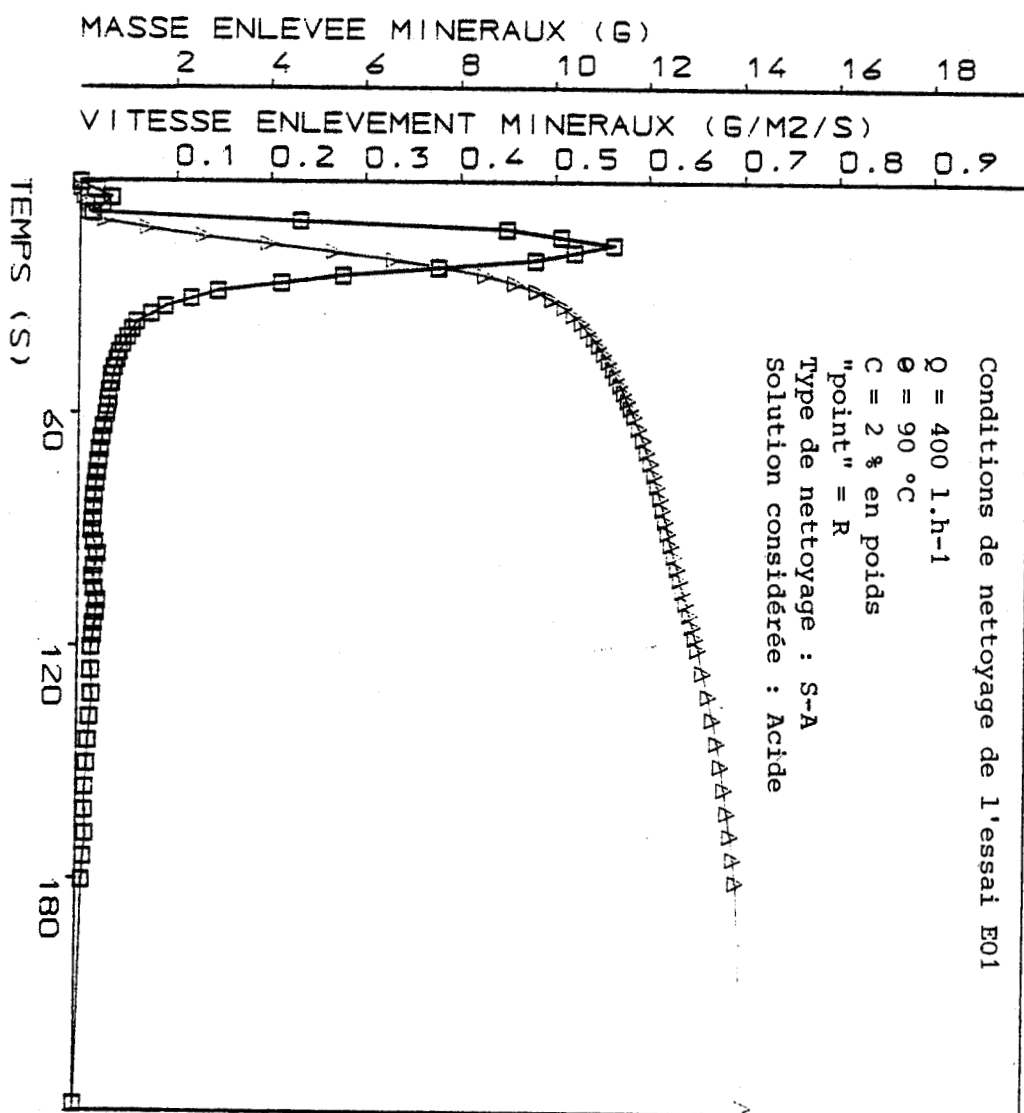
0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.06 0.08 0.09



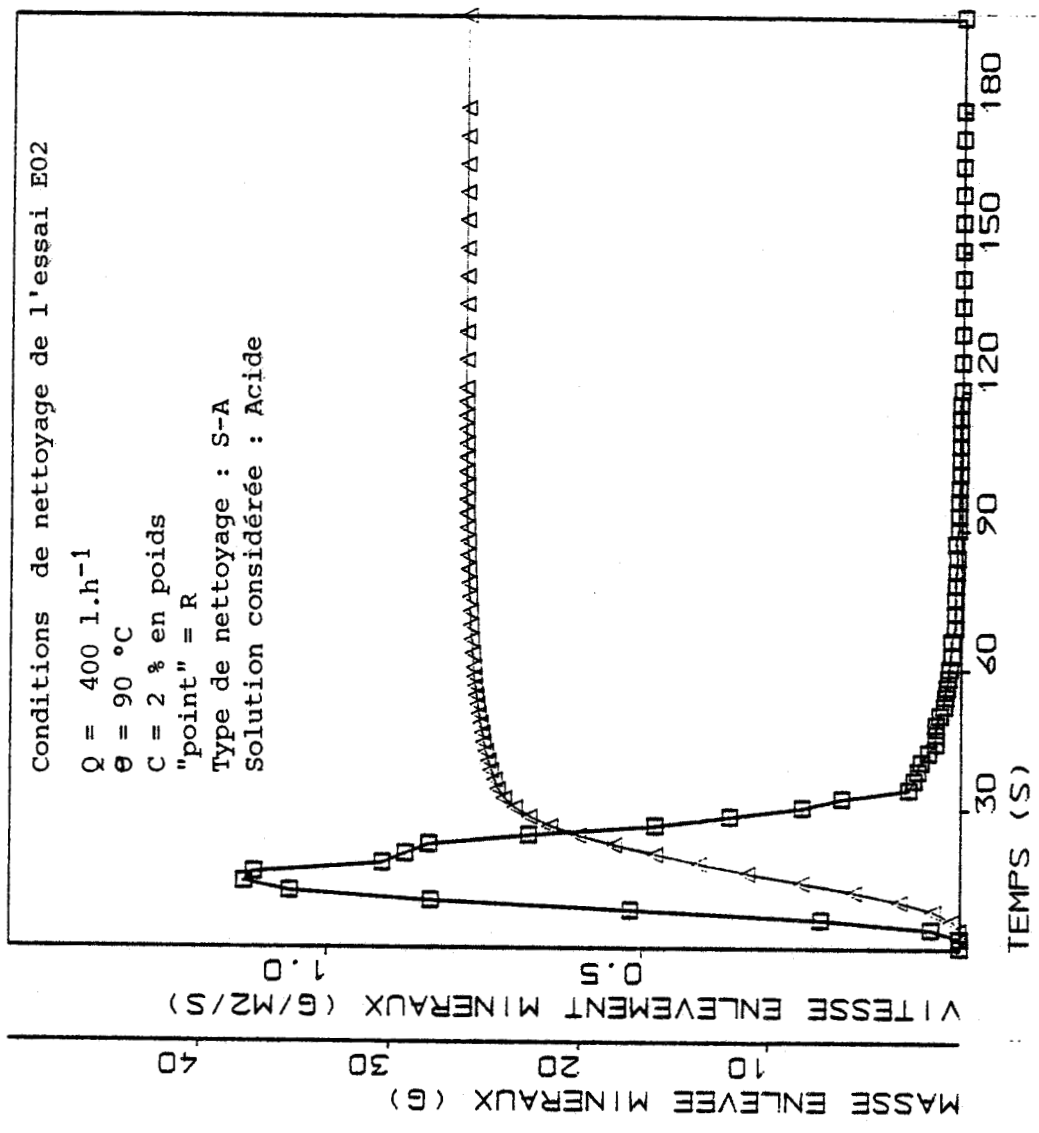


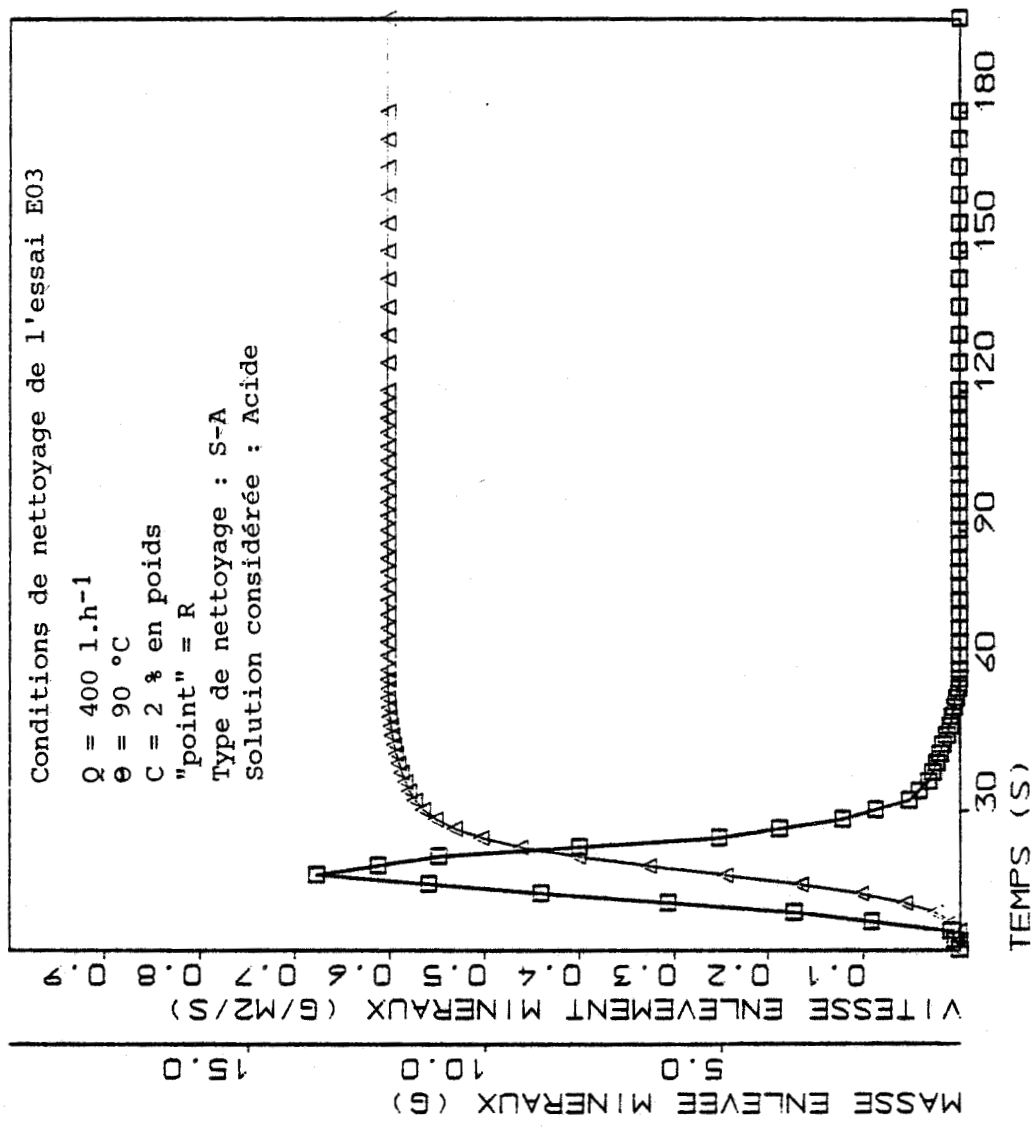


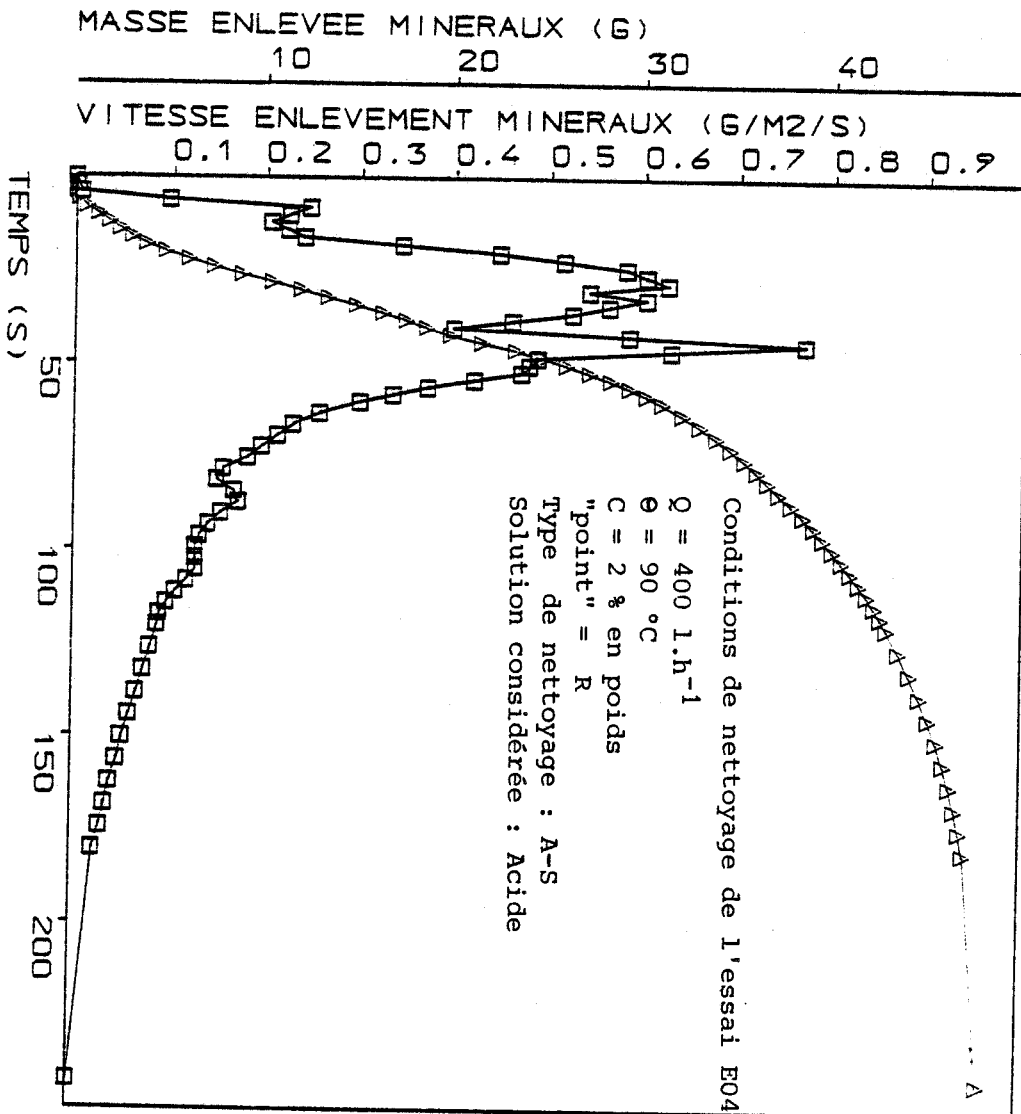


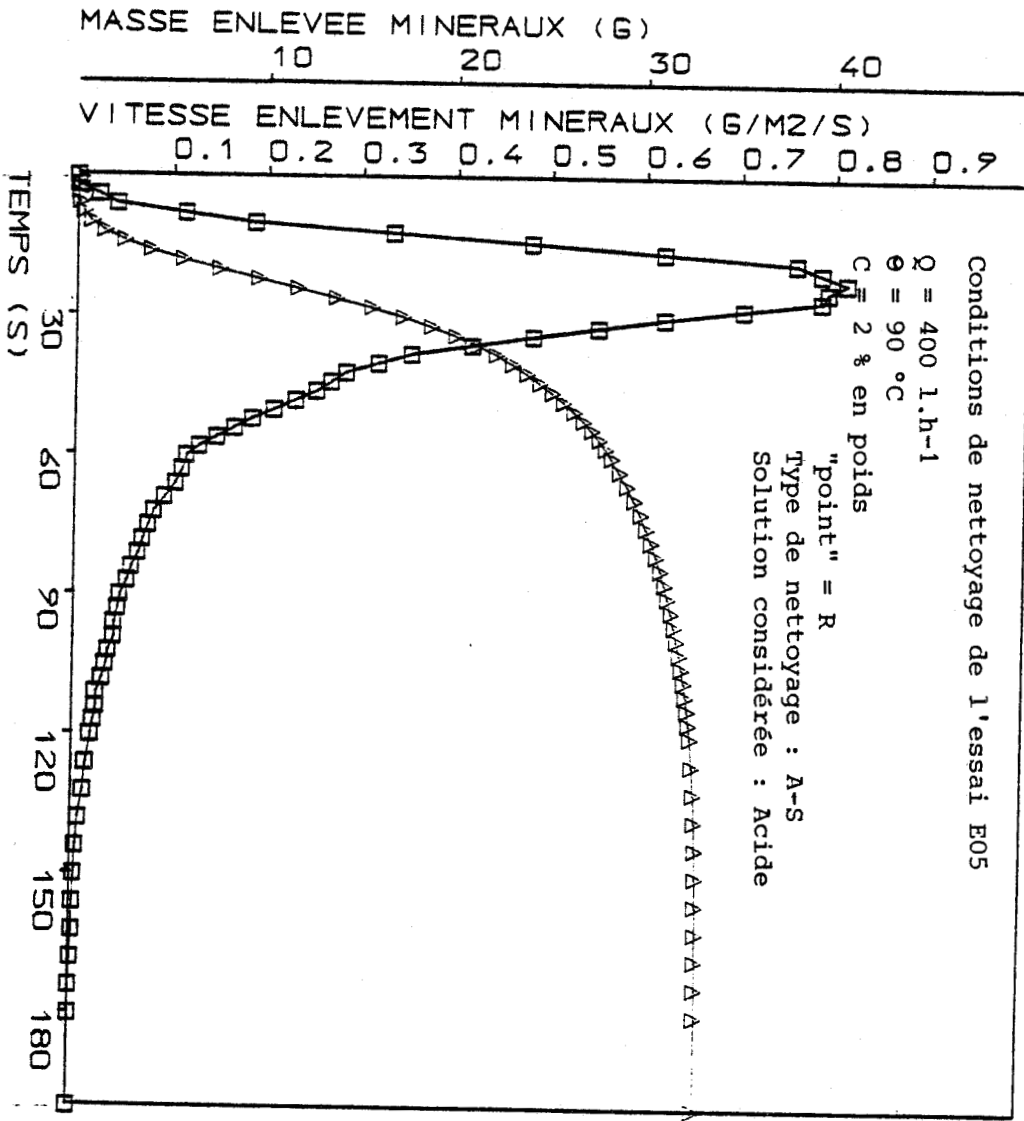


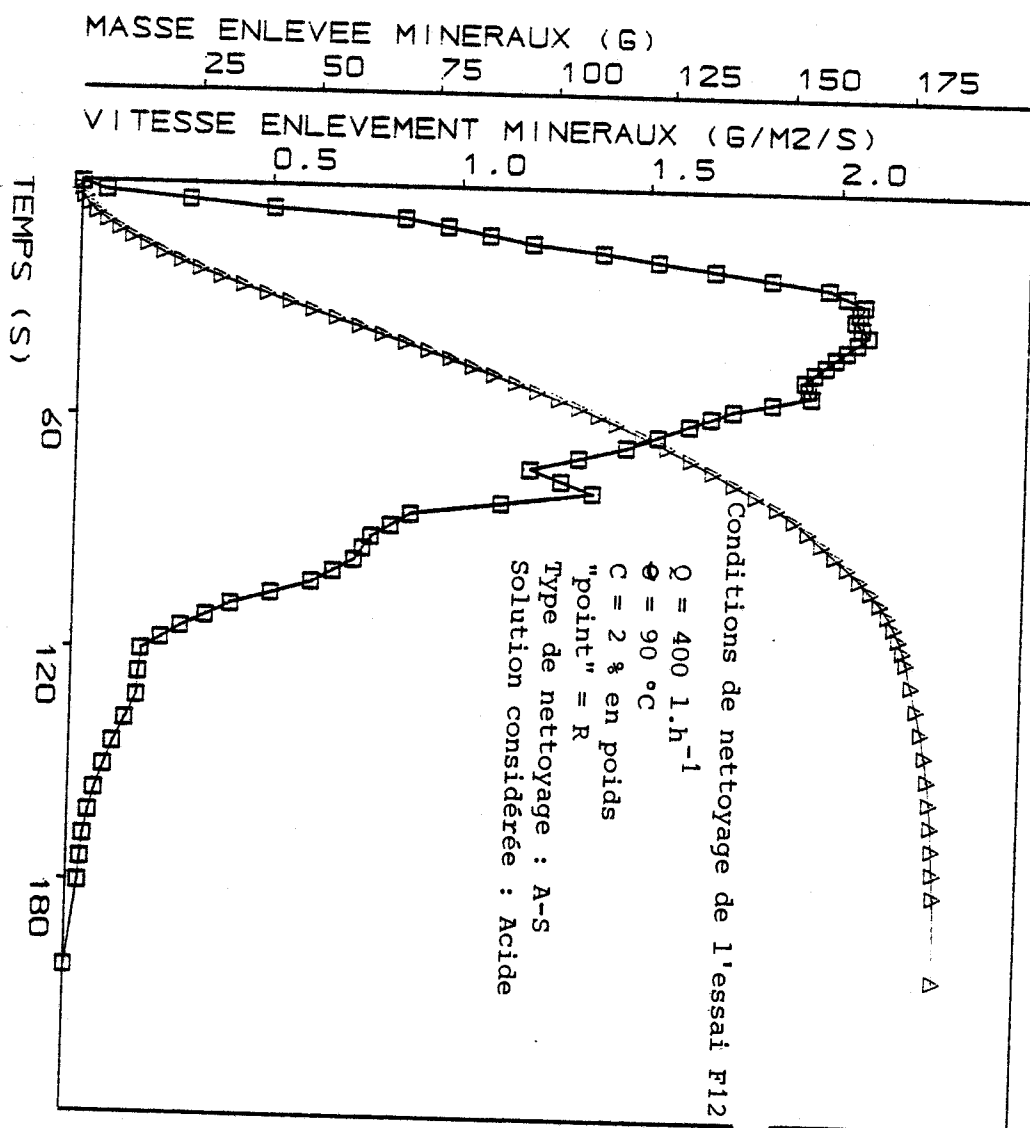


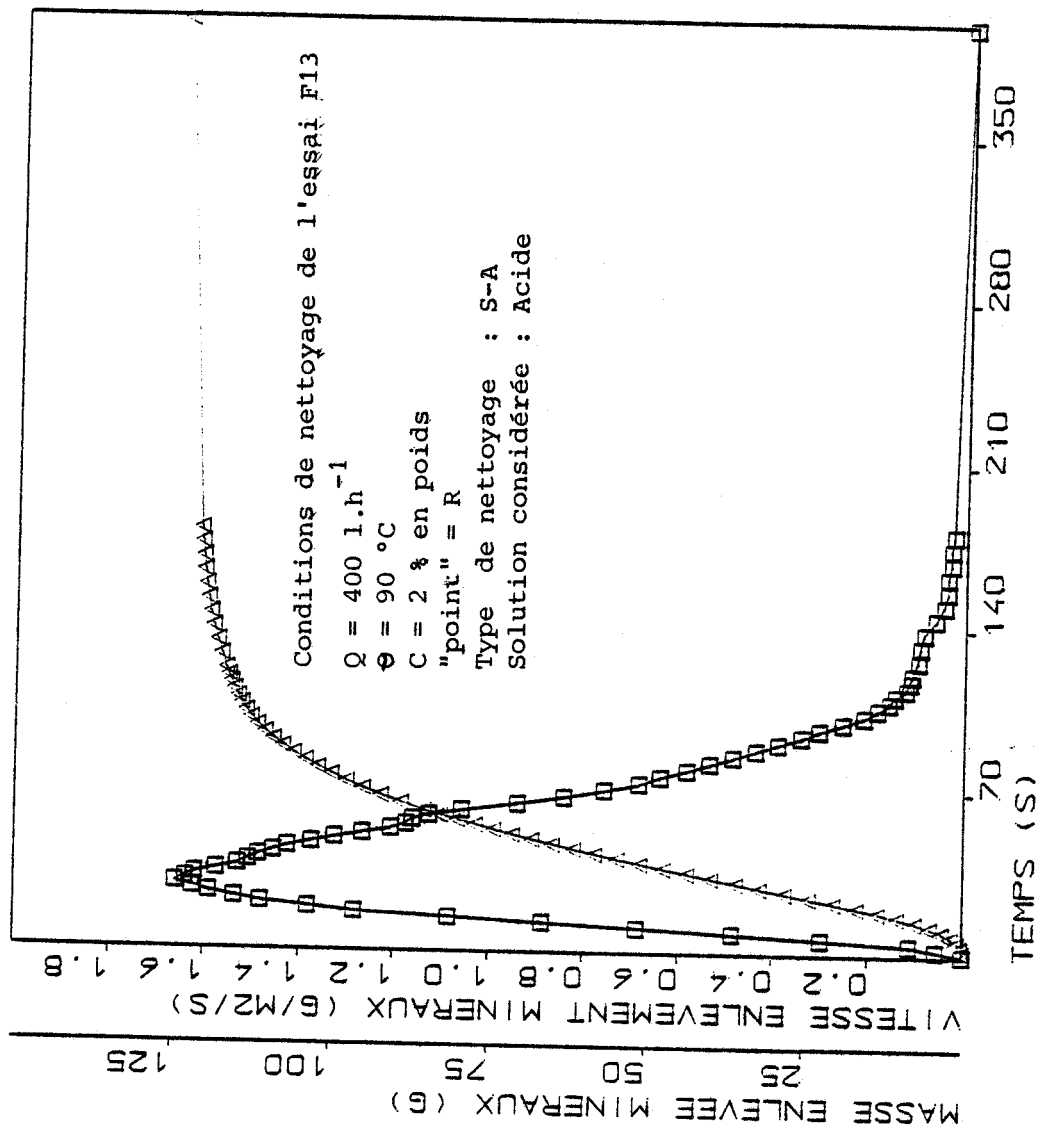


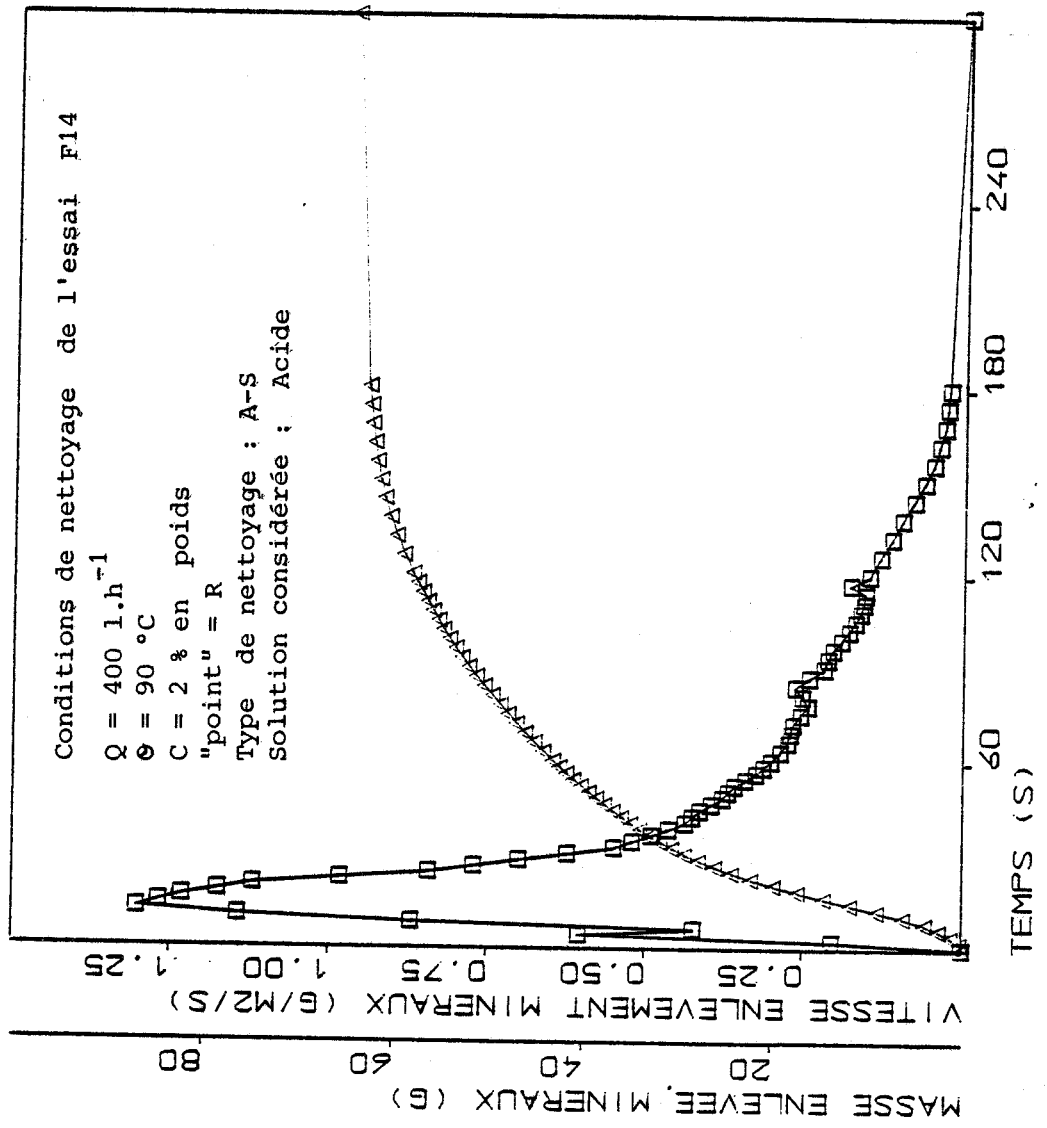


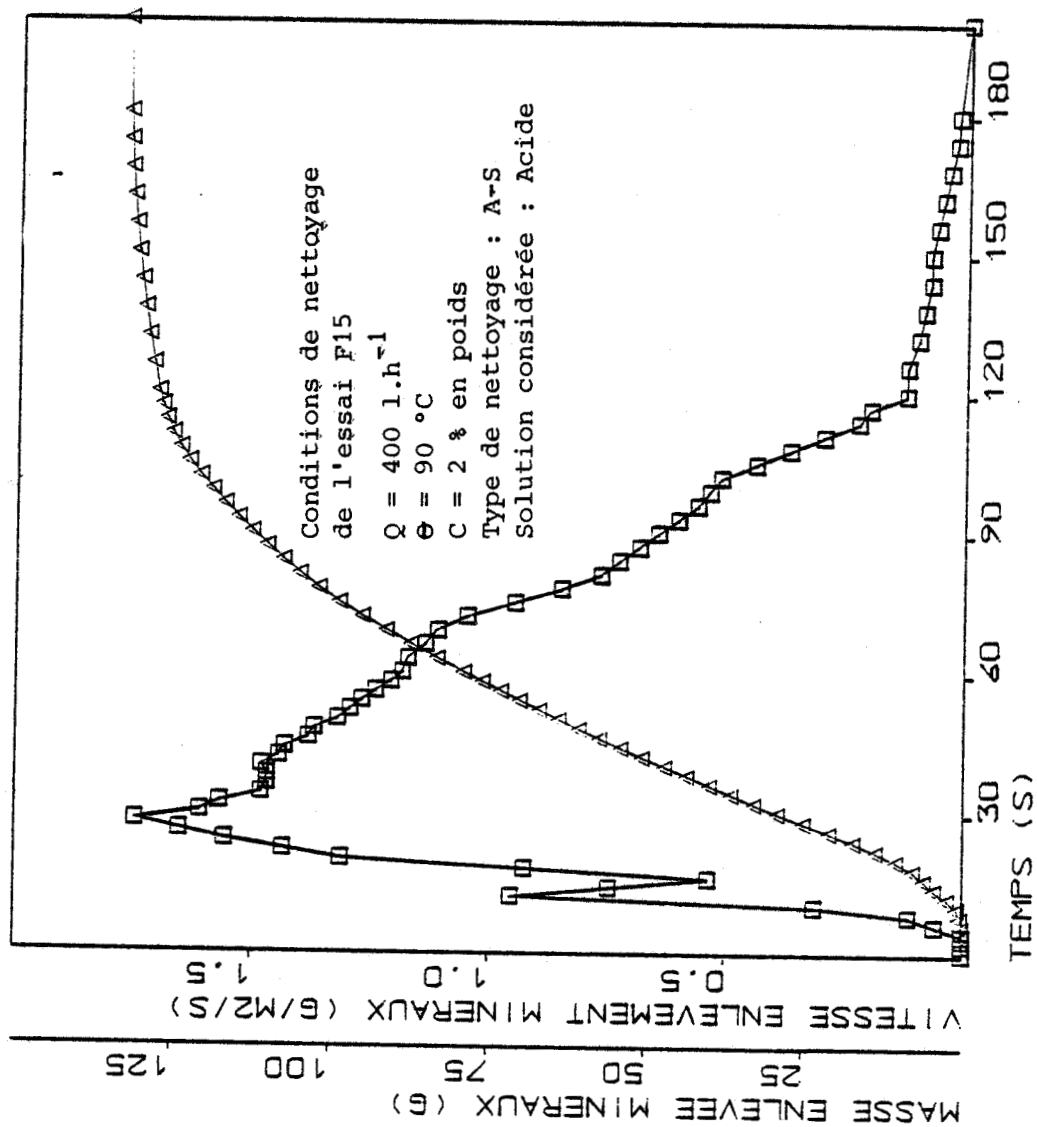




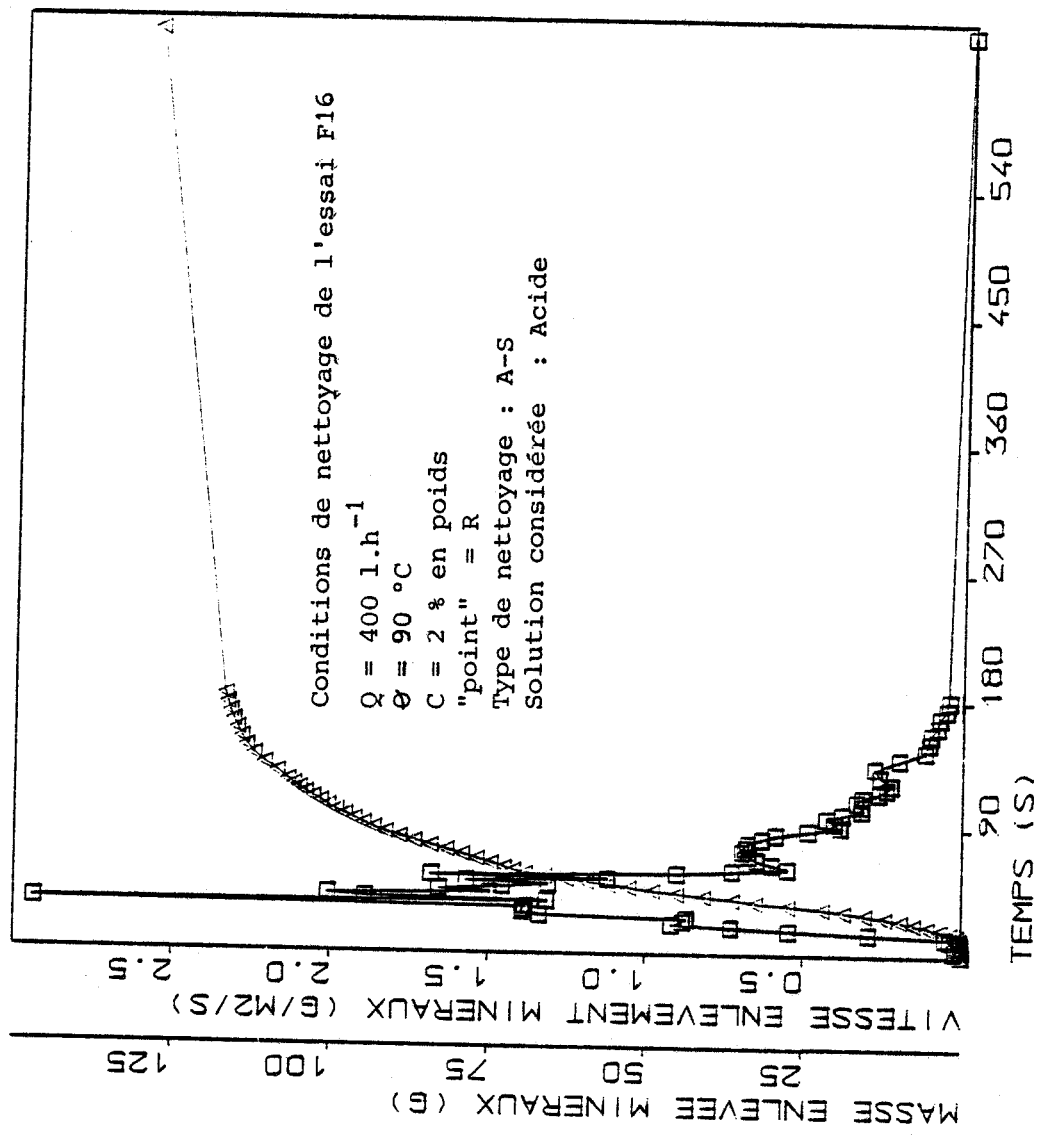


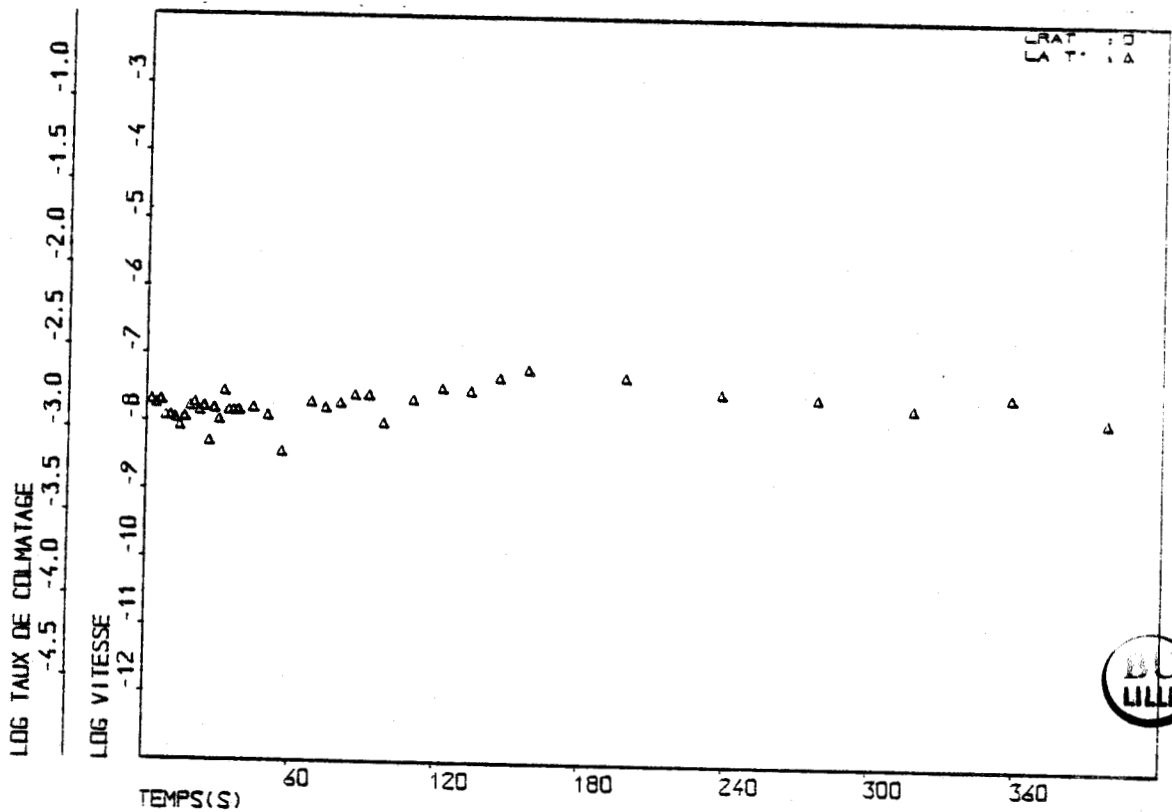
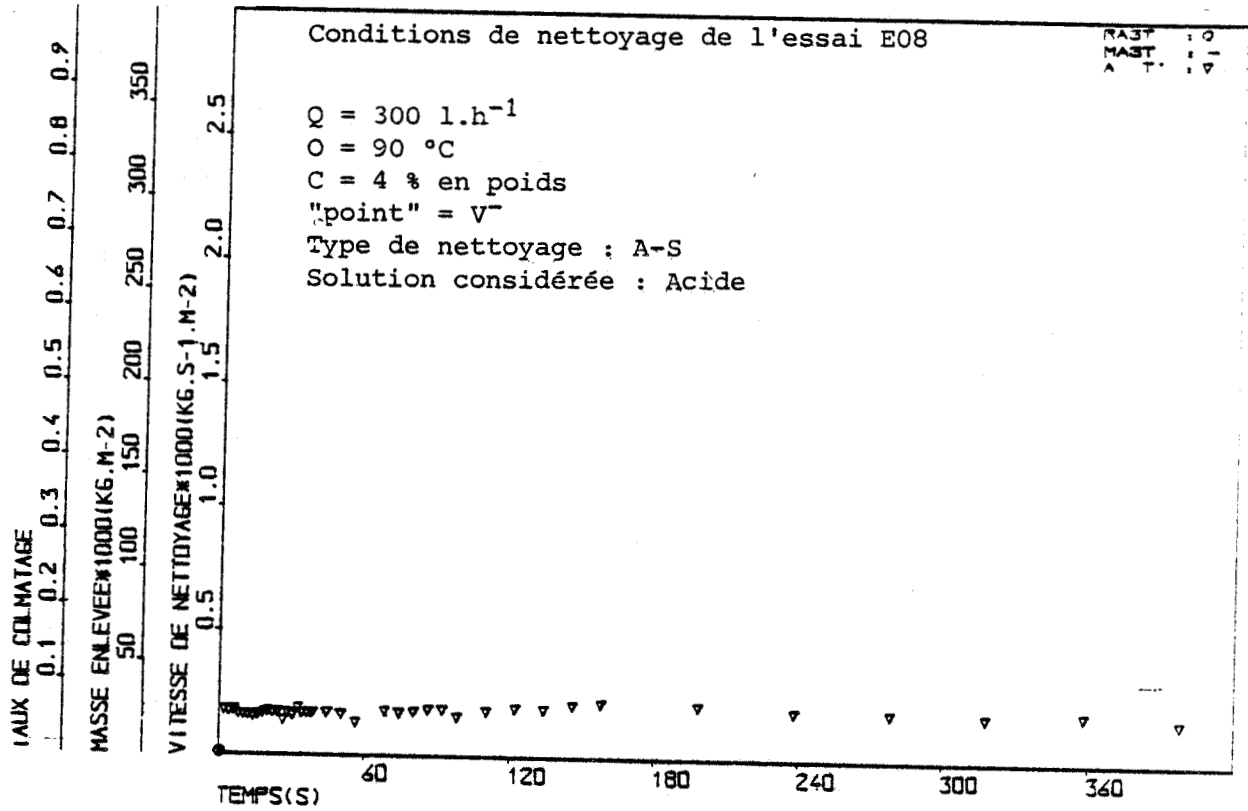


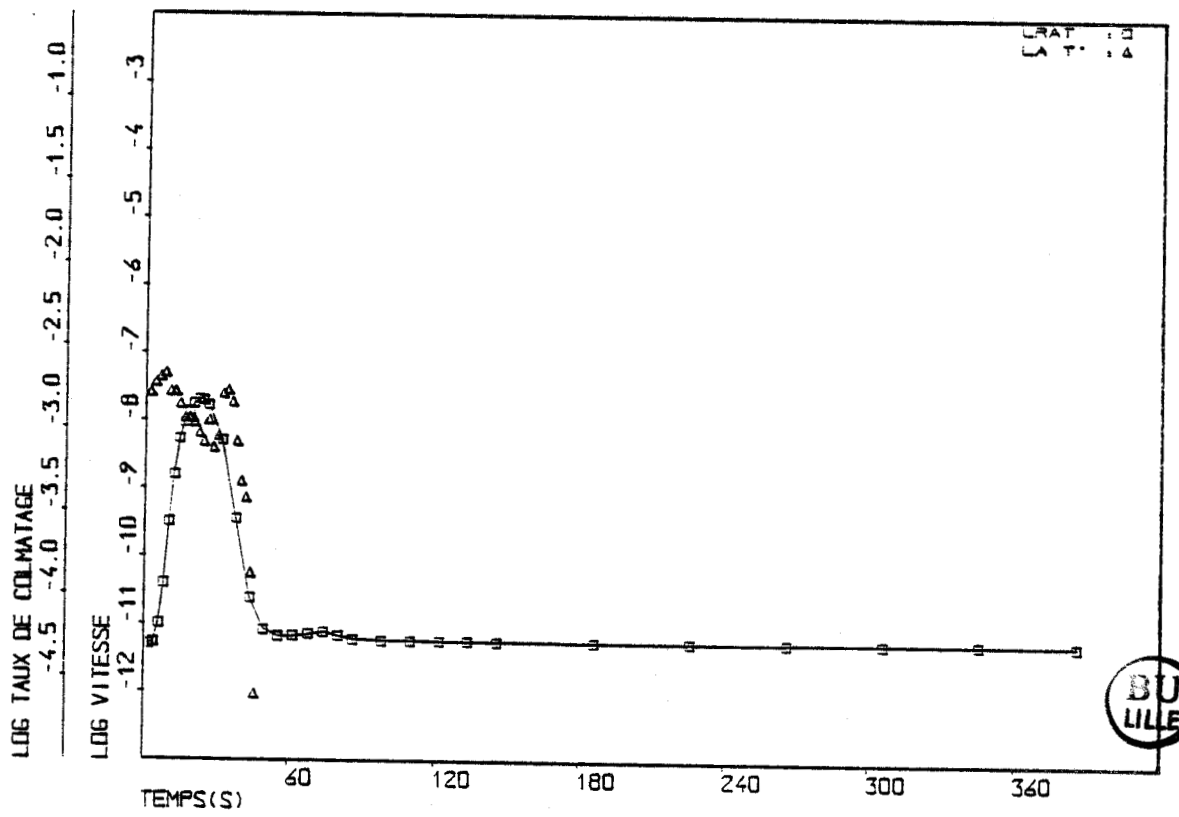
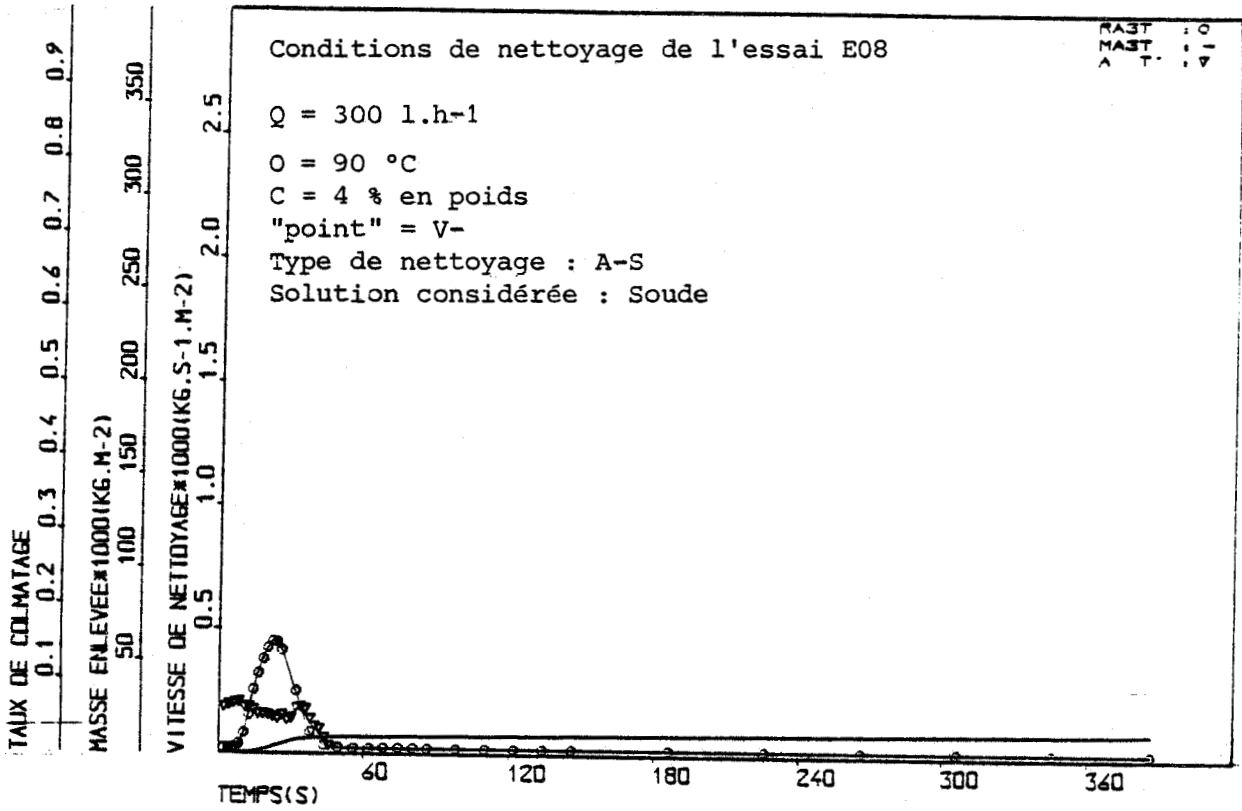


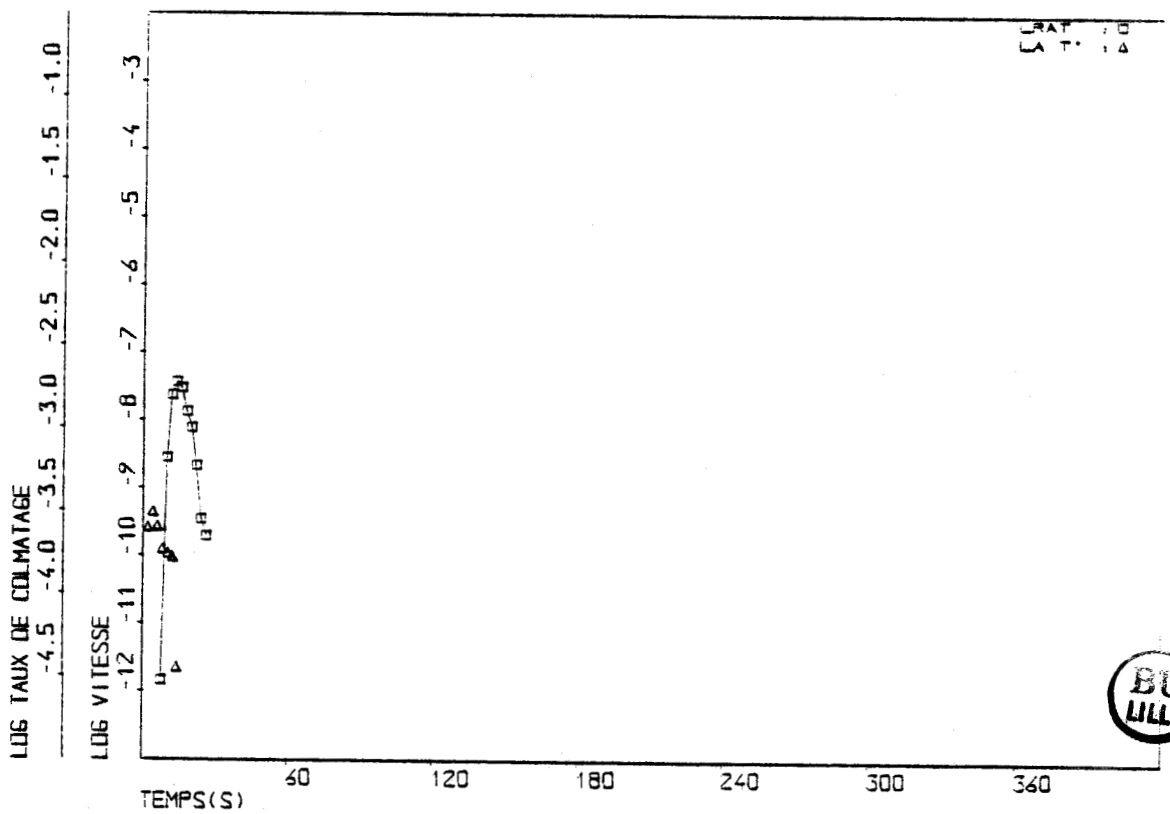
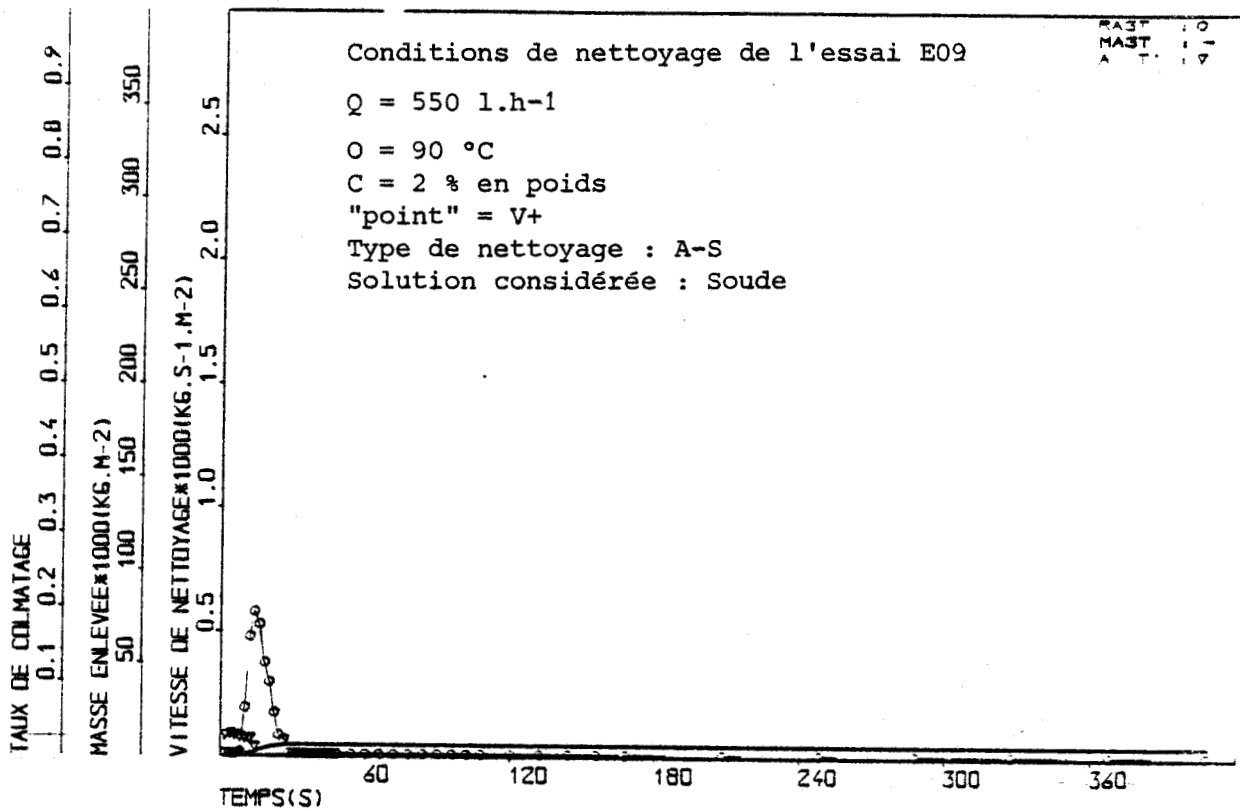












TAUX DE COLMATAGE

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

MASSE ENLEVEE\*1000(KG.M-2)

50 100 150 200 250 300 350

VITESSE DE NETTOYAGE\*1000(KG.S-1.M-2)

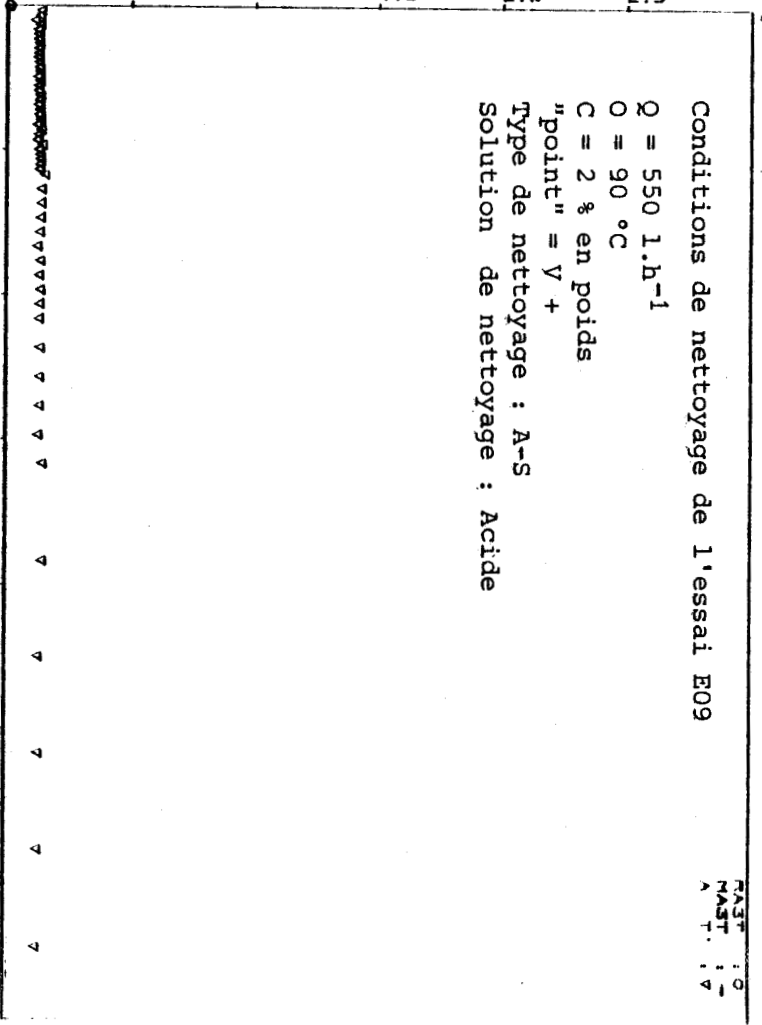
0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

Conditions de nettoyage de l'essai E09  
 Q = 550 l.h<sup>-1</sup>  
 O = 90 °C  
 C = 2 % en poids  
 "point" = Y +  
 Type de nettoyage : A-S  
 Solution de nettoyage : Acide

FAST 10  
 MAST 10  
 A 10

TEMPS(S)

60 120 180 240 300 360



LOG TAUX DE COLMATAGE

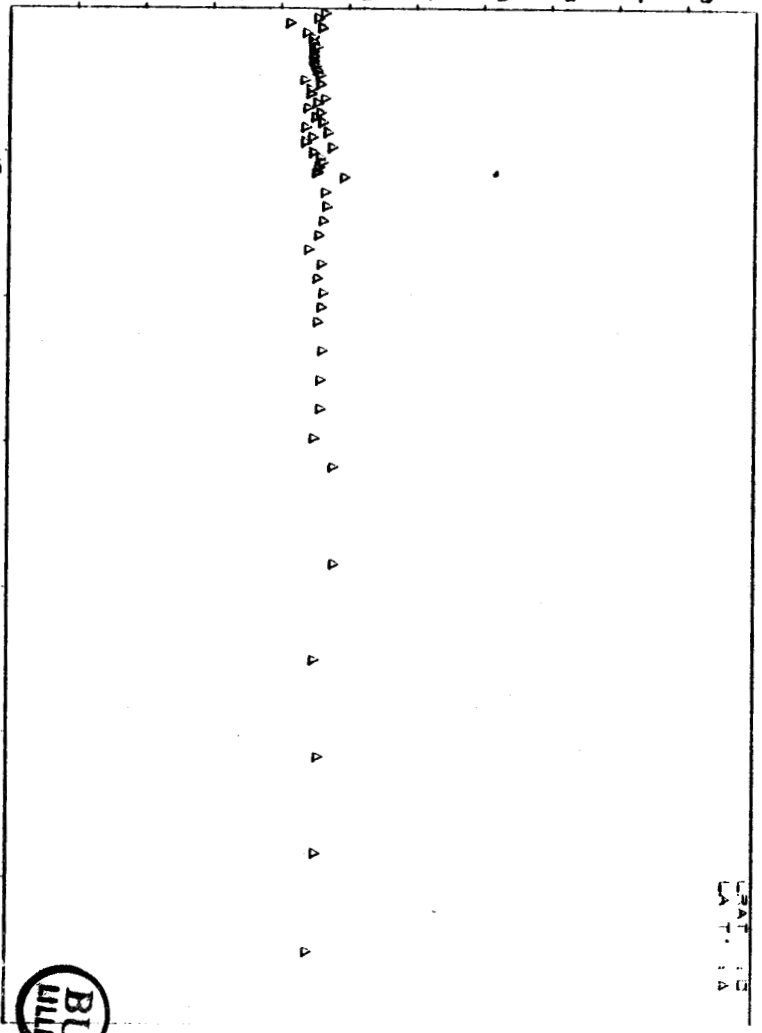
-4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0

LOG VITESSE

-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3

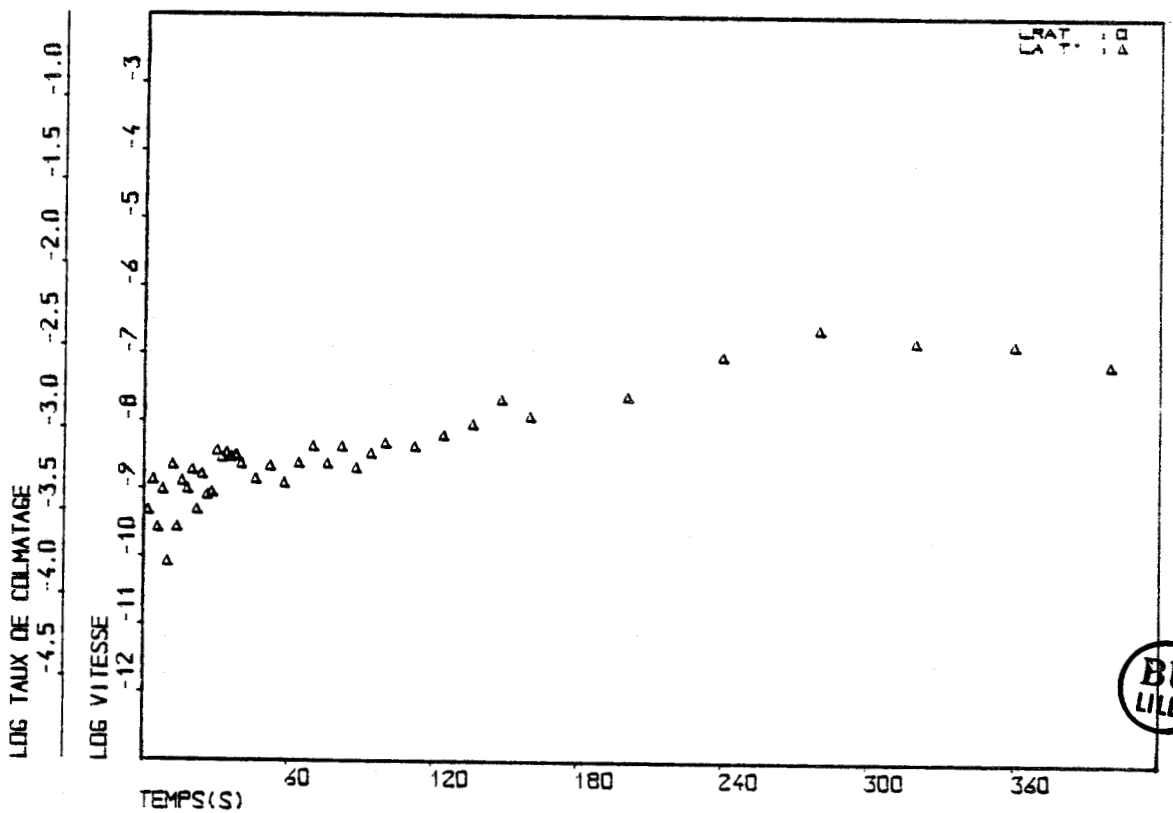
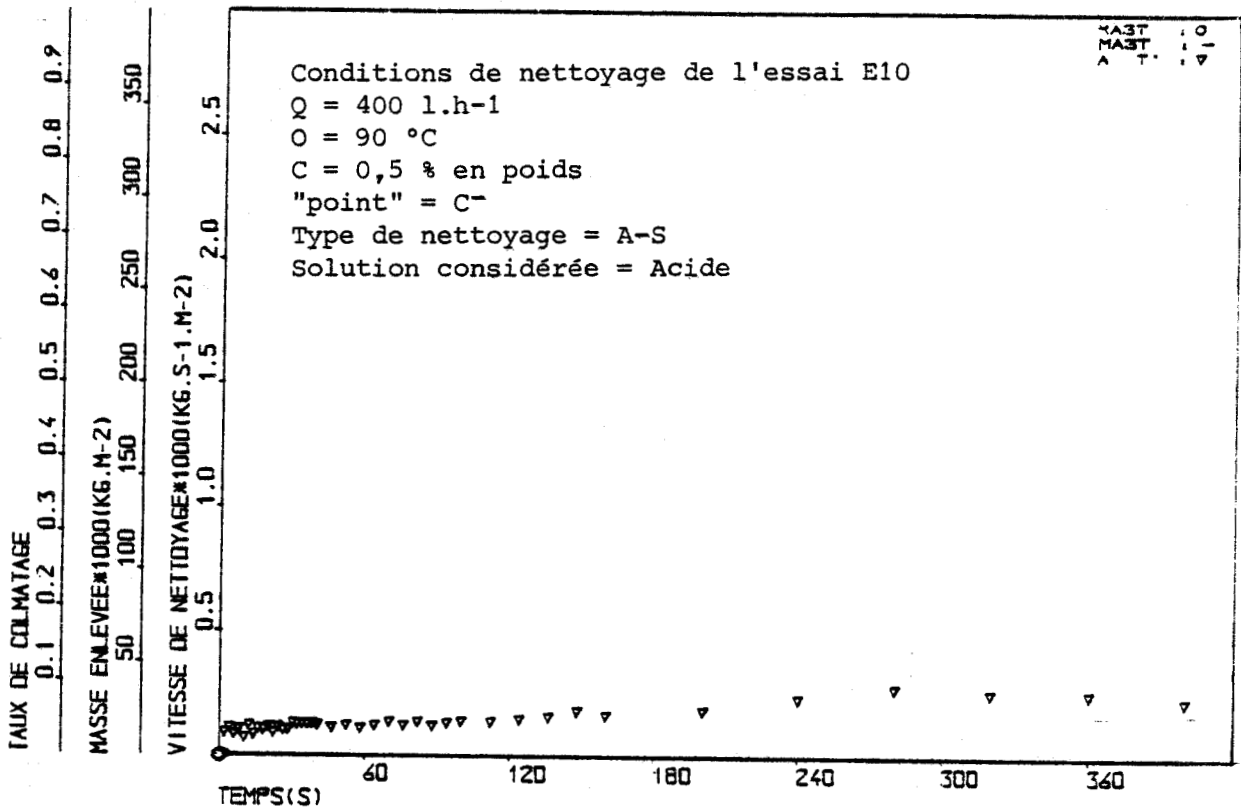
TEMPS(S)

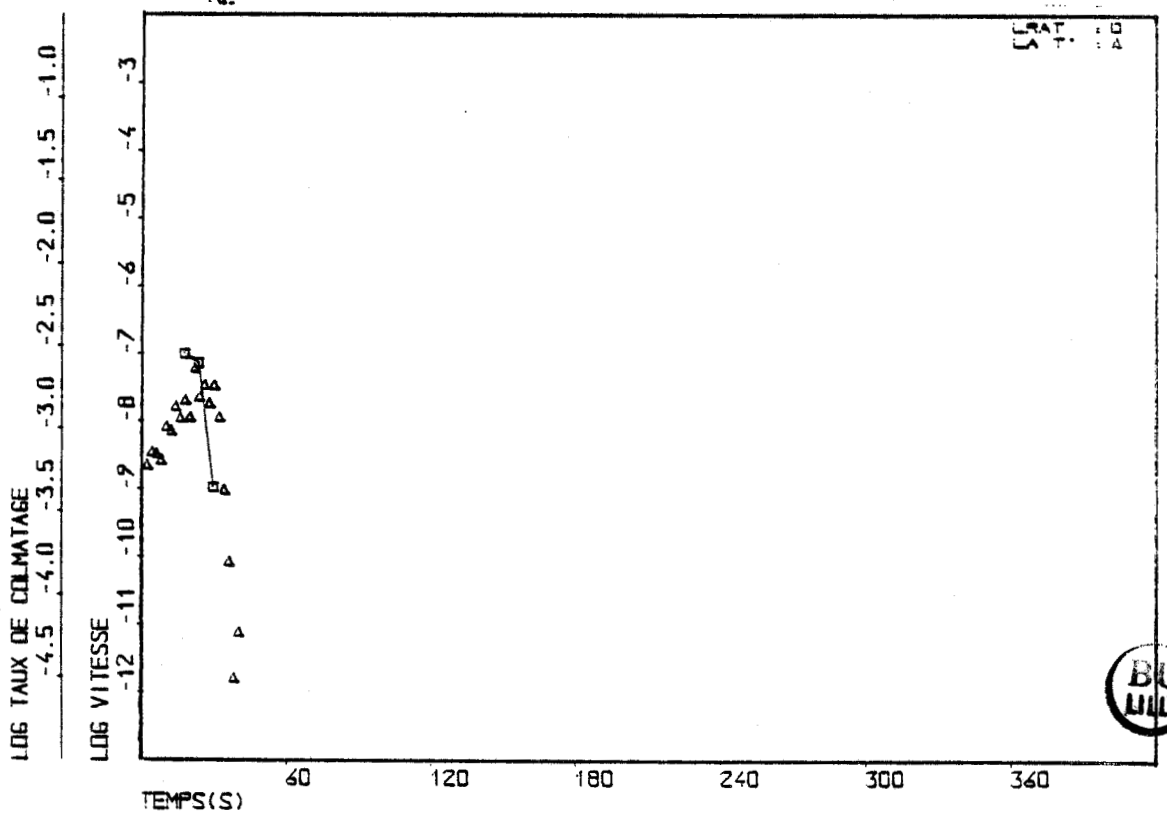
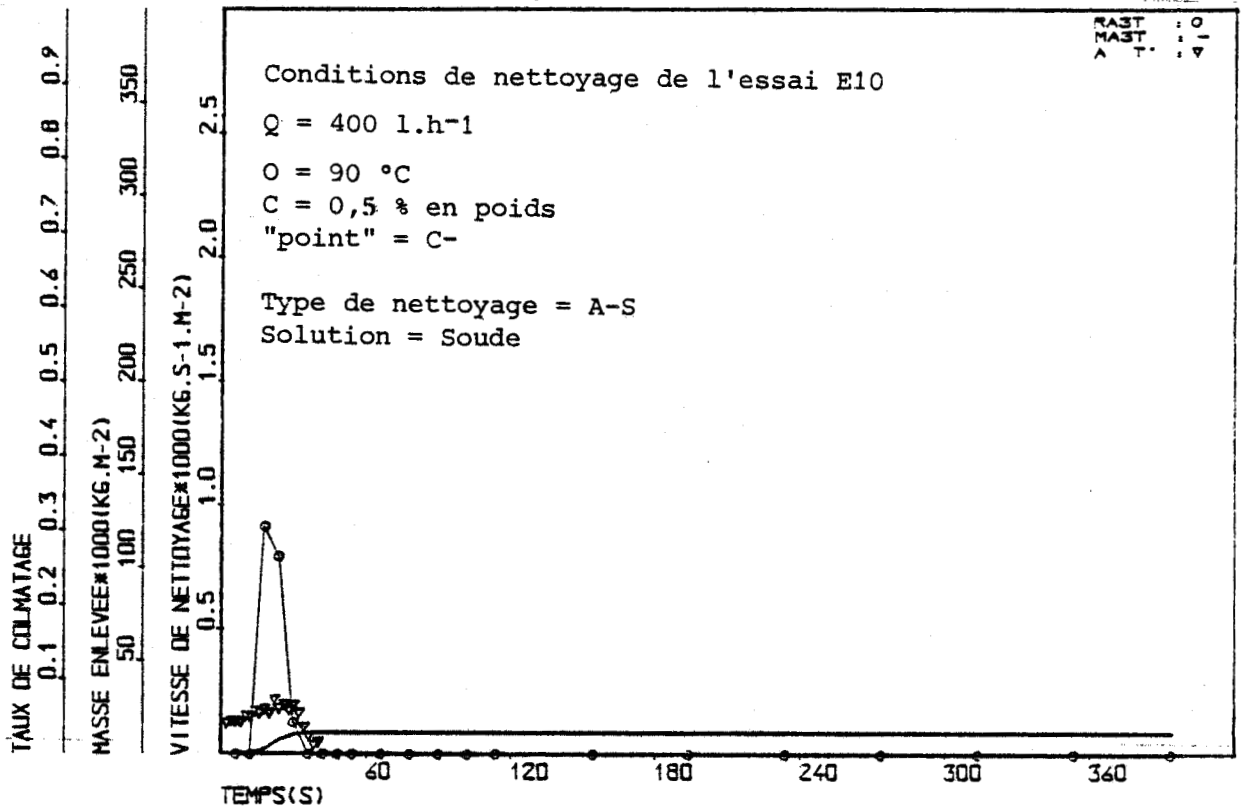
60 120 180 240 300 360

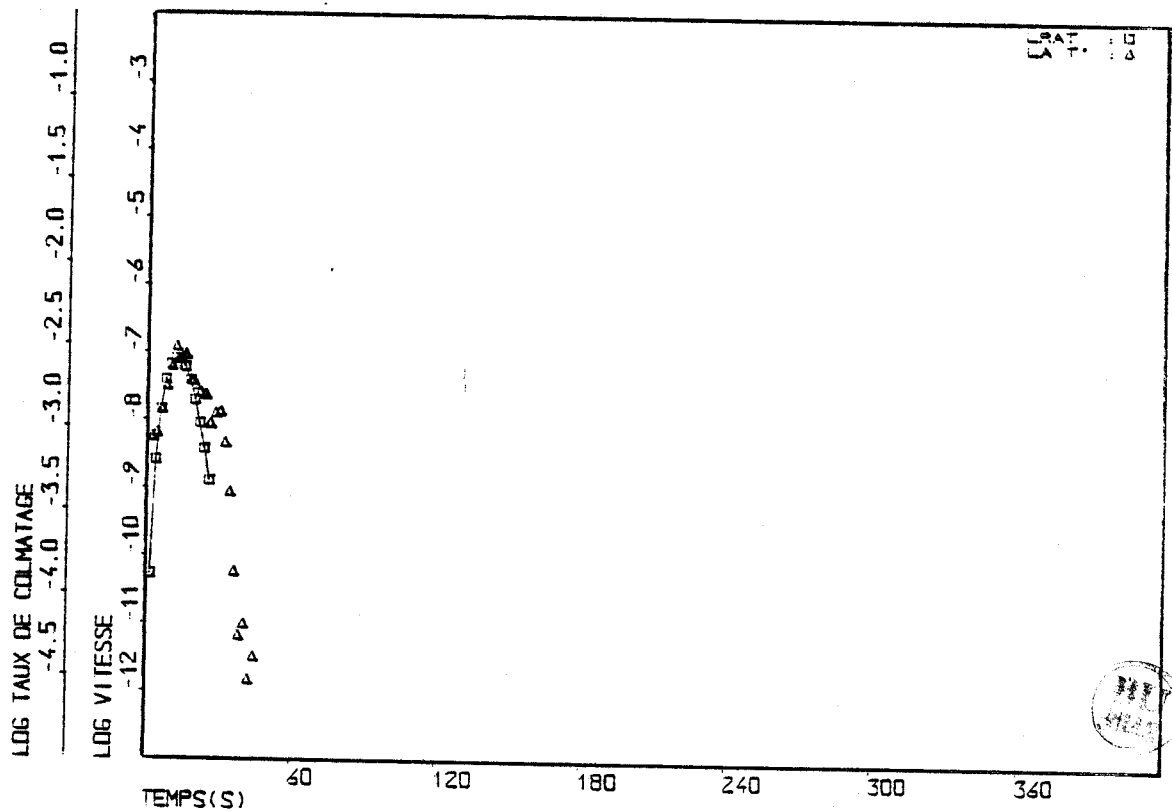
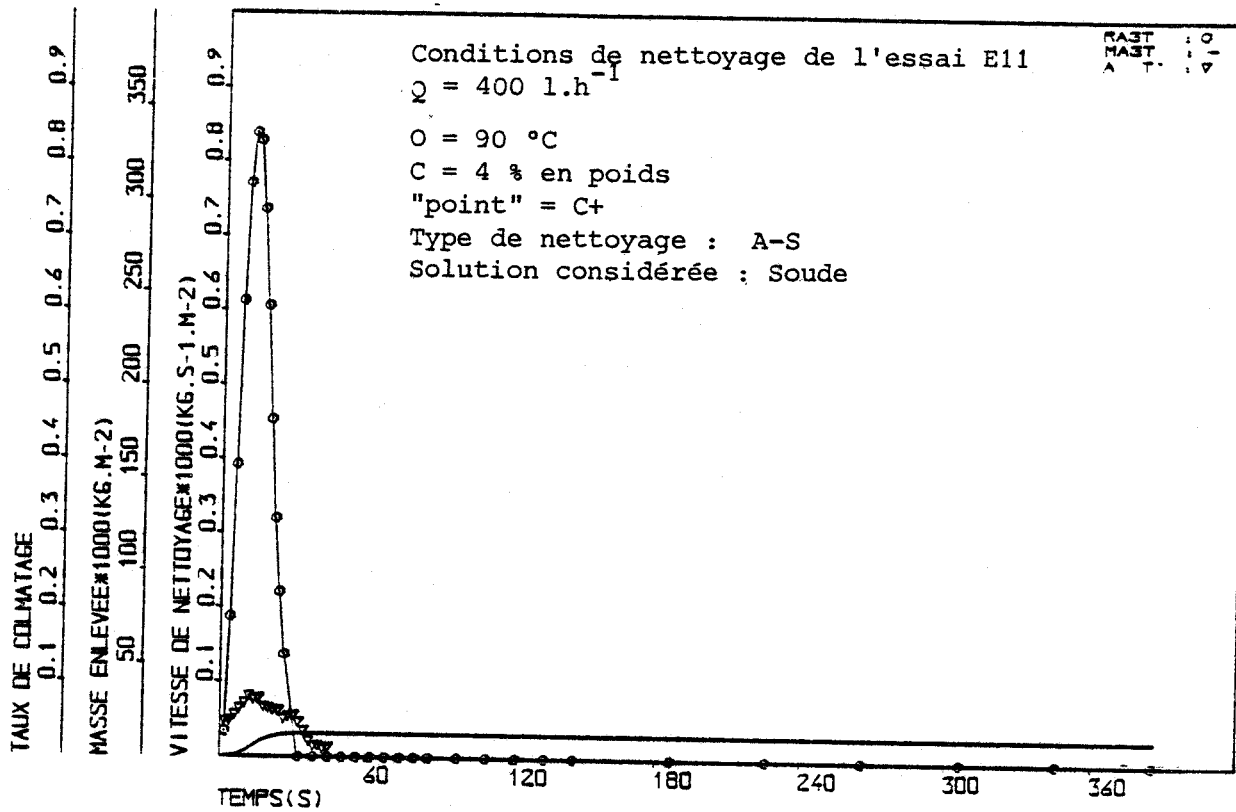


FAST 10  
 MAST 10  
 A 10

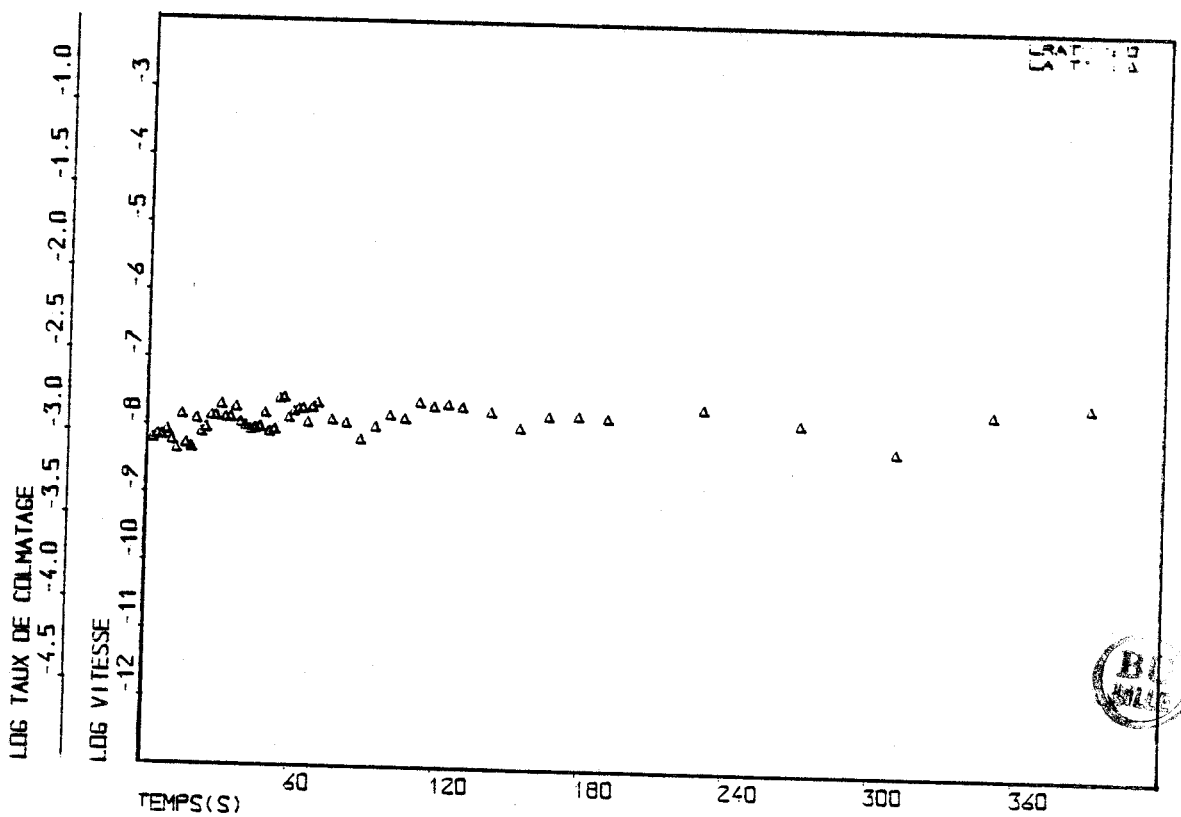
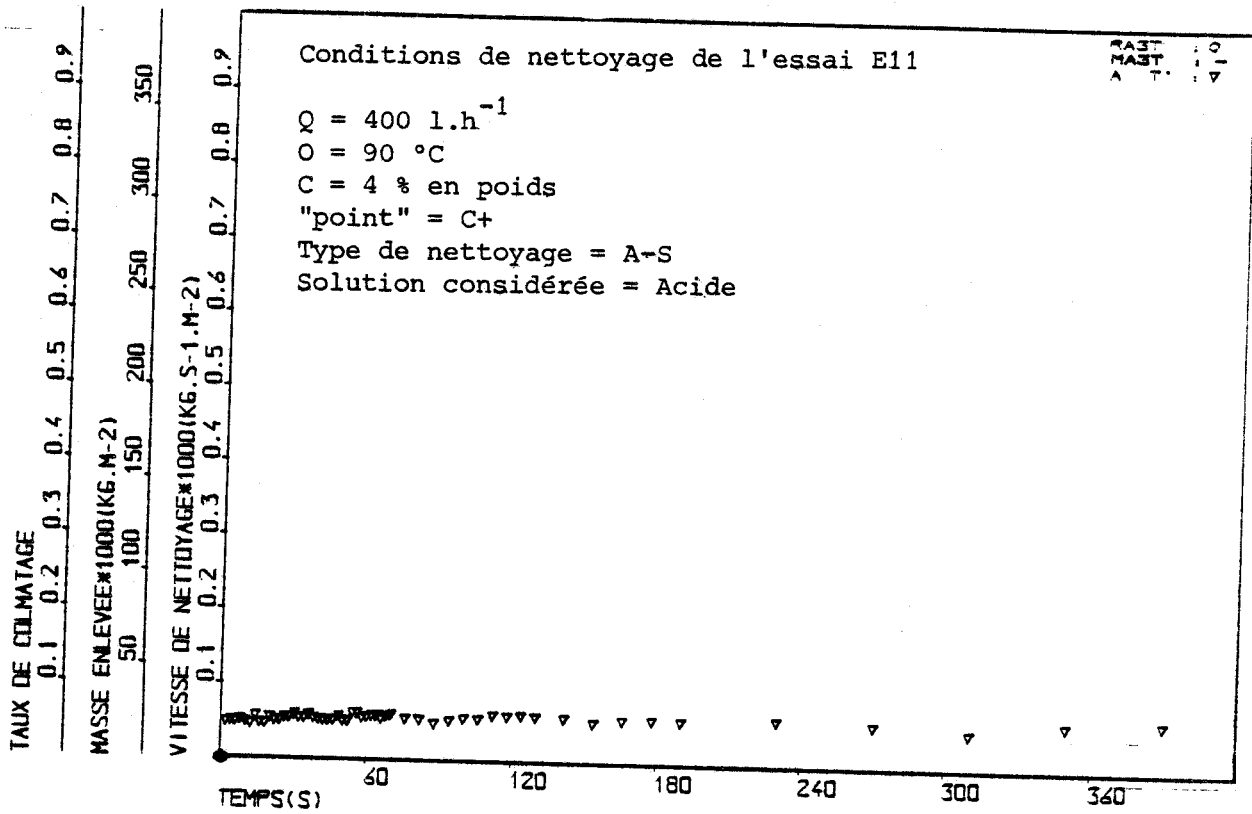


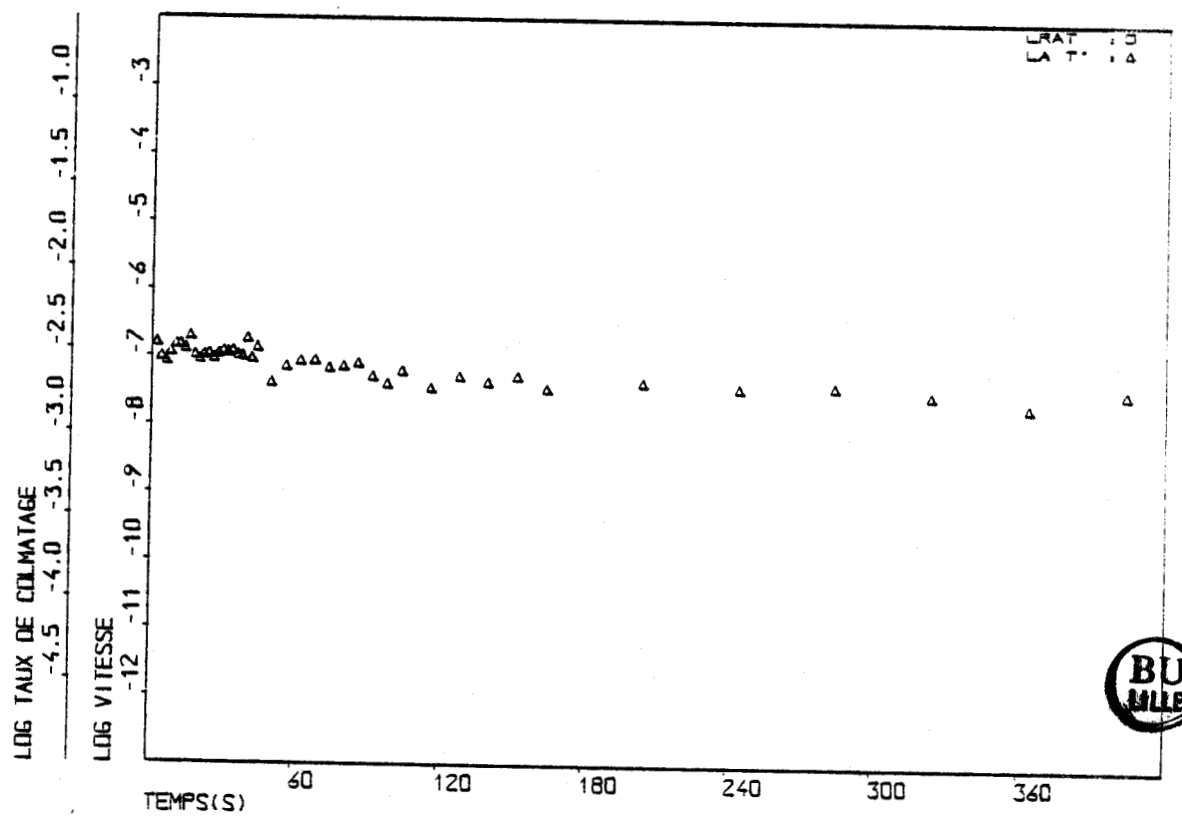
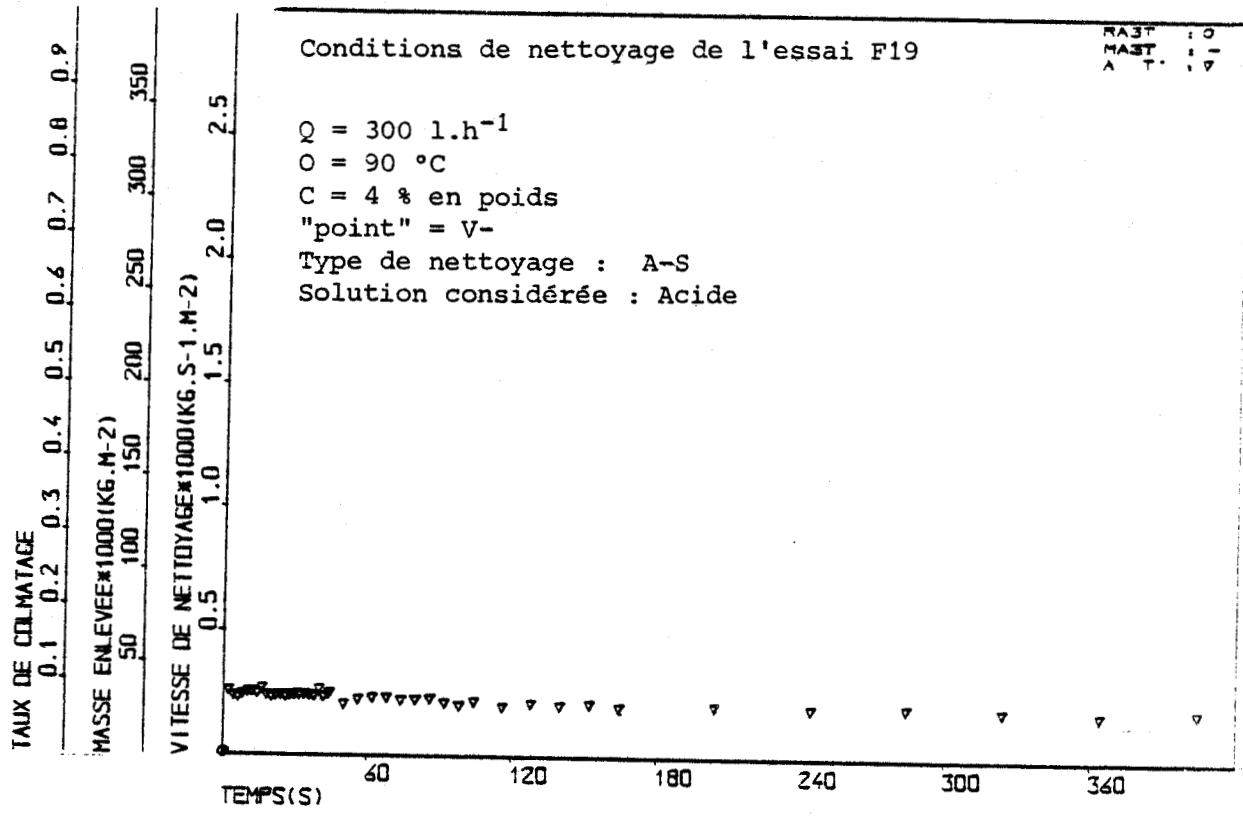


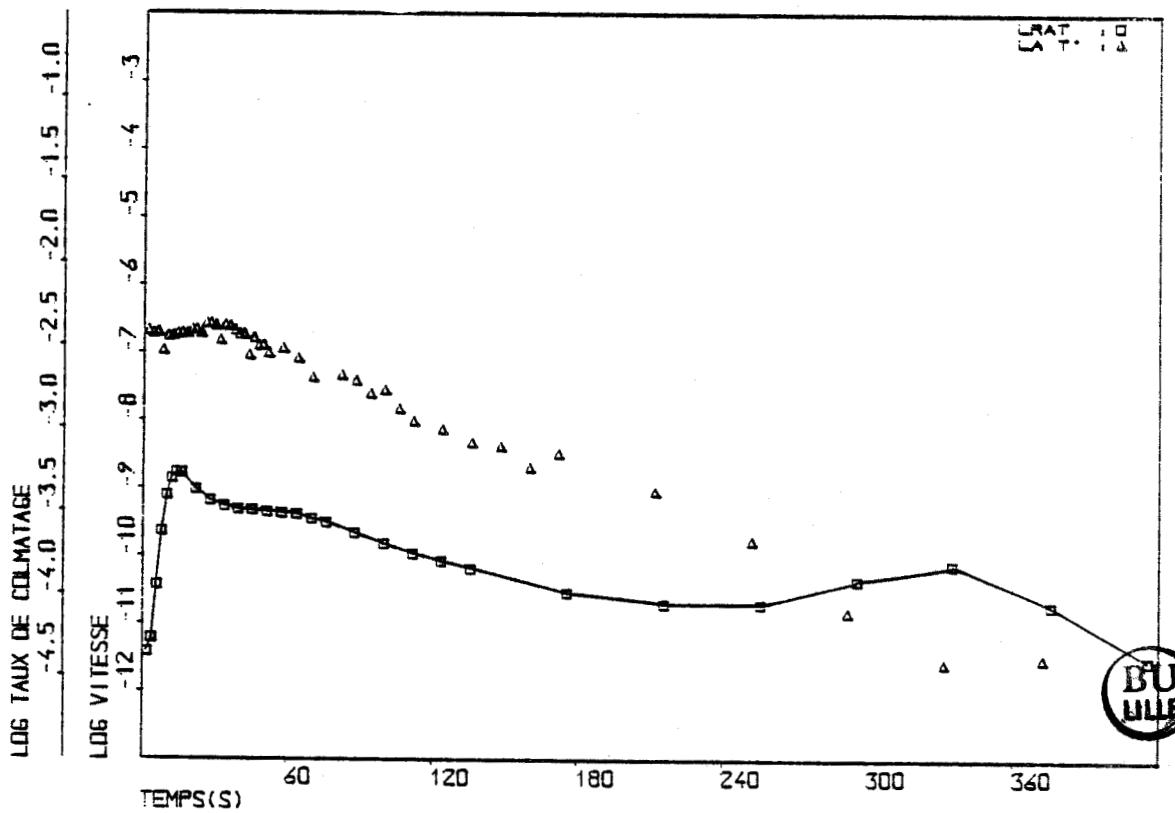
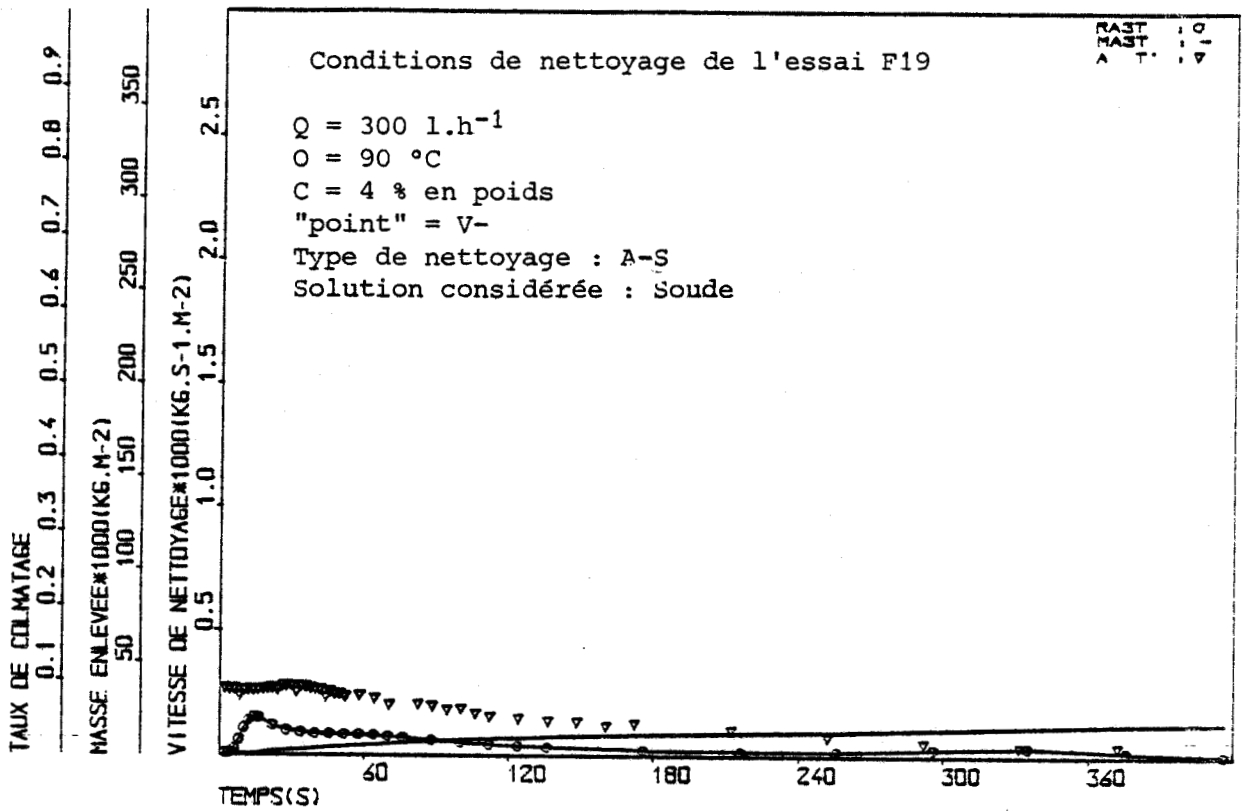


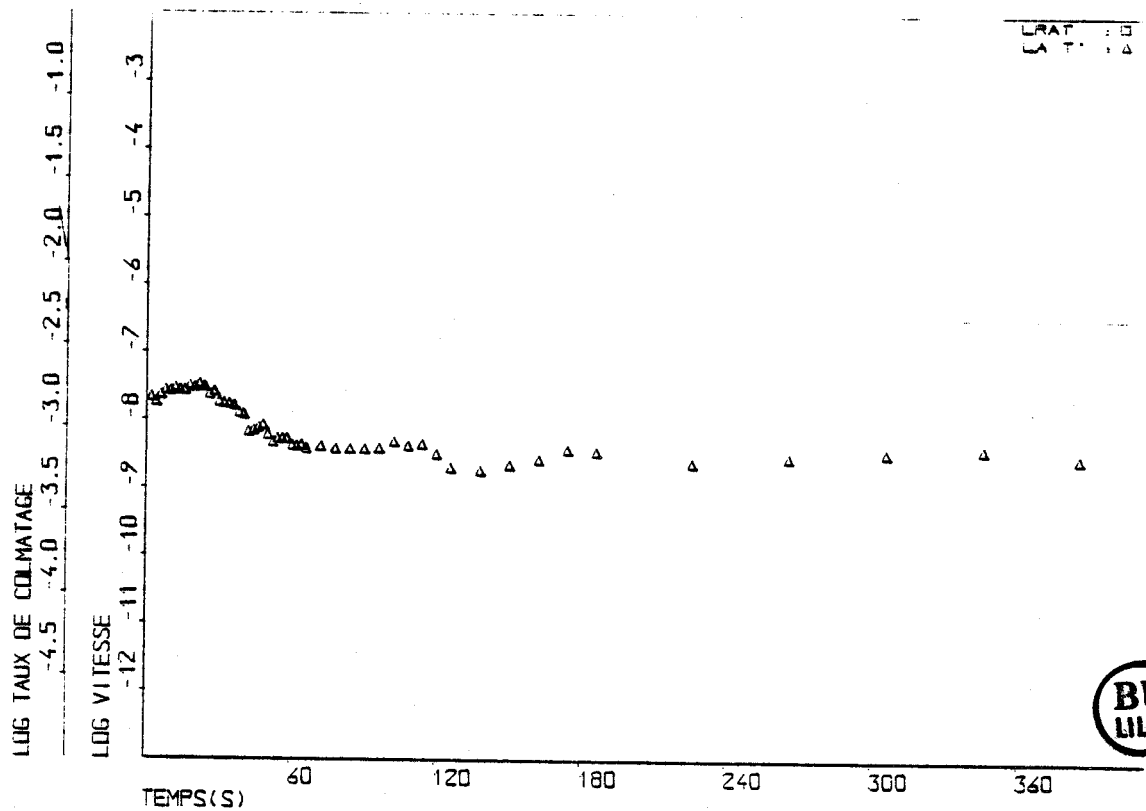
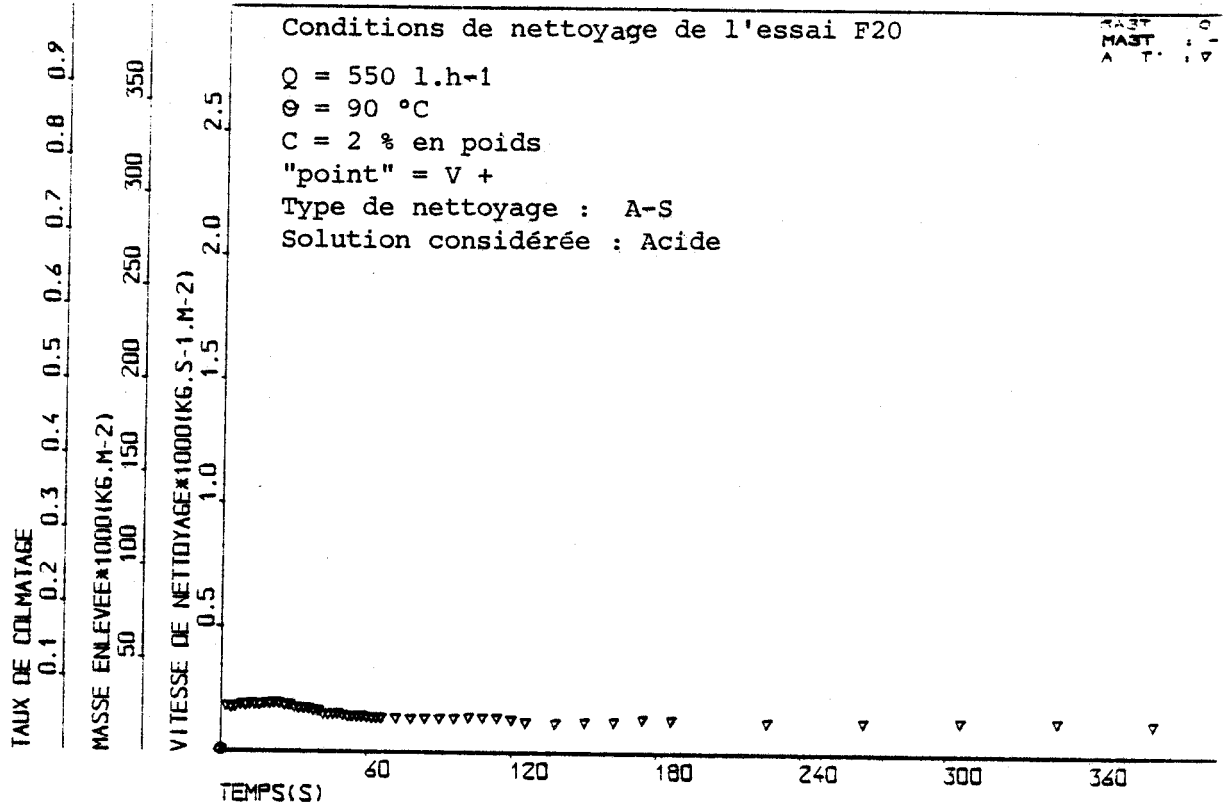


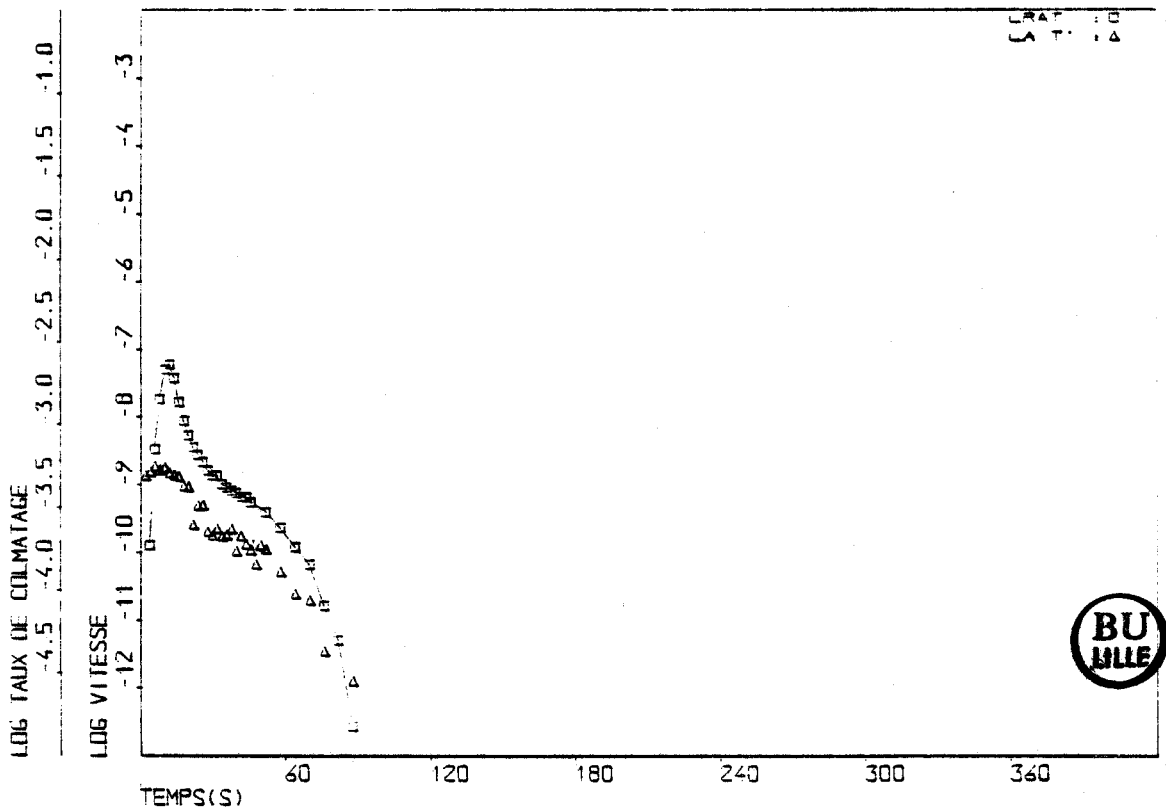
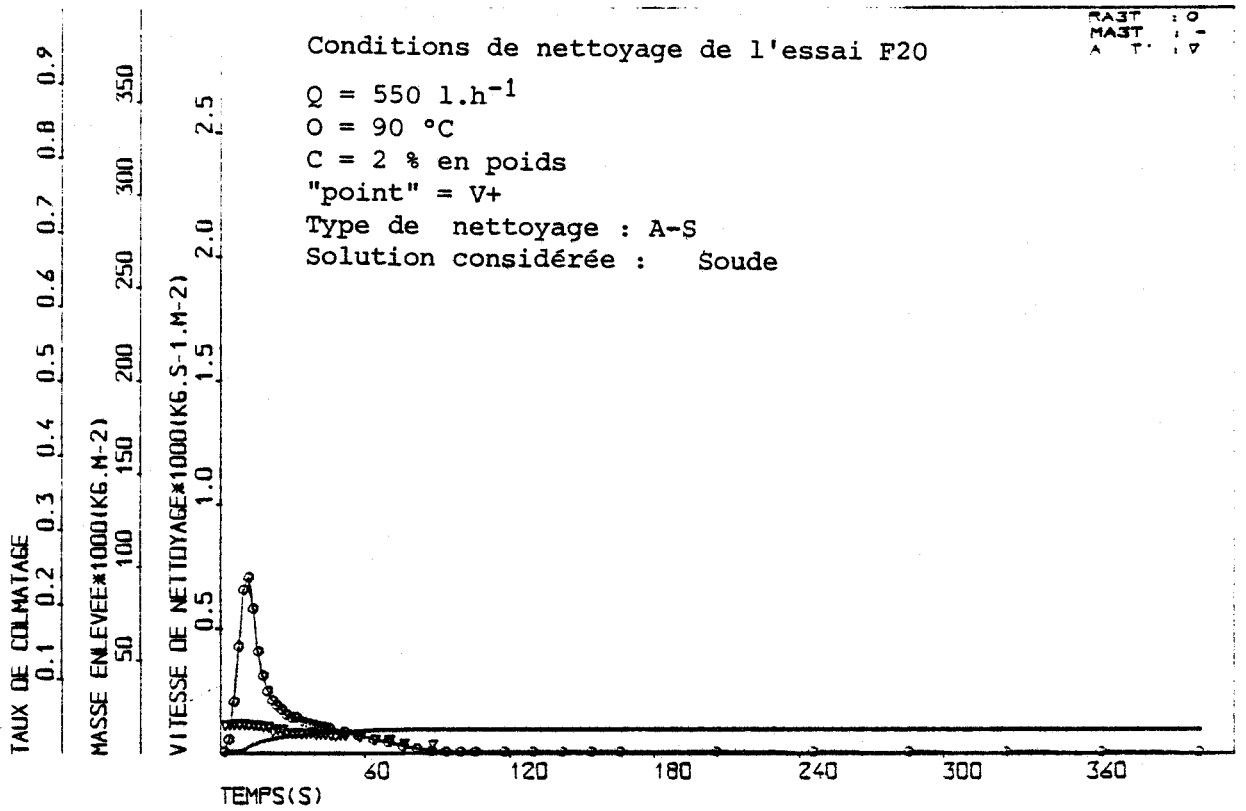


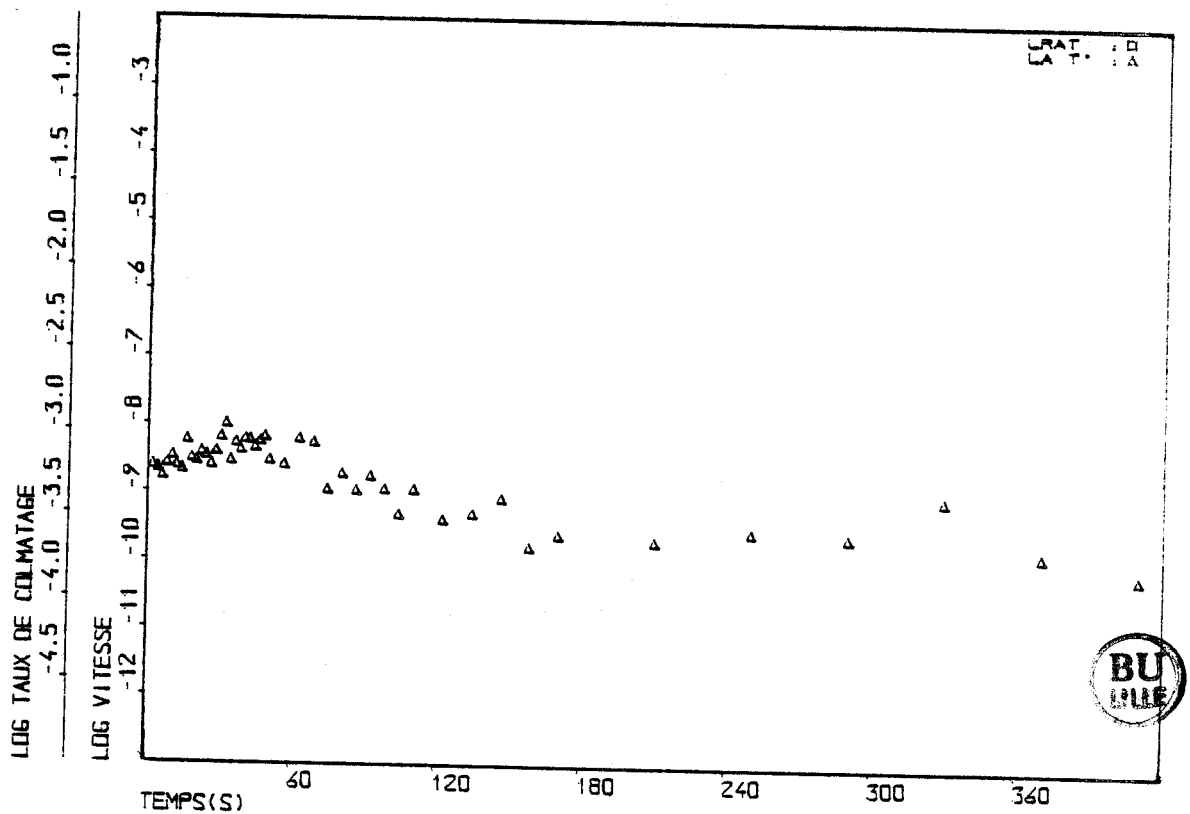
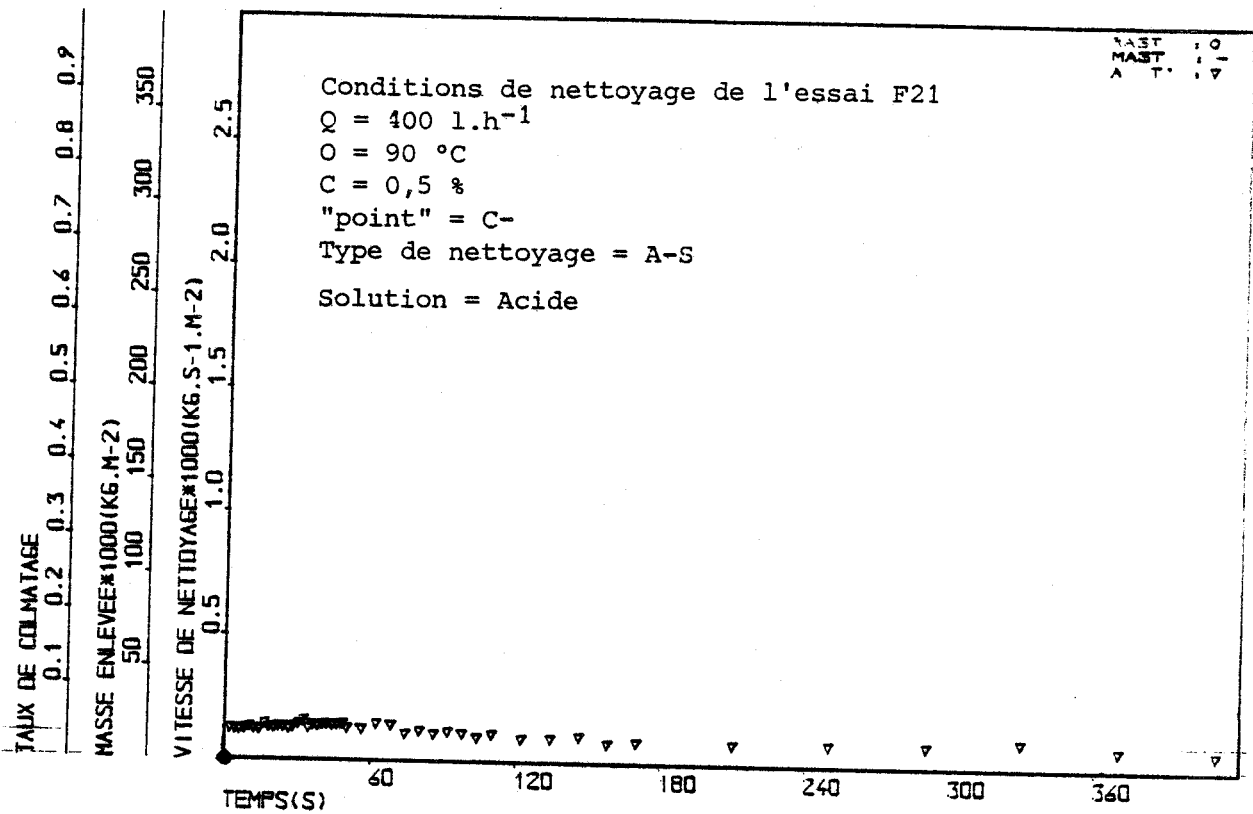


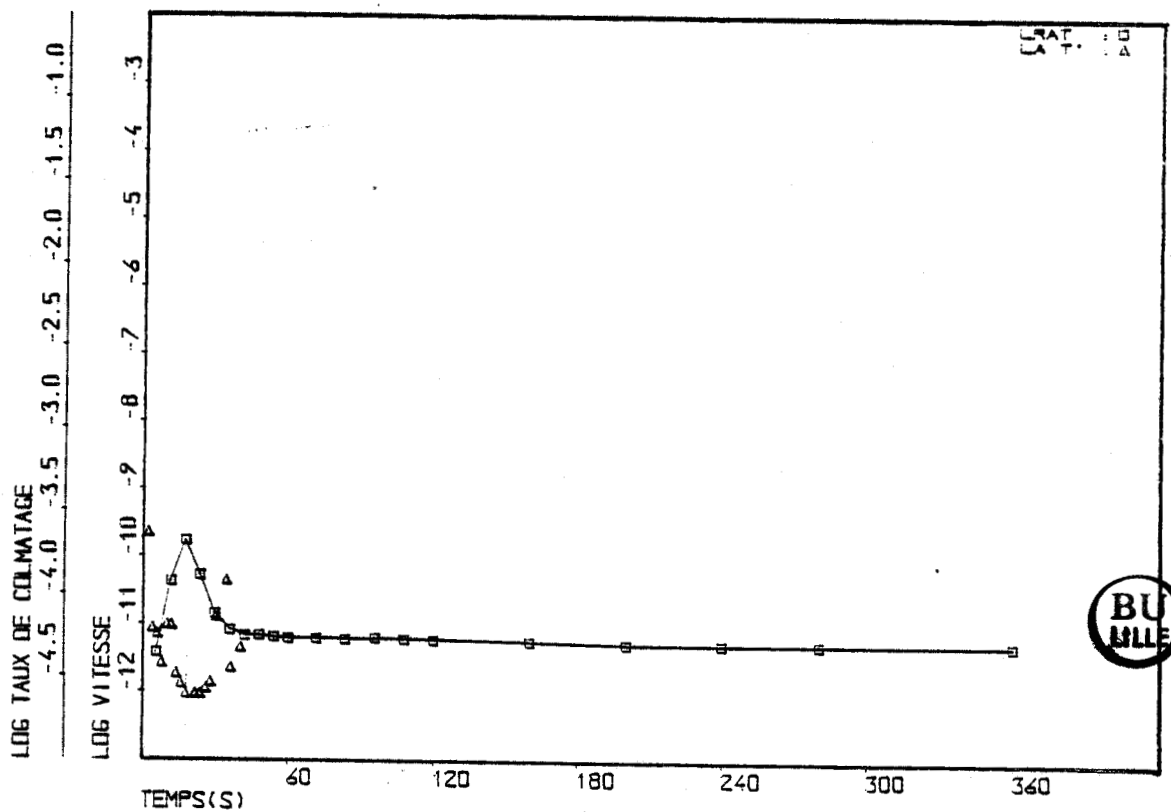
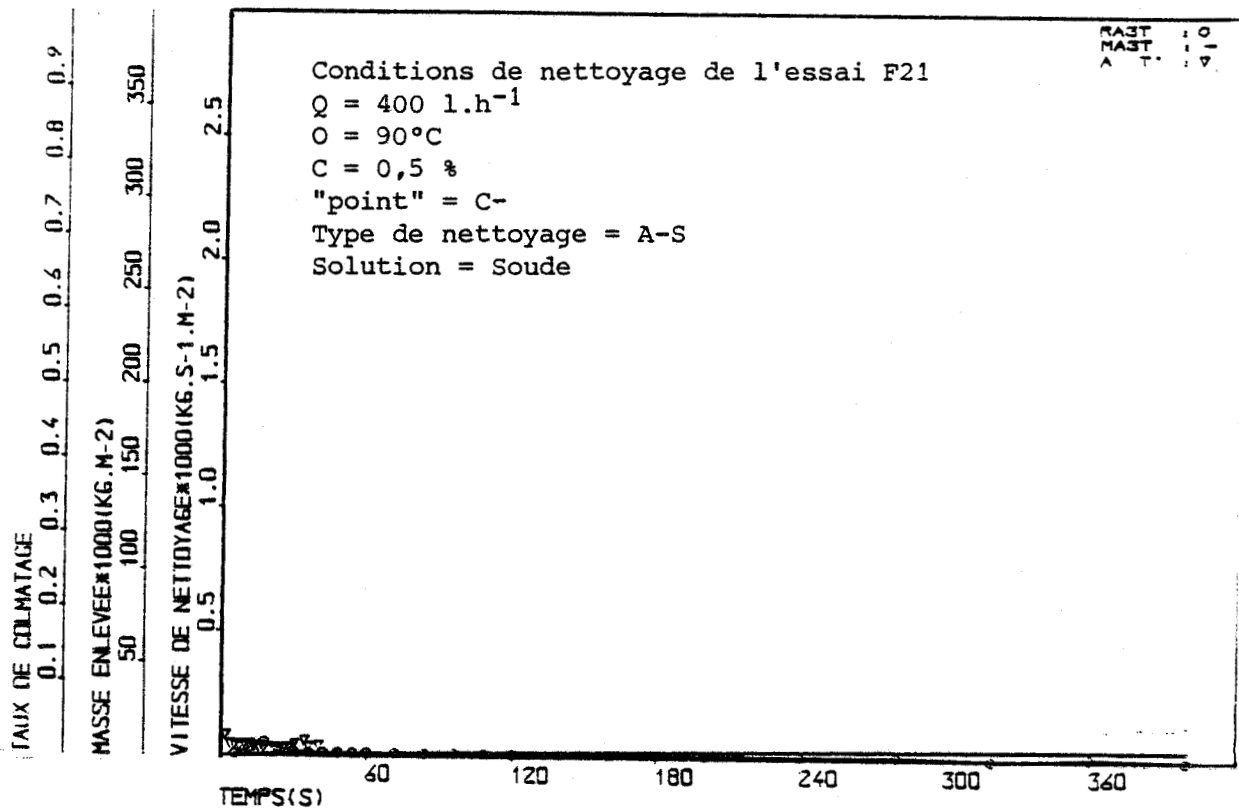


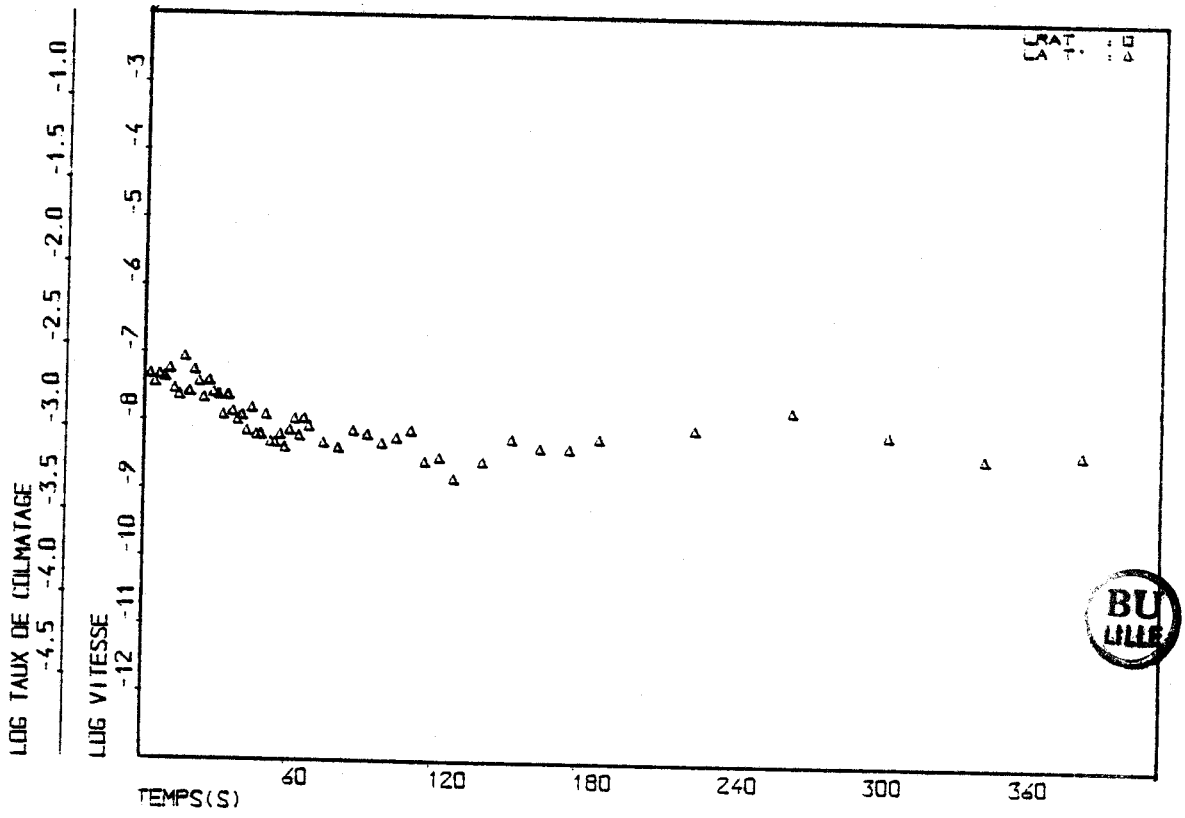
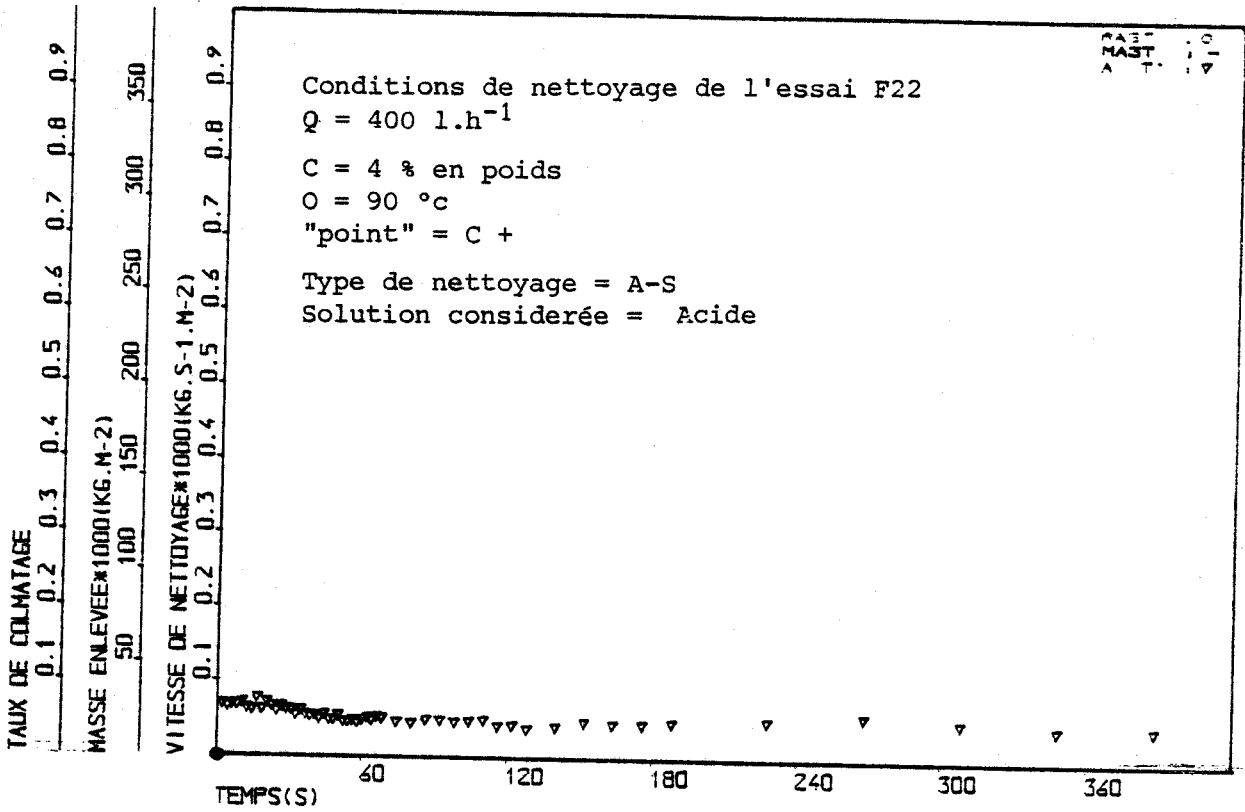




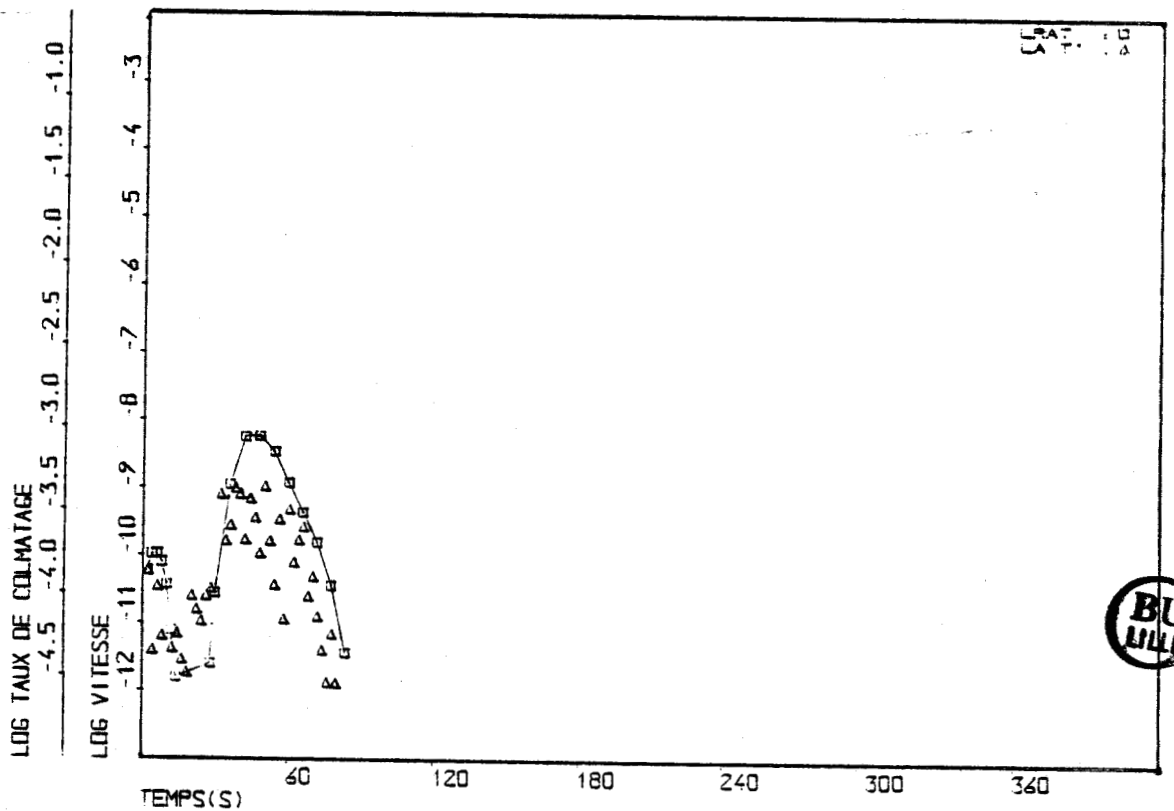
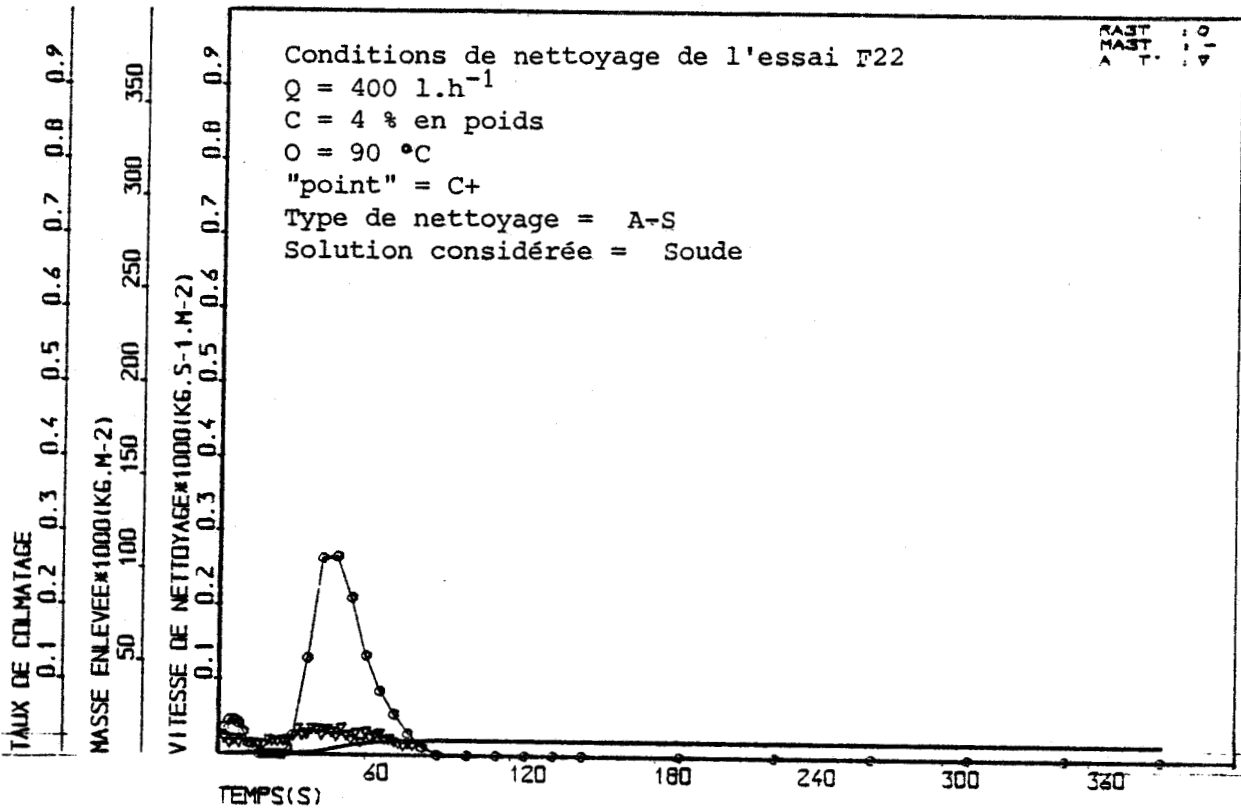












**ANNEXE II**

=====

"LISTING" DU PROGRAMME DE CALCUL DES CONSTANTES  
DE VITESSE A PARTIR DES DONNEES EXPERIMENTALES

```

1000 REM SIMPLEX MARIE-NOELLE MARS 1986
1050 REM FICHIER SIMPL---.BAS
1100 DIM Q(100,10),F(25,21),C(4,10),R(21),Y(100)
1150 DIM M(20),F(20),Z(20),S(20),W(20),V(20),I(20)
1200 DIM U(20),H(20),L(20),G(20),X(20),A(20),N(20),E(20),D(20)
1250 DIM DD(20),T(20),X2(20),F2(20),Z2(20),S2(20),BZ(20)
1300 ON ERROR GOTO 22000
1350 O9=1 :NO=2:VO=2
1400 PRINT "NOM DU FICHIER (FIC$) - " : INPUT FIC$
1500 RES$ = FIC$+"R":REM FICHIER RESULTAT
1600 OPEN "I",#1,FIC$
1610 INPUT #1,Q
1611 INPUT #1,TP
1612 INPUT #1,SO
1613 INPUT #1,A7
1614 INPUT #1,AB
1615 INPUT #1,A9
1616 INPUT #1,TS
1617 INPUT #1,WO
1650 FOR I=1 TO WO
1700 FOR J=1 TO VO
1750 INPUT #1,Q(I,J)
1800 PRINT Q(I,J); " ";
1900 NEXT J
1950 PRINT " "
2000 NEXT I
2100 LPRINT TAB(20); "-----"
2150 LPRINT TAB(20); "! IDENTIFICATION DES PARAMETRES !"
2200 LPRINT TAB(20); "-----"
2210 LPRINT " ":LPRINT "FICHIER DONNEES = ";FIC$
2220 LPRINT " ":LPRINT "FICHIER RESULTAT = ";RES$:LPRINT " "
2250 LET Q=0:LET R=1:LET E=2:LET C=.5:LET PIO=0
2300 LPRINT " COEFFICIENTS : "
2350 LPRINT " REFLEXION = ";R
2400 LPRINT " EXPANSION = ";E
2450 LPRINT " CONTRACTION = ";C
2500 LPRINT " "
2550 PRINT "TAILLE MATRICE (WO,VO=Y+X)";WO,VO
2750 LET MO=NO+1
2800 PRINT:S1=0:C1=0:D%=10:MIN=.000001:MIL=1000
2850 FOR I=1 TO WO
2900 S1=S1+Q(I,1):C1=C1+Q(I,1)*Q(I,1)
2950 NEXT I
3000 FOR I=1 TO MO+4
3050 FOR J=1 TO NO+1
3100 LET P(I,J)=0
3150 NEXT J
3200 NEXT I
3700 LPRINT "DEBIT,TP,SO,ALPHA,BETA,GAMMA,TS"
3750 LPRINT Q,TP,SO,A7,AB,A9,TS
3800 LPRINT " ":LPRINT " ":LPRINT " "
3850 PRINT " ESTIMATION DES PARAMETRES"
3900 LPRINT "ESTIMATION DE CHAQUE PARAMETRE:"
3910 INPUT #1,LI
3920 INPUT #1,LJ
3950 FOR I=1 TO MO
4000 FOR J=1 TO NO*LI
4050 INPUT #1,C(I,J):LPRINT USING " #.####";C(I,J);
4100 NEXT J
4150 LPRINT " "
4200 NEXT I
4210 CLOSE #1

```

```

4220 IF LU=0 THEN M$="CF" ELSE M$="CB"
4250 LPRINT " "
4450 RF=200:RX=300:DT=.1:D=.15:EP=.0038:CE=.01
4500 RX1=2*RX:MC1=A8*A8*A7/RX1:MC2=A7*A8/RX-D*EP:MV2=MC2*MC2:MV1=4*MC1
4550 MD1=2*MC1:DSQ=D%*SQ
4650 IF M$="CF" THEN LON=1
4700 IF M$="CF" THEN LET KF=3.24
4750 IF M$="CB" THEN LET LON=1.5
4800 IF M$="CB" THEN LET KF=4.86
4900 LET VPM=EP*D*(LON-A9)
4950 LET ROH=1001.3+11.77*SQ-.017941*SQ*SQ
5000 LET ROH=ROH+(-8.344601E-02-.039428*SQ+9.3318E-04*SQ*SQ)*TP
5050 LET ROH=ROH+(-.0034666+2.8428E-04*SQ-7.7271E-06*SQ*SQ)*TP*TP
5100 LET U4=-6.3563+.05725*SQ+.0005984*SQ*SQ
5150 LET U4=U4+(-.02836-.0001877*SQ+7.754E-07*SQ*SQ)*TP
5200 U4=U4+(.0001055+9.134E-06*SQ-6.12E-07*SQ*SQ)*TP*TP
5250 LET NOH=EXP(U4)
5300 LET DOH=5.64E-15*(TP+273)/NOH
5350 RE=2*Q*ROH/(D*NOH):SC=NOH/DOH/ROH:BS=.84:C5=.4
5550 BOH=.051*SQR(KF/2)*RE^B5*SC^C5*DOH :AL=.163:NN1=.73:EB=.000067
5750 NF=EB*NN1:H6=(LON-A9)*D
5850 LET TO1=Q*Q*ROH*KF/(2*D*D*RE^AL)
5900 TO=TO1/(EP*EP):DOF=DOH*RF:DEB=DT/EB
5950 LET MX=A7*EXP(A8*(LON-A9))-A7
6000 VD=MX/RX:NN=(VPM-VD)/TS/Q
6055 LPRINT "NN=" ; NN ; " VD=" ; VD ; " NF=" ; NF ; " VPM=" ; VPM
6065 LPRINT "BOH=" ; BOH ; " DOH=" ; DOH ; " NOH=" ; NOH ; " RE=" ; RE
6075 LPRINT "SC=" ; SC ; " TO=" ; TO ; " NN1=" ; NN1 ; " M$=" ; M$
6100 REM
6150 REM DEBUT DES CALCULS
6200 REM
6250 FOR L=1 TO LI
6260 LPRINT TIME$ ; " " ; " L=" ; L
6300 FOR J=2 TO NO+1
6350 FOR I=5 TO MO+4
6360 II=I-4:JJ=J-1+(L-1)*NO
6400 P(I,J)=C(II,JJ)
6450 NEXT I
6500 NEXT J
6550 LPRINT TAB(20) ; "MATRICE P"
6600 FOR I=5 TO MO+4
6650 FOR J=2 TO NO+1
6700 LPRINT P(I,J) ,
6750 NEXT J
6800 LPRINT " "
6850 NEXT I
6900 LPRINT " " ; LPRINT " " ; LPRINT " "
6950 FOR J=1 TO NO+1
7000 LET R(J)=0
7050 NEXT J
7100 REM
7150 FOR I=5 TO MO+4
7250 GOSUB 12250
7300 NEXT I
7350 REM
7400 P10=P10+1:I2=0:M2=0
7450 FOR I=5 TO MO+4
7500 IF P(I,1)<M2 THEN 7650
7550 M2=P(I,1)
7600 I2=I
7650 NEXT I
7700 FOR J=1 TO NO+1
7750 LET P(2,J)=P(I2,J)
7800 NEXT J
7850 REM
7900 I3=0:M3=M2

```

```

7750 FOR I=5 TO MO+4
8000 IF P(I,1)>M3 THEN 8150
8050 LET M3=P(I,1)
8100 LET I3=I
8150 NEXT I
8200 FOR J=1 TO NO+1
8250 P(3,J)=P(I3,J):P(4,J)=0
8450 NEXT J
8500 REM
8550 FOR J=2 TO NO+1
8600 FOR I=5 TO MO+4
8650 LET P(4,J)=P(4,J)+P(I,J)
8700 NEXT I
8750 LET P(4,J)=(P(4,J)-P(2,J))/(MO-I)
8800 NEXT J
8850 LET I=4
8900 GOSUB 12250
8950 REM CALCUL DE LA VARIANCE
9000 LET S0=0
9050 FOR I=5 TO MO+4
9100 LET S0=S0+P(I,1)
9150 NEXT I
9200 S0=S0/MO:V=0
9250 FOR I=5 TO MO+4
9300 LET V=V+(P(I,1)-S0)*(P(I,1)-S0)
9350 NEXT I
9400 LET V=V/MO
9450 LET P0=(P(4,1)/(MO-NO))
9500 PRINT " "
9550 PRINT "PI0="";PI0;" TIME="";TIME$
9600 LPRINT "PI0="";PI0;" HEURE="";TIME$;" P0="";P0;" SQR(V)= ";SQR(V)
9670 H1=3*INT(NO/3)+2:H2=H1+1
9700 LPRINT "KR=""; P(4,H1);" K12="";P(4,H2)
9750 IF PI0>35 GOTO 19050
9800 FOR J=2 TO NO+1
9840 IF P(4,J)=0 THEN P(4,J)=1E-08
9850 IF ABS(P(4,J)-R(J))/P(4,J)>.000001 THEN 10150
9900 NEXT J
9950 LET O=O+1
10000 PRINT O
10050 IF O>6 THEN 19050
10100 GOTO 10200
10150 LET O=0
10200 FOR J=2 TO NO+1
10250 LET R(J)=P(4,J)
10300 NEXT J
10350 PRINT "R"
10400 FOR J=2 TO NO+1
10450 LET P(1,J)=(1+R)*P(4,J)-R*P(2,J)
10470 P(1,J)=ABS(P(1,J))
10500 NEXT J
10550 LET I=1
10600 GOSUB 12250
10650 IF P(1,1)<P(3,1) THEN 11150
10700 IF P(1,1)<P(2,1) THEN 11650
10750 PRINT "C"
10800 FOR J=2 TO NO+1
10850 LET P(1,J)=C*P(2,J)+(1-C)*P(4,J)
10870 P(1,J)=ABS(P(1,J))
10900 NEXT J
10950 LET I=1
11000 GOSUB 12250
11050 IF P(1,1)<P(2,1) THEN 11650
11100 GOTO 11900
11150 PRINT "E"
12000 FOR J=2 TO NO+1

```

```

11250 LET P(2,J)=E*P(1,J)+(1-E)*P(4,J)
11260 F(2,J)=ABS(P(2,J))
11300 NEXT J
11350 LET I=2
11400 GOSUB 12250
11450 IF P(2,1)>=P(3,1) THEN 11650
11500 FOR J=1 TO NO+1
11550 LET P(1,J)=P(2,J)
11600 NEXT J
11650 REM
11700 FOR J=1 TO NO+1
11750 LET P(12,J)=P(1,J)
11800 NEXT J
11850 GOTO 7350
11900 PRINT "ND"
11950 FOR I=5 TO MO+4
12000 FOR J=2 TO NO+1
12050 LET P(I,J)=(P(I,J)+P(3,J))/2
12100 NEXT J
12150 NEXT I
12200 GOTO 7100
12250 REM FONCTION ERREUR
12300 LET P(I,1)=0:PRINT:PRINT TIME#
12350 FOR K=1 TO WO
12450 PRINT " "K";K;
12550 REM FONCTION DE CALCUL
12600 LET TE=Q(K,2) :LET KR=P(I,2) :LET K12=P(I,3)
12650 IF TE>0 THEN 14150
12700 T=TE
12750 T1=0: N7=0
12800 LET N=INT(NN+.5): LET N8=NN
12850 KA=K12/TO
13000 FOR J1=1 TO N
13050 MV3=J1*TS*Q :M4=MV2-MV1*MV3:DD(J1)=(-MC2-SQR(M4))/MD1
13200 NEXT J1
13250 FOR J1=1 TO N
13300 DD(J1)=DD(J1)*(LON-A9)/DD(N):M(J1)=A7*(EXP(A8*DD(J1))-1)
13400 NEXT J1
13450 E(1)=DD(1):X(1)=M(1):A(1)=E(1)*D :H(1)=EP-X(1)/RX/A(1)
13550 FOR J1=2 TO N
13560 J2=J1-1
13600 X(J1)=M(J1)-M(J2):E(J1)=DD(J1)-DD(J2):A(J1)=E(J1)*D
13750 H(J1)=EP-X(J1)/RX/A(J1)
13800 NEXT J1
13850 FOR J%=1 TO N
13900 BZ(J%)=0:F(J%)=0:S(J%)=0:Z(J%)=0:W(J%)=0:G(J%)=0
13950 NEXT J%
14000 RN=0:DTR=DT*KR:DTA=DT*KA:DRF=DTR/NF
14050 LET T=DT
14100 GOTO 18750
14150 T=T+DT
14200 IF INT(N8+.5)=N THEN 16450
14250 PRINT " "T";T;
14300 LET N=INT(N8+.5)
14350 FOR J1=1 TO N-1
14400 D(J1)=DD(J1):X2(J1)=X(J1):Z2(J1)=Z(J1):F2(J1)=F(J1):S2(J1)=S(J1)
14650 NEXT J1
14700 FOR J1=1 TO N
14750 DD(J1)=J1*VPM/N8/EP/D
14800 NEXT J1
14850 FOR J1=1 TO N
14900 LET DD(J1)=DD(J1)*(LON-A9)/DD(N)
14950 NEXT J1
15000 LET E(1)=DD(1): LET A(1)=E(1)*D
15050 FOR J1=2 TO N
15060 J2=J1-1

```

```

15100 E(J1)=DD(J1)-DD(J2):A(J1)=E(J1)*D
15200 NEXT J1
15210 N1=N-1:N2=N-2
15250 F(1)=F2(1)*DD(1)/D(1)
15300 F(2)=F2(1)*(D(1)-DD(1))/D(1)+F2(2)*(DD(2)-D(1))/(D(2)-D(1))
15350 F(N)=F2(N1)*(DD(N)-DD(N1))/(D(N1)-D(N2))
15400 X(1)=X2(1)*DD(1)/D(1)
15450 X(2)=X2(1)*(D(1)-DD(1))/D(1)+X2(2)*(DD(2)-D(1))/(D(2)-D(1))
15500 X(N)=X2(N1)*(DD(N)-DD(N1))/(D(N1)-D(N2))
15550 Z(1)=Z2(1)*DD(1)/D(1)
15600 Z(2)=Z2(1)*(D(1)-DD(1))/D(1)+Z2(2)*(DD(2)-D(1))/(D(2)-D(1))
15650 Z(N)=Z2(N1)*(DD(N)-DD(N1))/(D(N1)-D(N2))
15700 S(1)=S2(1)
15750 S(2)=(S2(1)*(D(1)-DD(1))+S2(2)*(DD(2)-D(1)))/(DD(2)-DD(1))
15800 S(N)=S2(N1)
15850 FOR J1=3 TO N-1
15860 J2=J1-1:J3=J1-2
15900 X(J1)=X2(J2)*(D(J2)-DD(J2))/(D(J2)-D(J3))+X2(J1)*(DD(J1)-D(J2))/(D(J1)-D(J2))
15950 F(J1)=F2(J2)*(D(J2)-DD(J2))/(D(J2)-D(J3))+F2(J1)*(DD(J1)-D(J2))/(D(J1)-D(J2))
16000 Z(J1)=Z2(J2)*(D(J2)-DD(J2))/(D(J2)-D(J3))+Z2(J1)*(DD(J1)-D(J2))/(D(J1)-D(J2))
16050 S(J1)=(S2(J2)*(D(J2)-DD(J2))+S2(J1)*(DD(J1)-D(J2)))/(DD(J1)-DD(J2))
16100 NEXT J1
16150 LET M(1)=X(1):LET G(1)=F(1):LET BZ(1)=Z(1)
16200 FOR J1=2 TO N
16210 J2=J1-1
16250 M(J1)=M(J2)+X(J1):G(J1)=G(J2)+F(J1):BZ(J1)=BZ(J2)+Z(J1)
16400 NEXT J1
16450 TTT=TS*N7+DT:ZZ=TTT-T+CE
16452 IF ZZ<0 GOTO 16850
16500 FOR J%=1 TO N-1
16510 N1=N-J%:N2=N1+1
16550 BZ(N2)=BZ(N1)
16600 NEXT J%
16650 LET BZ(1)=0:LET Z(1)=BZ(1)
16700 FOR J1=2 TO N
16710 J2=J1-1
16750 Z(J1)=BZ(J1)-BZ(J2)
16800 NEXT J1
16850 FOR J%=1 TO N
16900 H(J%)=EP-X(J%)/A(J%)/RX-F(J%)/A(J%)/RF
16950 T(J%)=BOH/H(J%)
7000 V(J%)=DOF*A(J%)/T(J%)/(MIN+F(J%))
7050 N(J%)=T01/H(J%)/H(J%)
7100 IF X(J%)<=0 THEN 17650
7150 I(J%)=DRF*S(J%)-DEB*(DSO-S(J%))*T(J%)*V(J%)/(V(J%)+1)
7200 S(J%)=S(J%)-I(J%)
7250 IF S(J%)>DSO THEN S(J%)=DSO
7300 IF S(J%)<=0 THEN S(J%)=0
7350 U(J%)=DTR*A(J%)*S(J%)
7400 L(J%)=DTA*N(J%)*F(J%)
7450 X(J%)=X(J%)-U(J%)
7500 F(J%)=F(J%)-L(J%)+U(J%)
7550 IF X(J%)<=0 THEN LET X(J%)=0
7600 GOTO 17950
7650 I(J%)=-DEB*(DSO-S(J%))*T(J%)*V(J%)/(1+V(J%))
7700 S(J%)=S(J%)-I(J%)
7750 IF S(J%)>DSO THEN S(J%)=DSO
7800 IF S(J%)<=0 THEN S(J%)=0
7850 L(J%)=DTA*N(J%)*F(J%)
7900 F(J%)=F(J%)-L(J%)
7950 W(J%)=(DSO+V(J%))*S(J%)/(1+V(J%))
8000 Z(J%)=Z(J%)+L(J%)
8050 IF F(J%)<=0 THEN F(J%)=0

```

```

18100 IF Z(J%)<=0 THEN Z(J%)=0
18150 NEXT J%
18200 BZ(1)=Z(1): M(1)=X(1): G(1)=F(1)
18250 FOR J1=2 TO N
18260 J2=J1-1
18300 M(J1)=M(J2)+X(J1)
18350 G(J1)=G(J2)+F(J1)
18400 BZ(J1)=BZ(J2)+Z(J1)
18450 NEXT J1
18460 RR=T-TI+CE
18500 IF RR< TS THEN 14150
18550 N8=(VPM-M(N)/RX-G(N)/RF)/TS/Q
18600 N7=T/TS:T1=T
18650 RN=MIL*Z(N)/TS/H6
18700 IF T<TE THEN 14150
18750 LET F1=RN
18800 LET P(I,1)=P(I,1)+(Q(K,1)-F1)*(Q(K,1)-F1)
18850 Y(K)=F1
18900 NEXT K
19000 RETURN
19050 LPRINT "RESULTATS:";TAB(20);"VARIANCE DES RESIDUS=";FO
19100 LPRINT "E.T. DU SIMPLEX";SQR(V)
19150 LPRINT " "
19200 LPRINT "NOMBRE DE PARAMETRES IDENTIFIES NO";NO
19250 FOR J=1 TO NO+1
19300 LPRINT "P";J-1;"=";P(4,J);"/";
19350 NEXT J
19400 LPRINT " ";PI0=0
19500 OPEN "A",#2,RES#
19550 FOR I=1 TO W0
19650 PRINT #2,Q(I,2),Q(I,1),Y(I)
19750 NEXT I
19800 CLOSE #2
19810 NEXT L
20050 END
22000 PRINT :PRINT "ERR ET ERL ";ERR,ERL
22100 END

```



ANNEXE III

=====

VALIDATION DU MODELE MATHEMATIQUE SUPPOSE  
COURBES DONNANT LES VITESSES CALCULEES  
EN FONCTION DES VITESSES EXPERIMENTALES

### ANNEXE III

Nous présentons dans cette annexe les courbes expérimentales de vitesse et les courbes simulées obtenues à partir des nettoyages des sections du pasteurisateur.

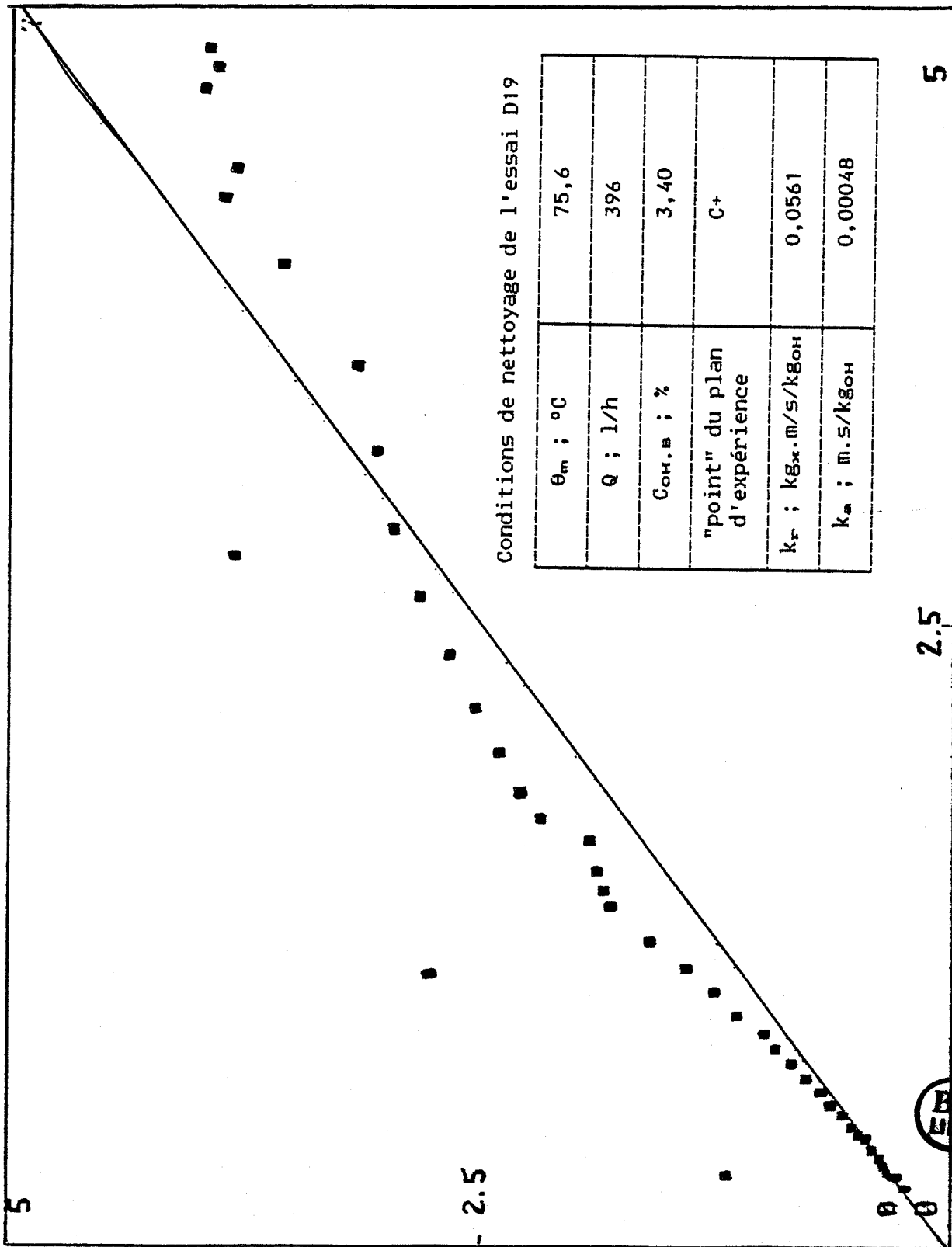
Pour chaque essai, nous traçons la courbe représentant la vitesse simulée en fonction de la vitesse expérimentale de nettoyage. Cette courbe est symbolisée par " $\square$ ".

Les symboles utilisés sont les suivants:

- $\theta_m$  représente la température moyenne de la solution ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $Q$  représente le débit de la solution ( $\text{l.h}^{-1}$ )
- $C_{\text{OH.B}}$  représente la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (% en poids)
- $R$  correspond au "point" de référence du plan d'expérience ( $400 \text{ l.h}^{-1}$ ,  $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2 % en poids)
- $T+$  et  $T-$  sont respectivement les "point" haut et bas de température du plan d'expérience ( $95$  et  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- $V+$  et  $V-$  sont respectivement les "points" haut et bas de débit du plan d'expérience ( $600$  et  $300 \text{ l.h}^{-1}$ )
- $C+$  et  $C-$  sont respectivement les "points" haut et bas de concentration du plan d'expérience ( $4$  et  $0,5 \text{ % en poids}$ )
- $k_r$  est la constante de vitesse de la réaction du dépôt avec l'hydroxyde de sodium
- $k_a$  est la constante d'arrachement du dépôt déjà fragilisé par la réaction.
- $C$  symbolise la section de chauffage du pasteurisateur
- $D$  symbolise la section de chambrage du pasteurisateur.

La numérotation des essais correspond à celle des tableaux 18 ,19A et 19B.

Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



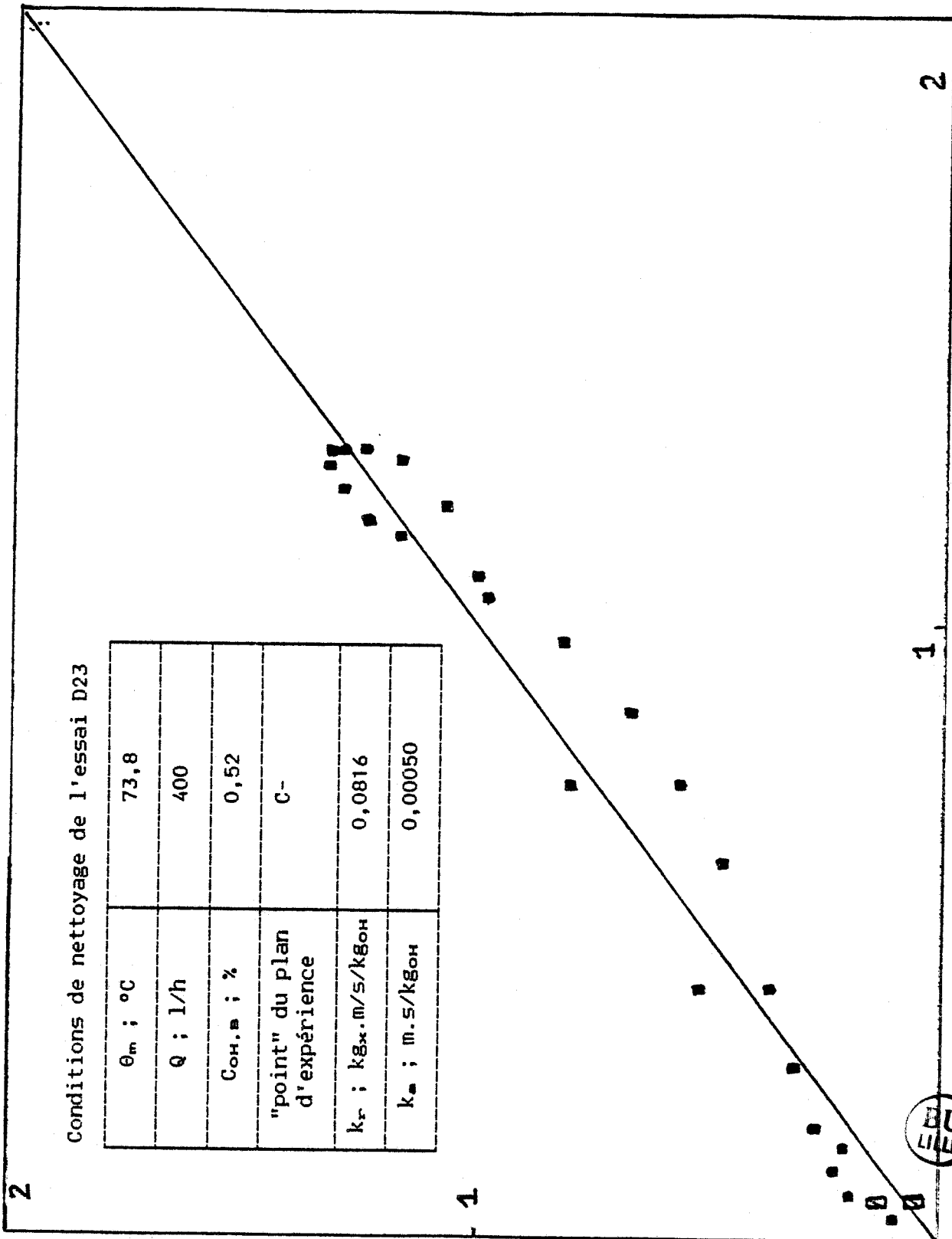
Conditions de nettoyage de l'essai D19

$\theta_m$ ; °C	75,6
$Q$ ; l/h	396
Con.в ; %	3,40
"point" du plan d'expérience	C+
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{OH}$	0,0561
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00048

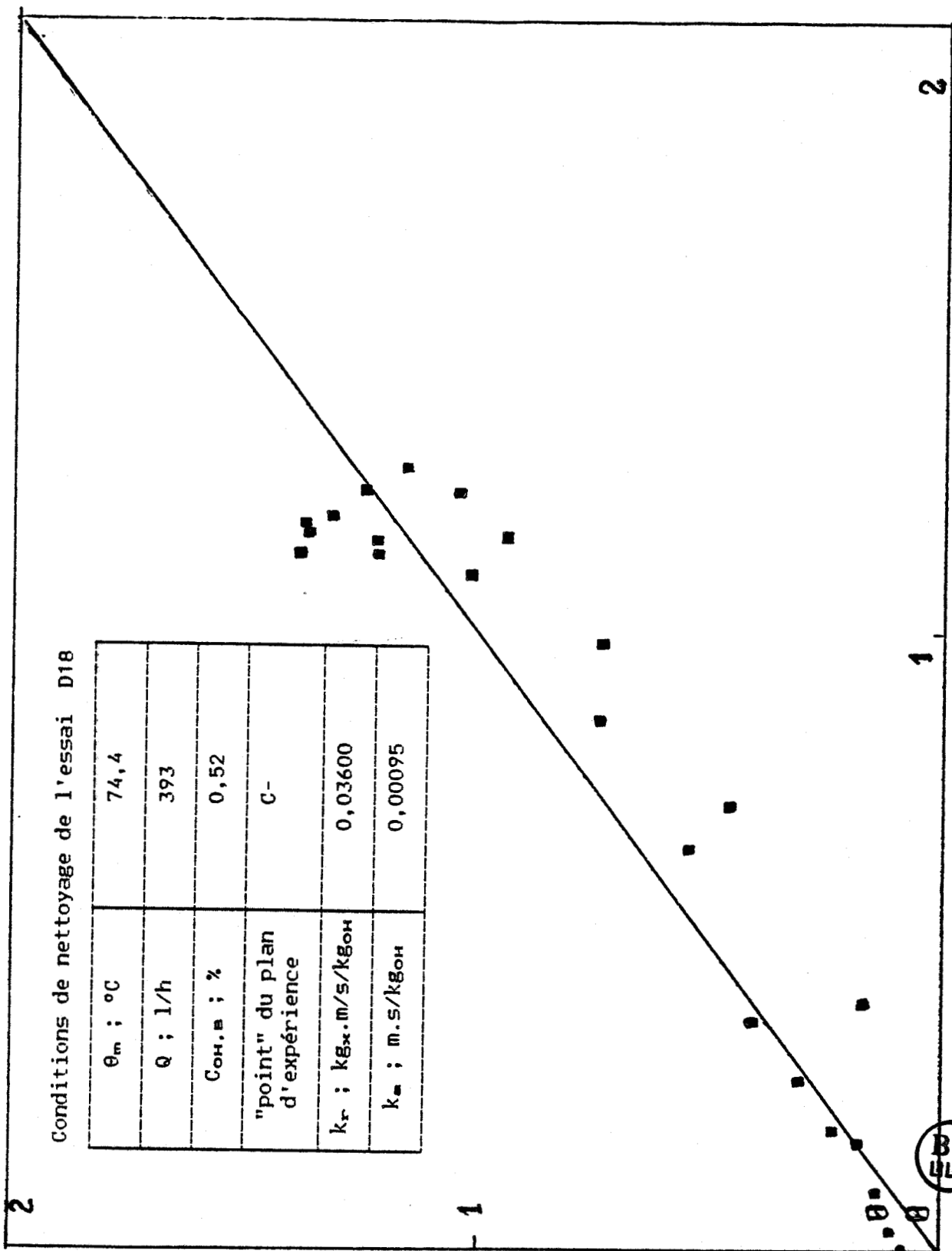
2.5

5

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2/s$ )



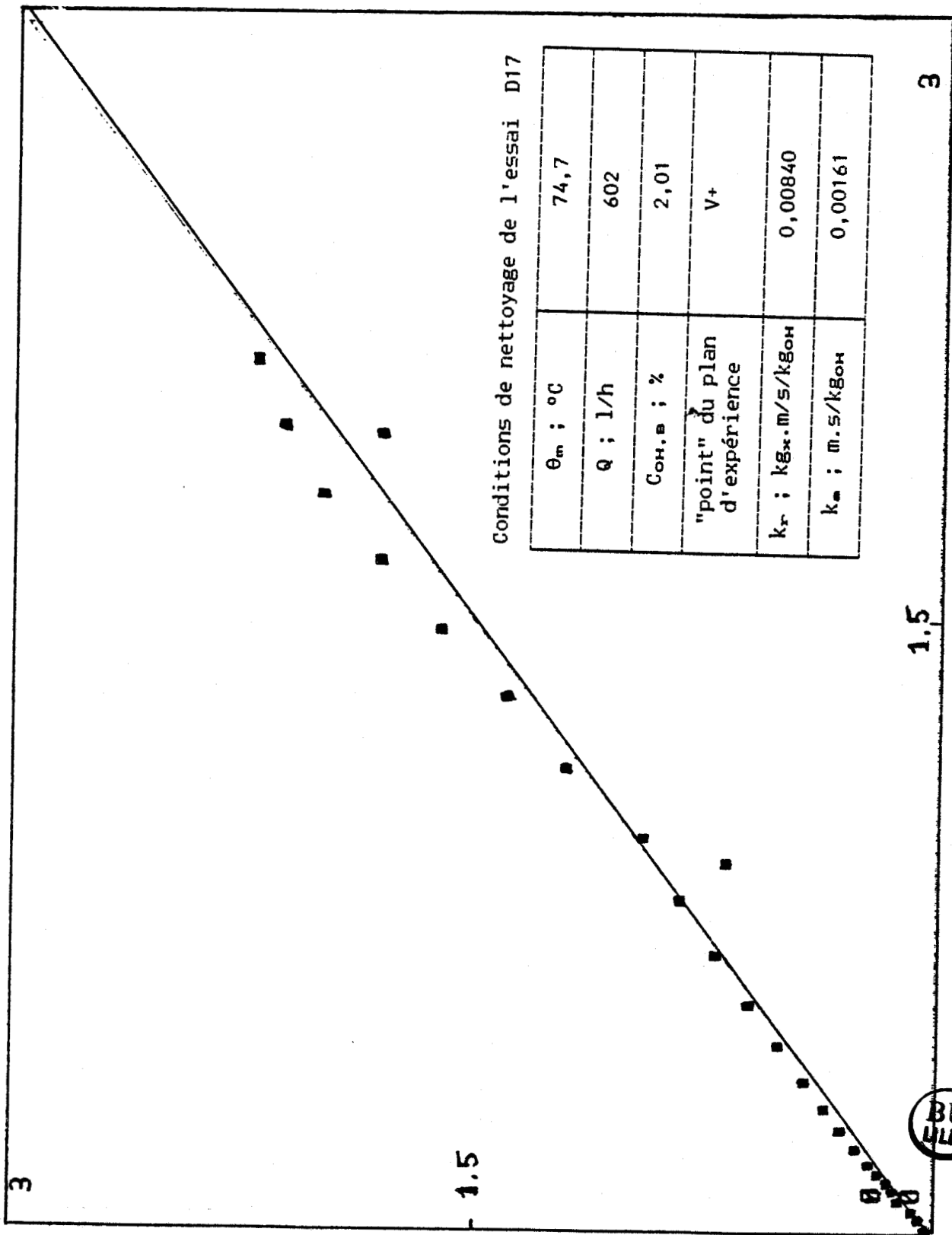
Vitesse de nettoyage expérimentale (g /m²/s)



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2 / s$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Conditions de nettoyage de l'essai D17

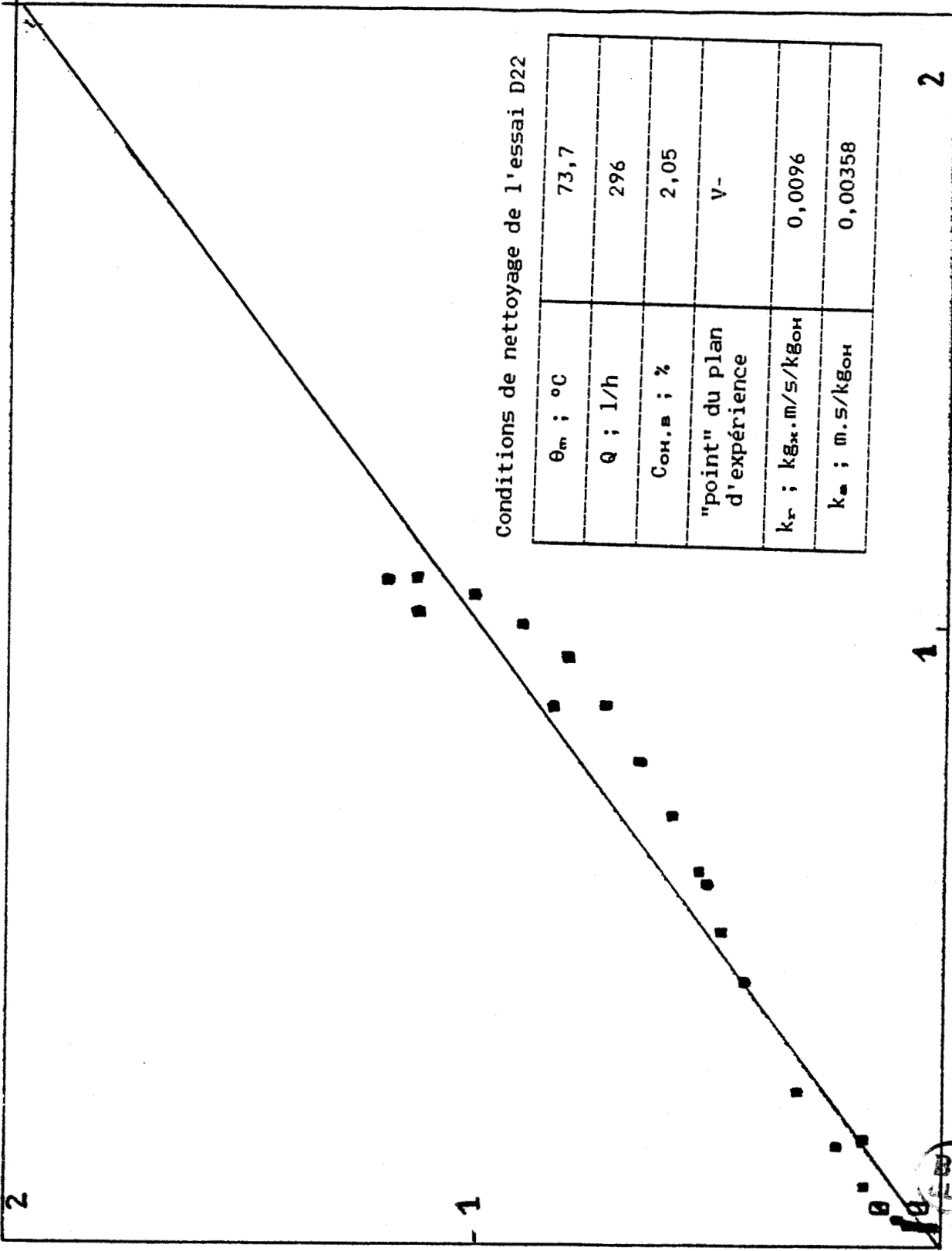
$\theta_m$ ; °C	74,7
Q ; l/h	602
Con.s ; %	2,01
"point" du plan d'expérience	V+
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{OH}$	0,00840
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00161

1.5



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2 / s$ )

3



Vitesse de nettoyage simulée (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

Conditions de nettoyage de l'essai D22

$\theta_m$ ; °C	73,7
Q ; l/h	296
Con.v ; %	2,05
"point" du plan d'expérience	V-
$k_r$ ; kg <sub>s</sub> .m/s/kg <sub>OH</sub>	0,0096
$k_m$ ; m.s/kg <sub>OH</sub>	0,00358

Vitesse de nettoyage expérimentale (g /m<sup>2</sup>/s)

1.5

Conditions de nettoyage de l'essai D16

$\theta_m$ ; °C	74,9
Q ; l/h	296
Сон.в ; %	2,06
"point" du plan d'expérience	V-
$k_r$ ; кг·м/с/кгон	0,03070
$k_m$ ; м·с/кгон	0,00139

Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

.75

.75

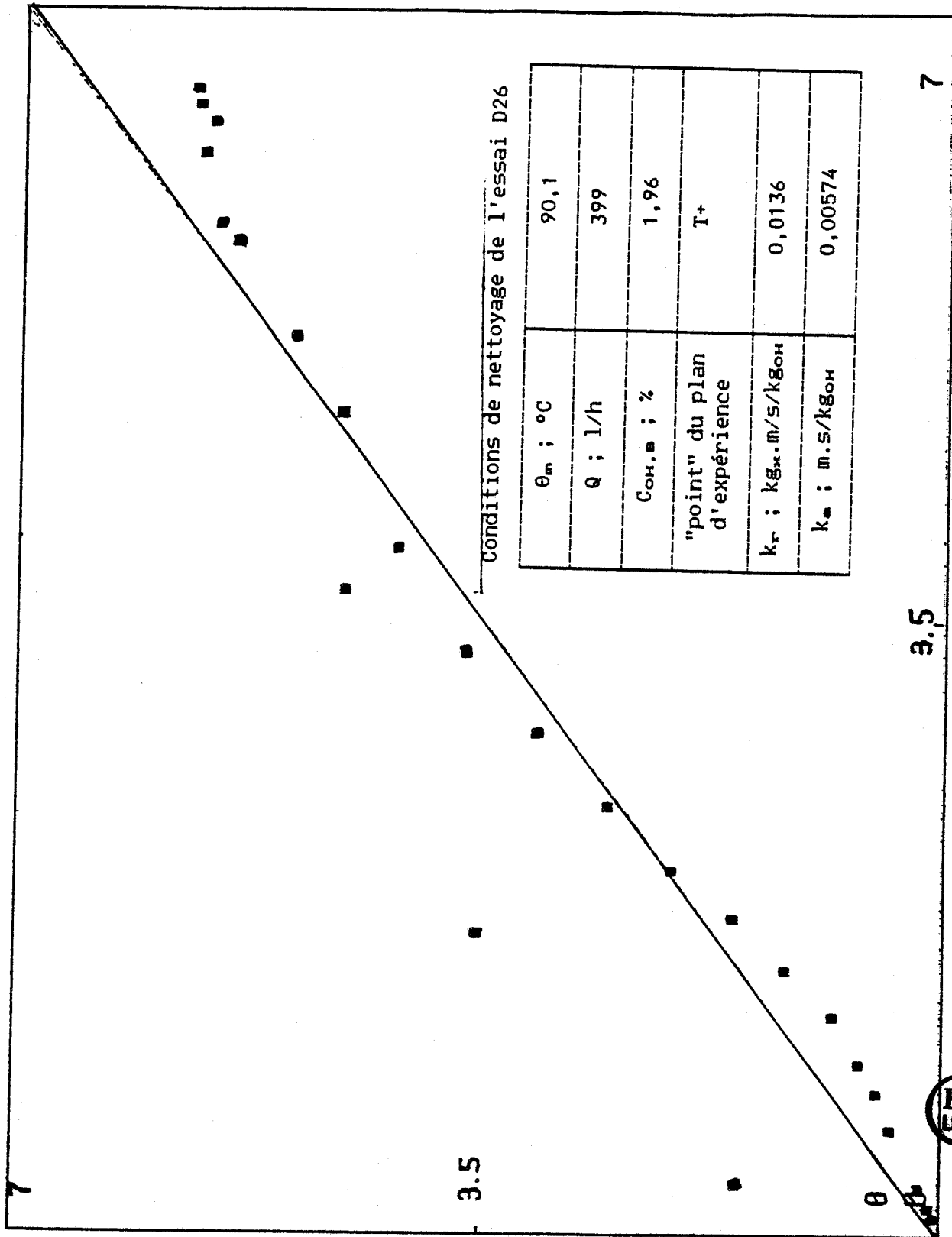
1.5



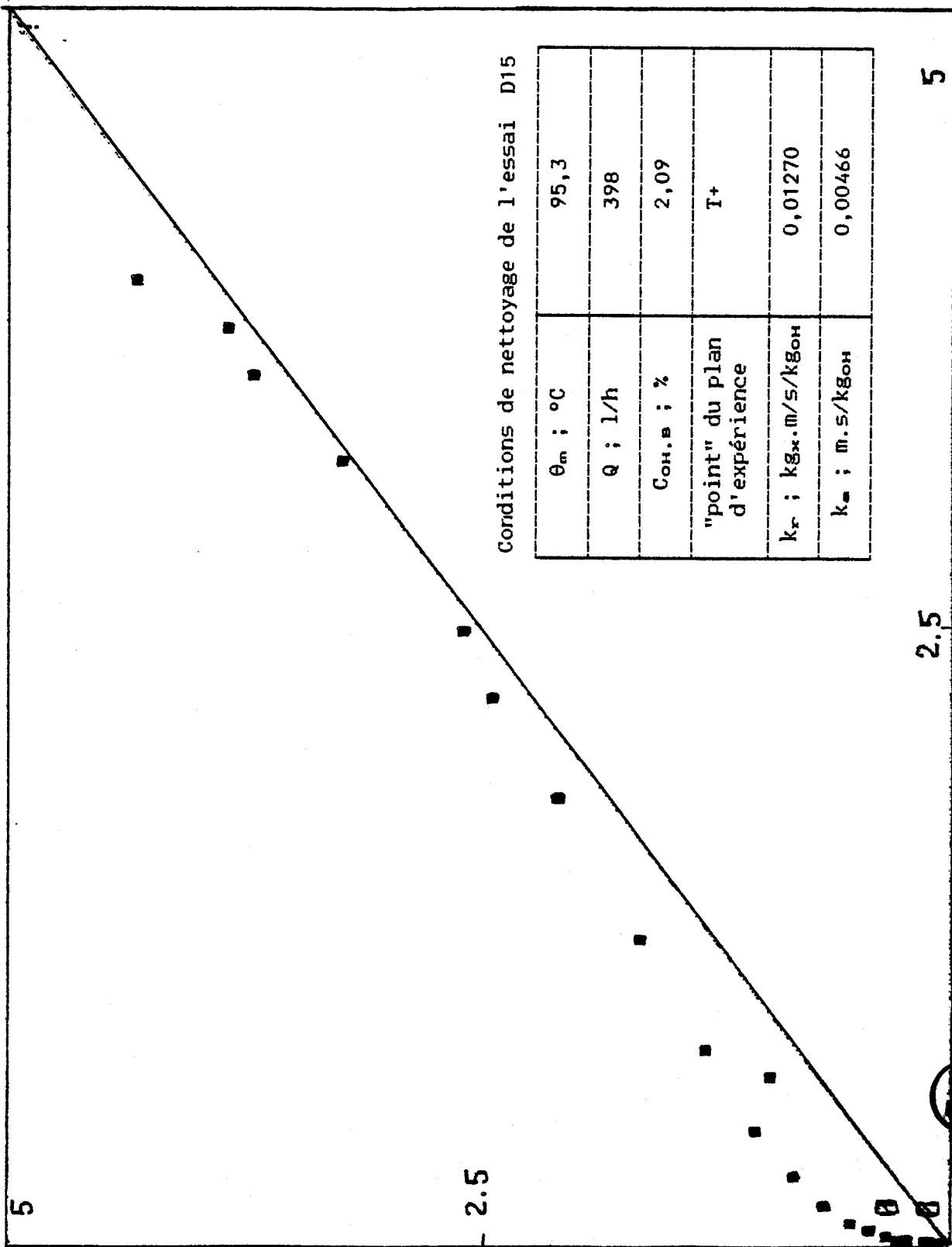
Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g/m^2/s$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2 / s$ )

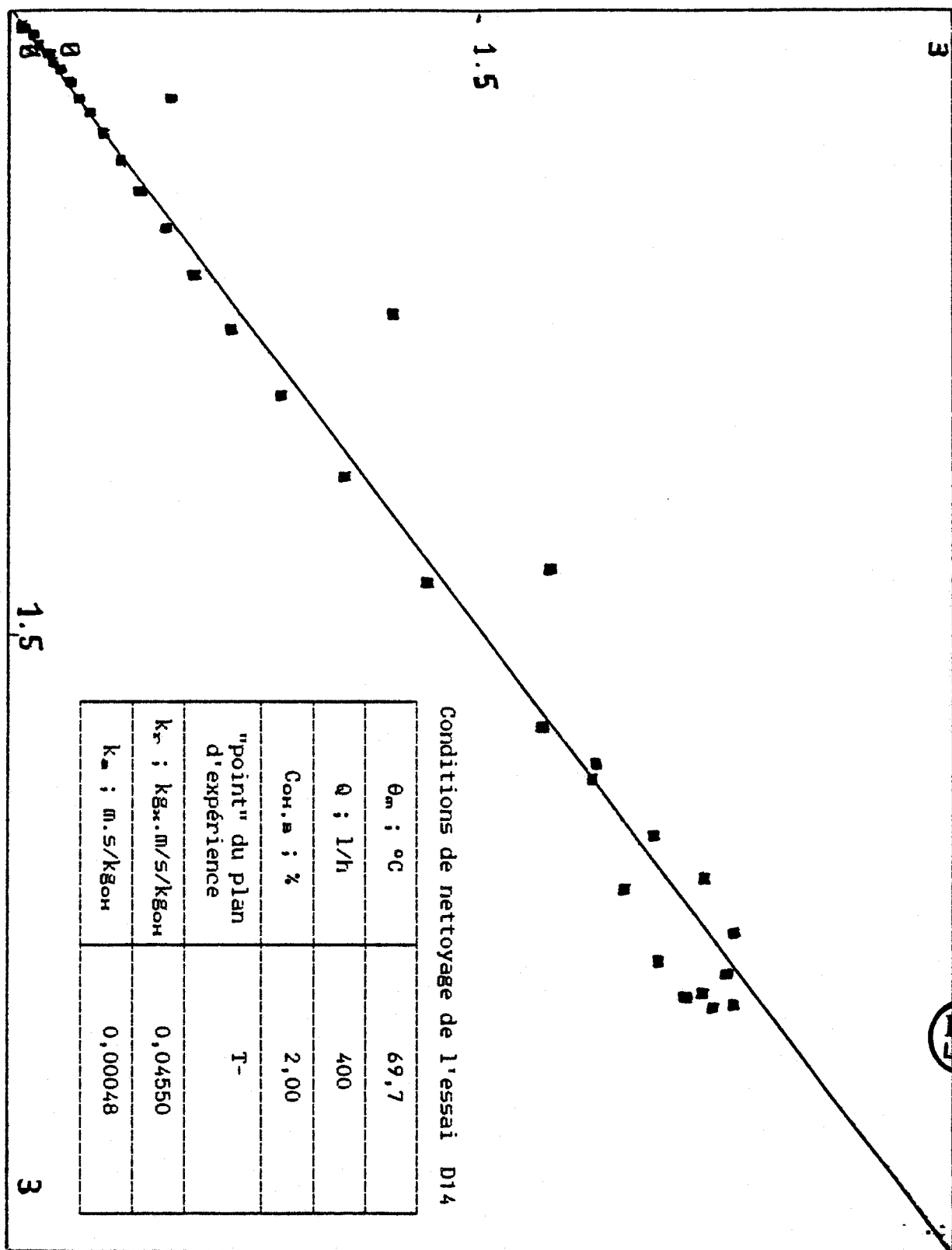


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g/m^2/s$ )

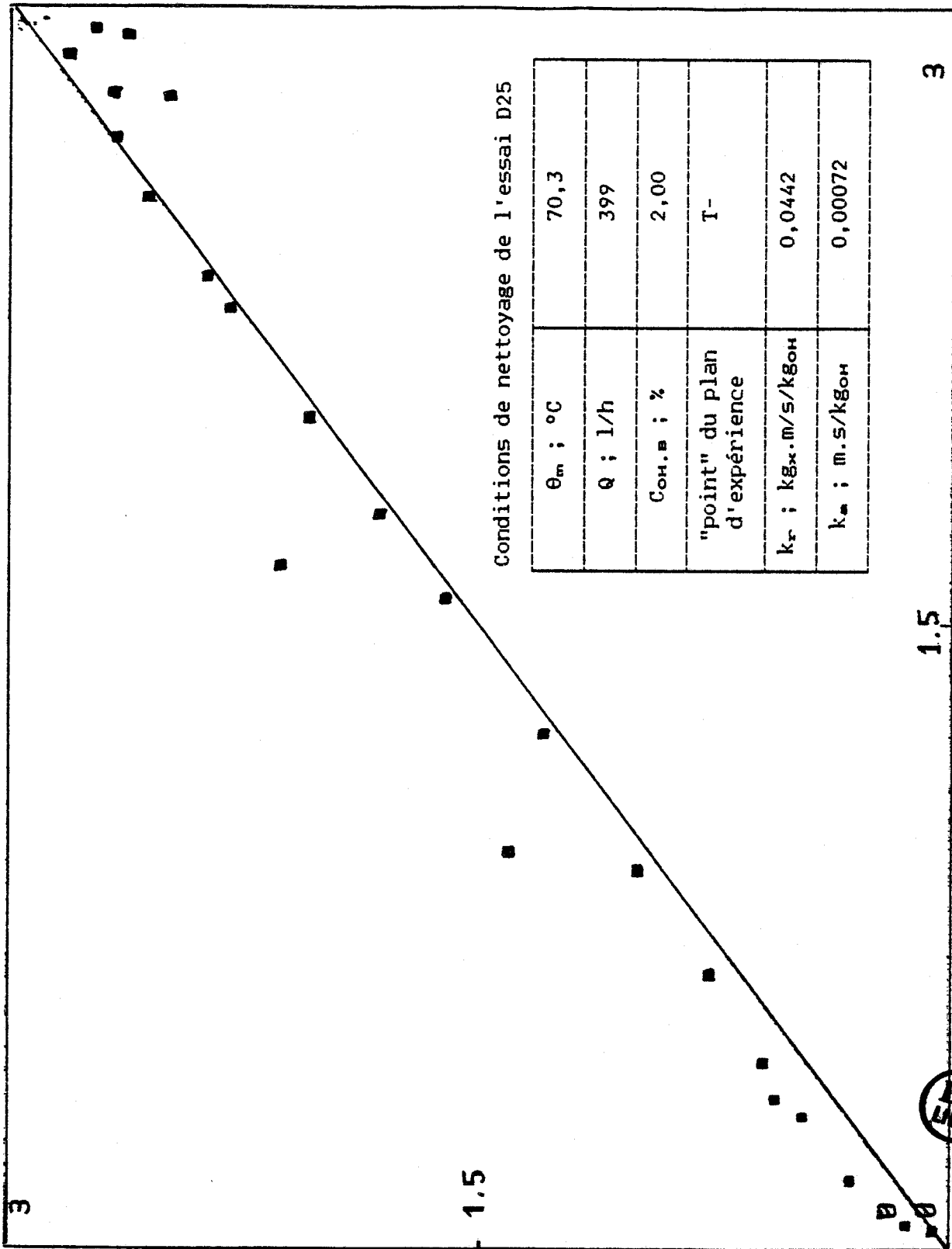


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2 / s$ )

Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Conditions de nettoyage de l'essai D25

$\theta_m$ ; °C	70,3
Q ; l/h	399
Con. v ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	T-
$k_r$ ; $kg \times m/s / kg_{OH}$	0,0442
$k_m$ ; $m.s / kg_{OH}$	0,00072

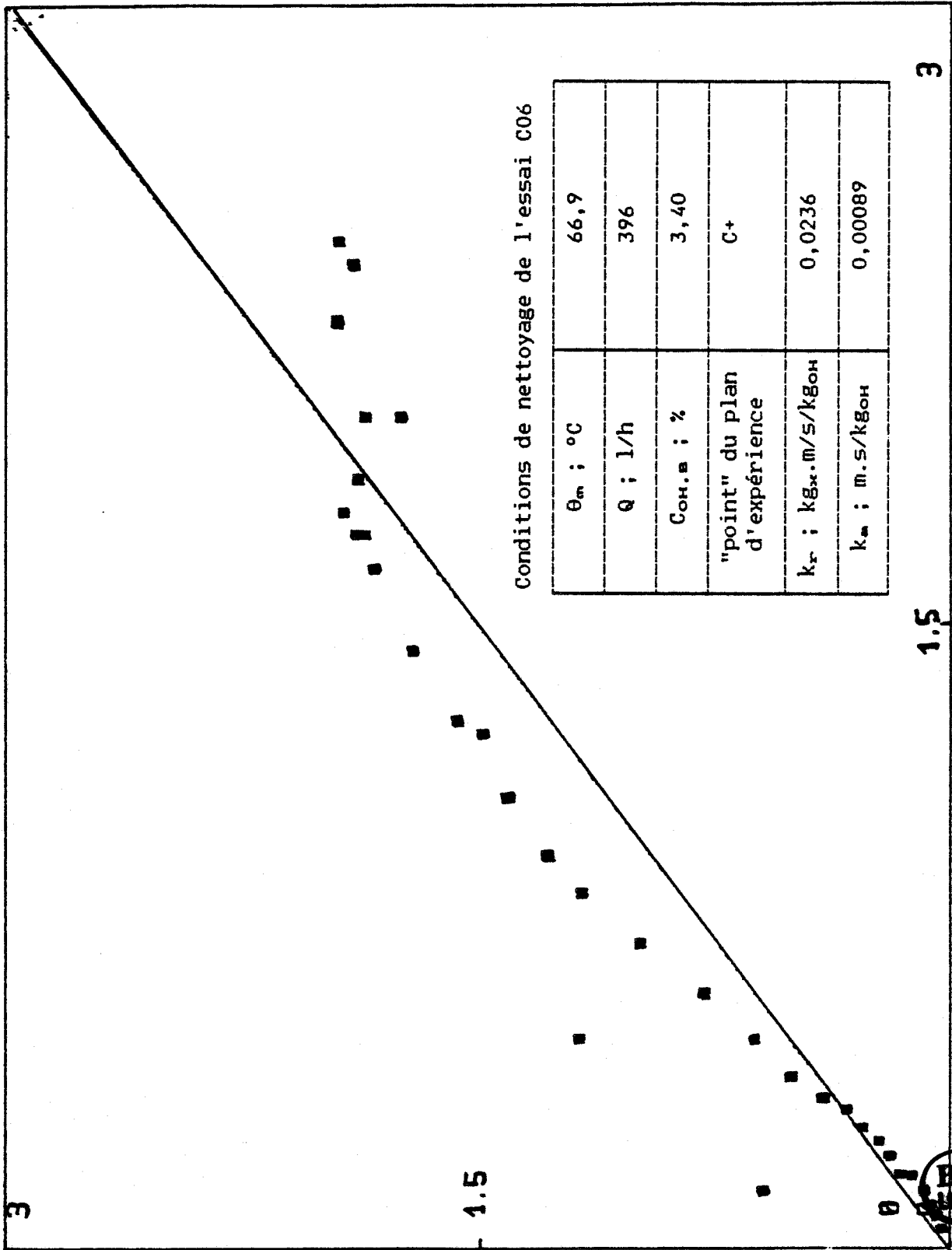
1.5

3

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g / m^2/s$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

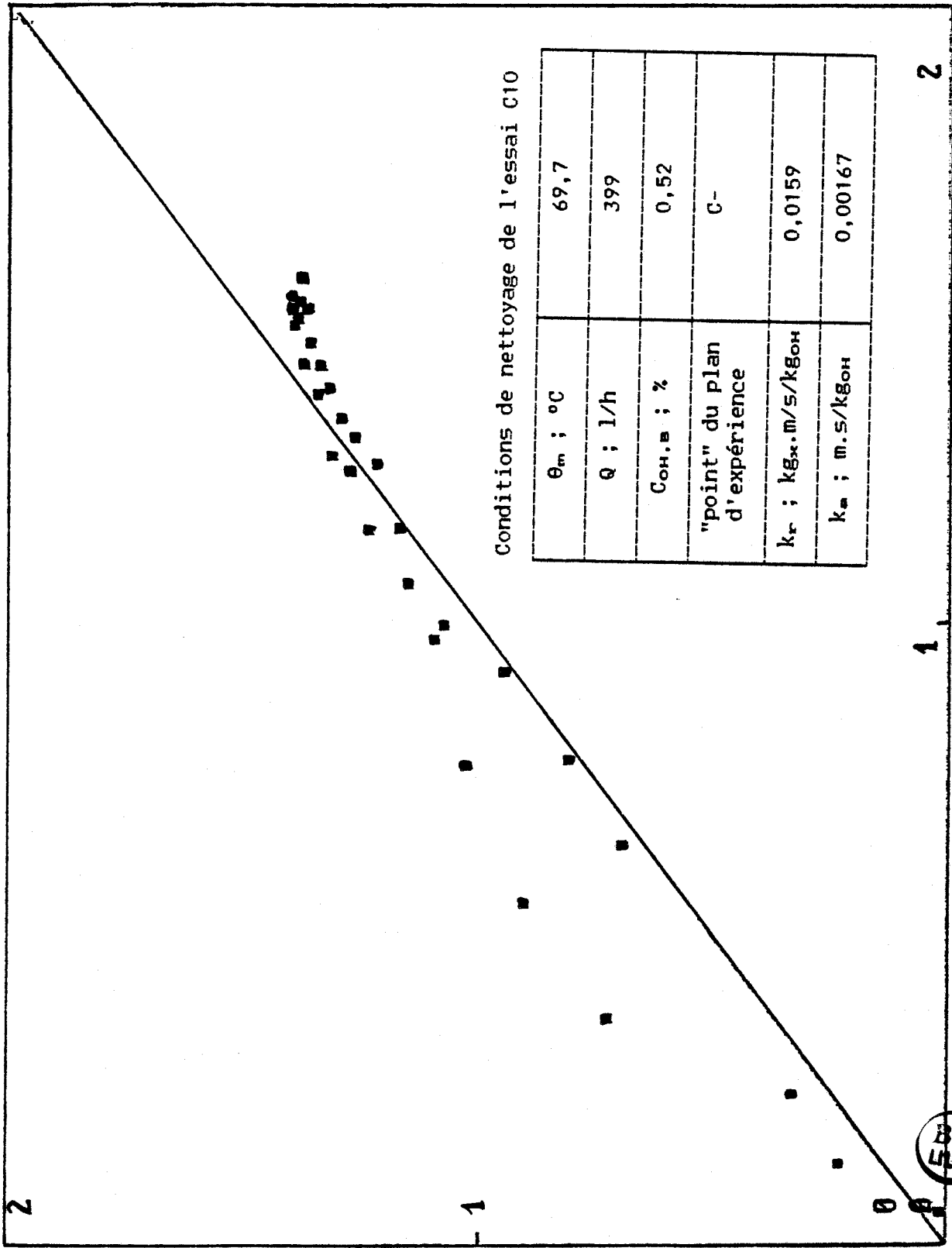


Conditions de nettoyage de l'essai C06

$\theta_m$ ; °C	66,9
Q ; l/h	396
Con.s ; %	3,40
"point" du plan d'expérience	C+
$k_r$ ; $kg_x.m/s/kg_{OH}$	0,0236
$k_m$ ; $m.s/kg_{OH}$	0,00089

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

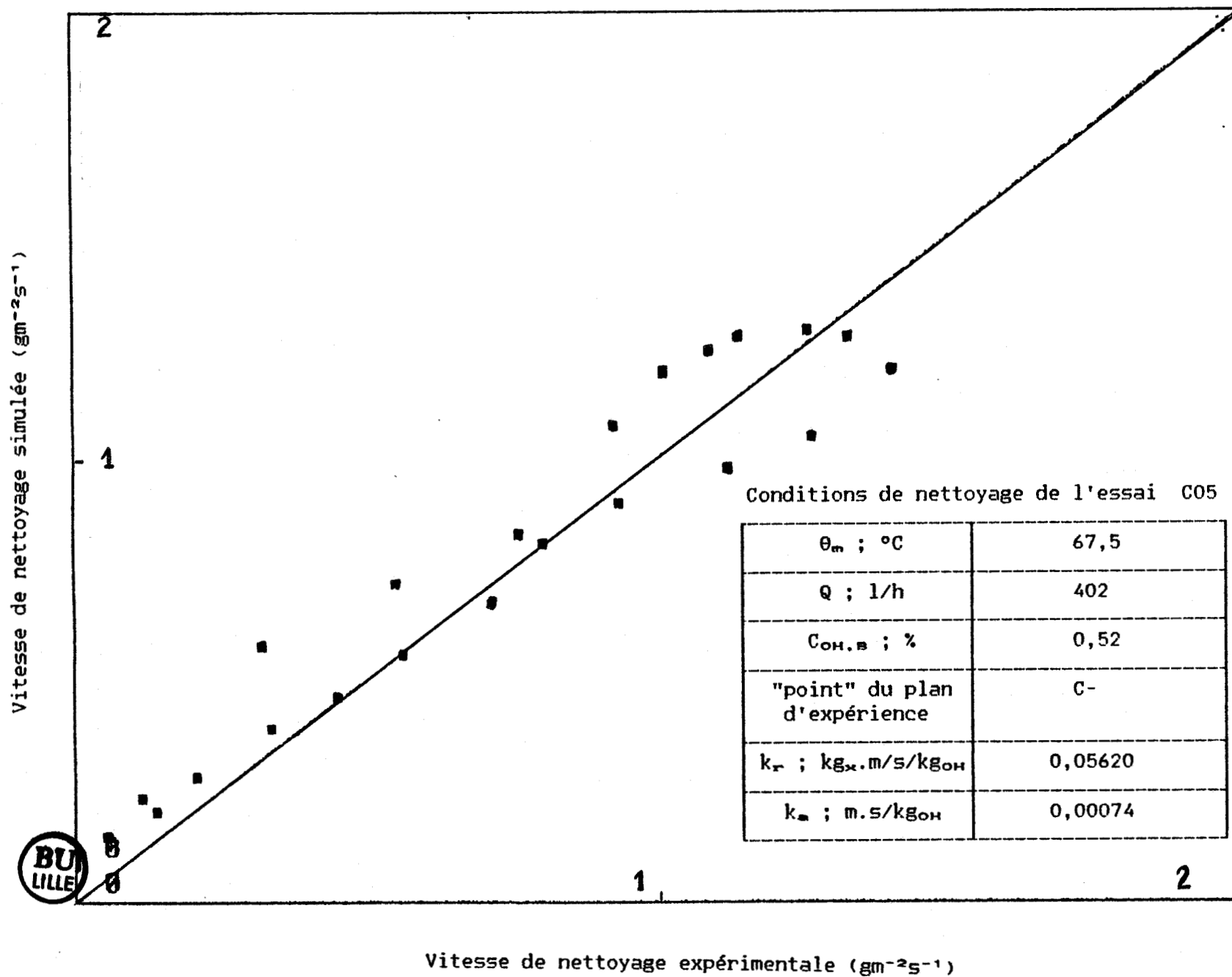


Conditions de nettoyage de l'essai C10

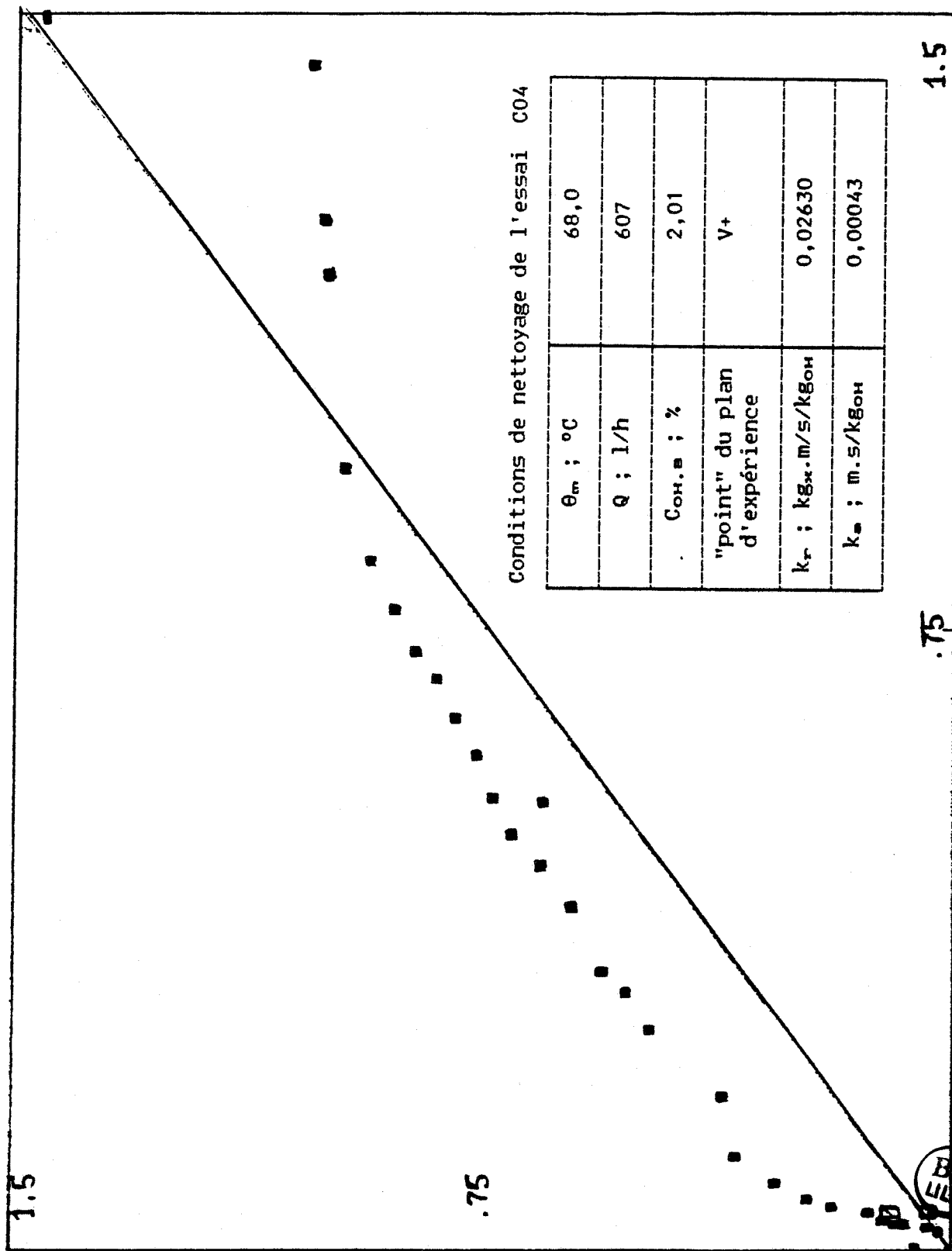
$\theta_m$ ; °C	69,7
Q ; l/h	399
Con.в ; %	0,52
"point" du plan d'expérience	C-
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{OH}$	0,0159
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00167



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

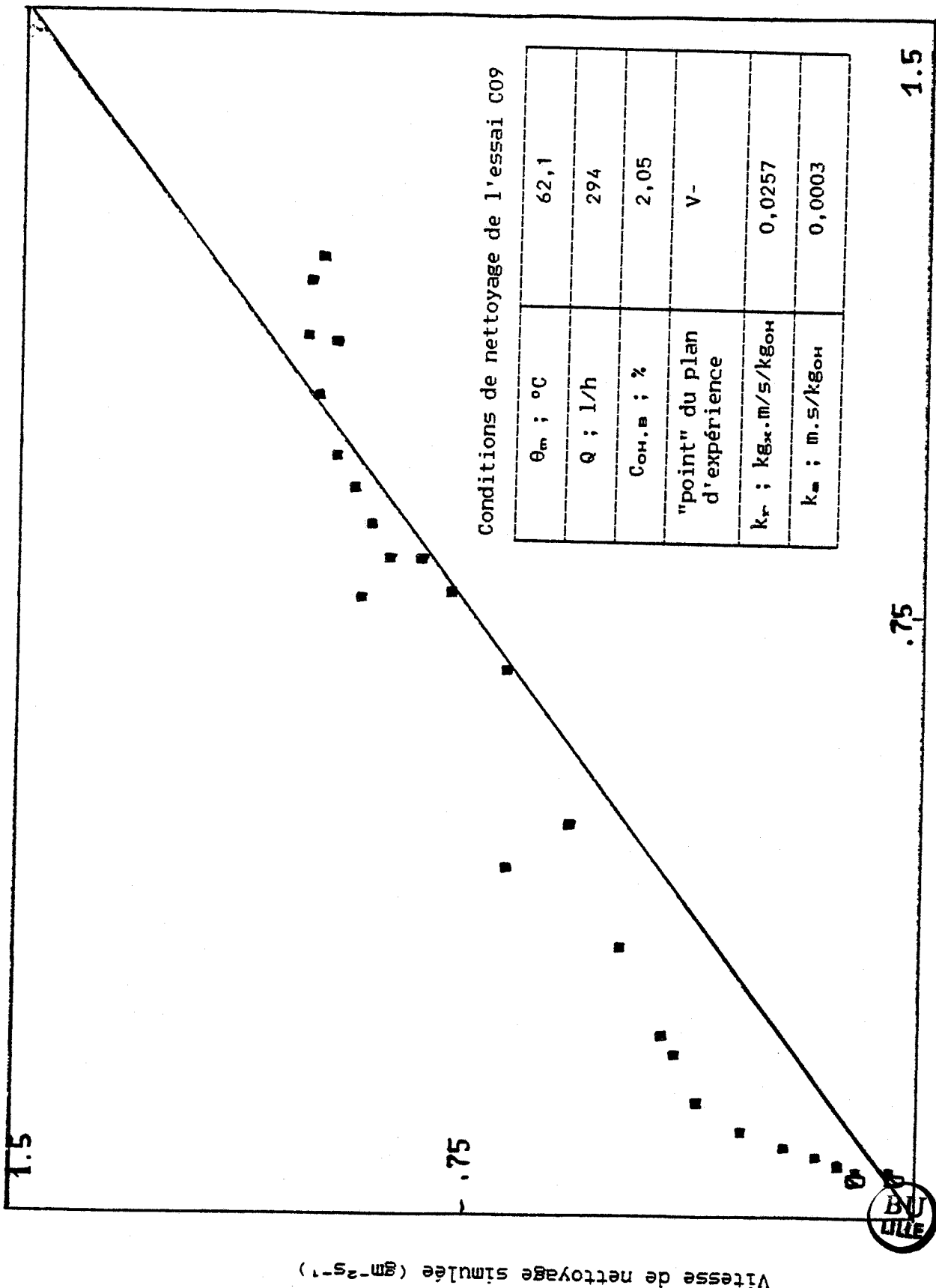


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Conditions de nettoyage de l'essai C04

$\theta_m$ ; °C	68,0
Q ; l/h	607
Con. s ; %	2,01
"point" du plan d'expérience	V+
$k_r$ ; $kg_{ss}.m/s/kg_{OH}$	0,02630
$k_m$ ; $m.s/kg_{OH}$	0,00043





Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Conditions de nettoyage de l'essai C09

$\theta_m$ ; °C	62,1
Q ; l/h	294
Con.v ; %	2,05
"point" du plan d'expérience	V-
$k_r$ ; $k\text{g}\cdot\text{m}/\text{s}/k\text{g}\text{on}$	0,0257
$k_m$ ; $\text{m}\cdot\text{s}/k\text{g}\text{on}$	0,0003

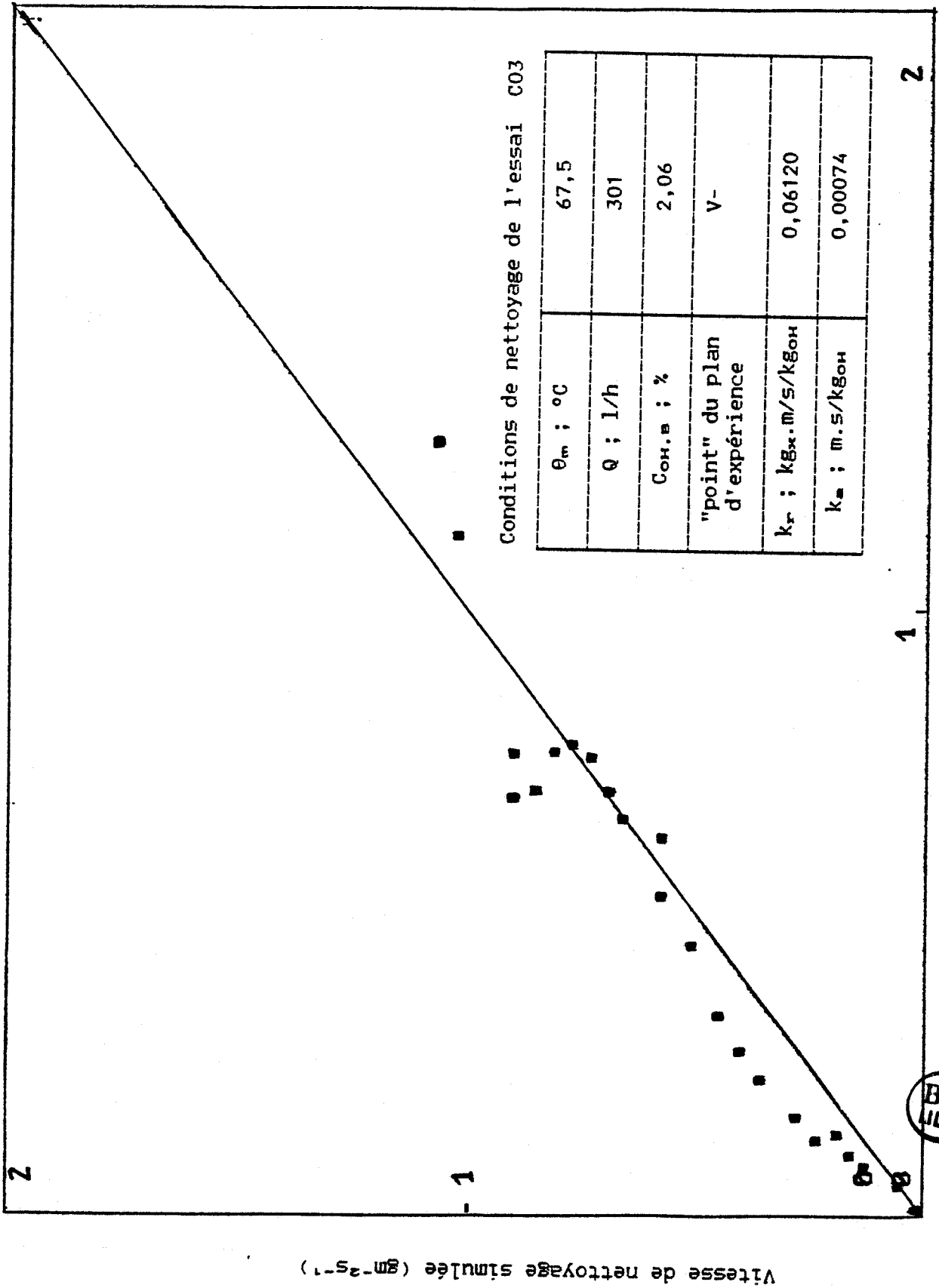
1.5

.75

.75

1.5

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

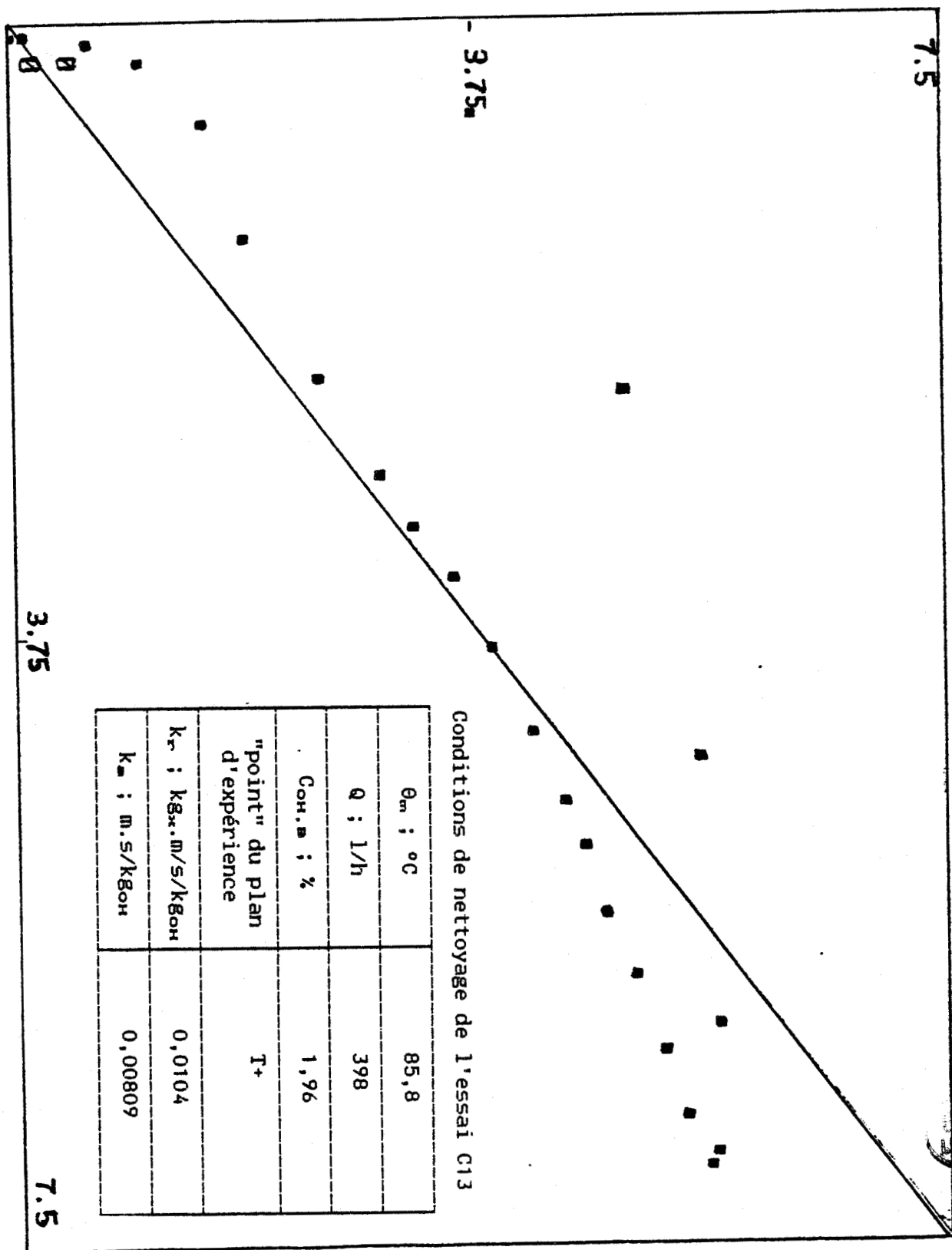
Conditions de nettoyage de l'essai C03

$\theta_m$ ; °C	67,5
Q ; l/h	301
Con.v ; %	2,06
"point" du plan d'expérience	V-
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{on}$	0,06120
$k_m$ ; $m / s / kg_{on}$	0,00074

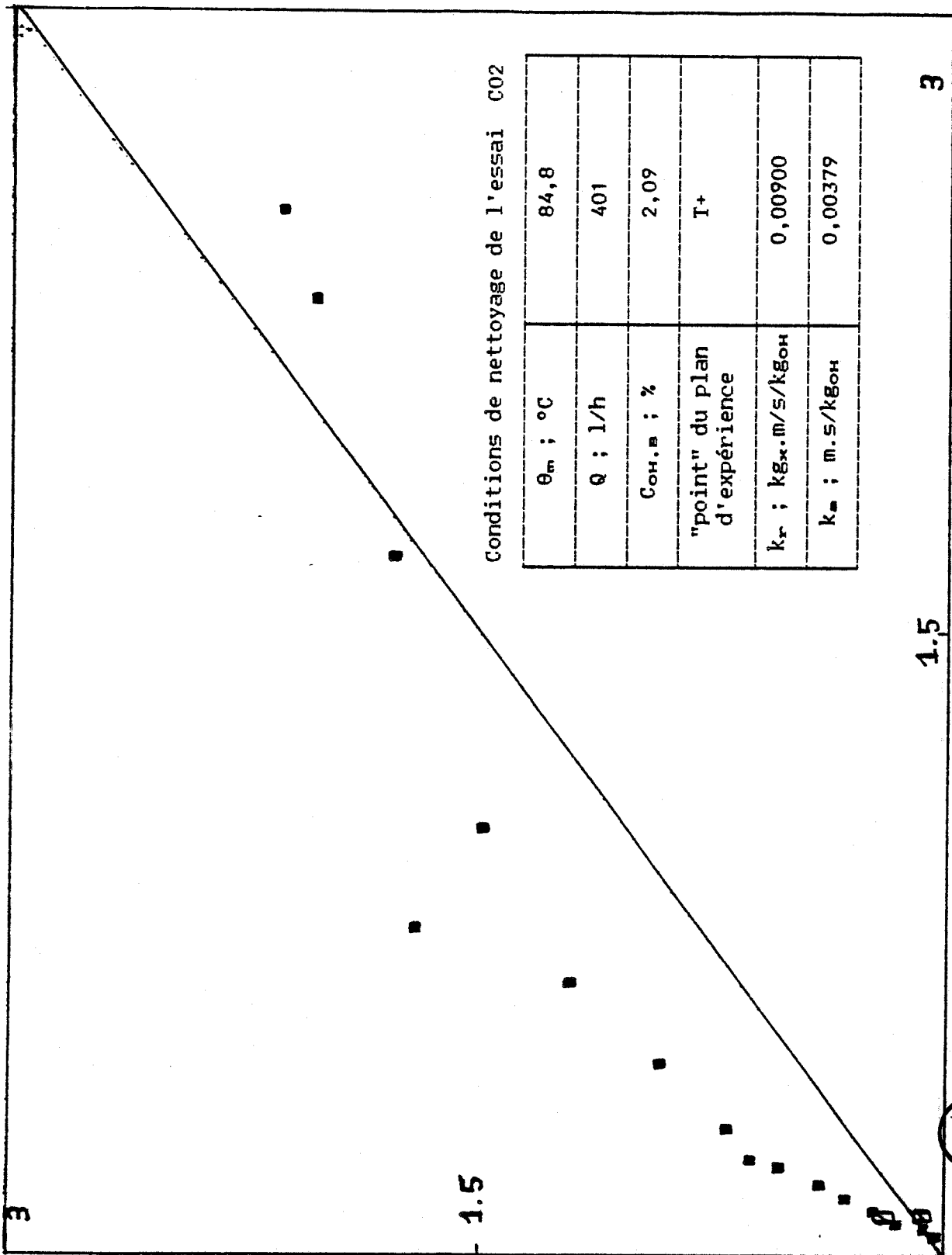
Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

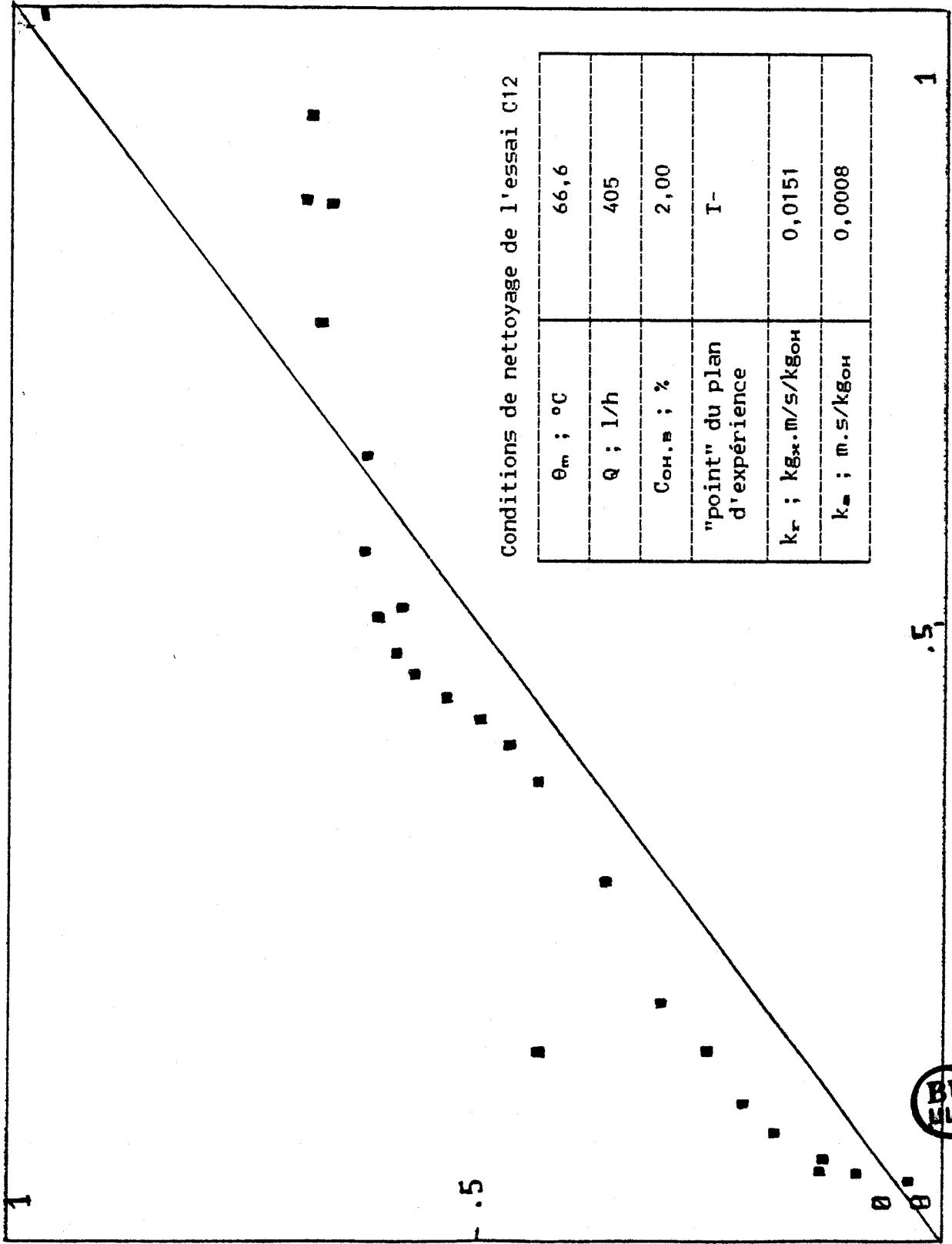


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

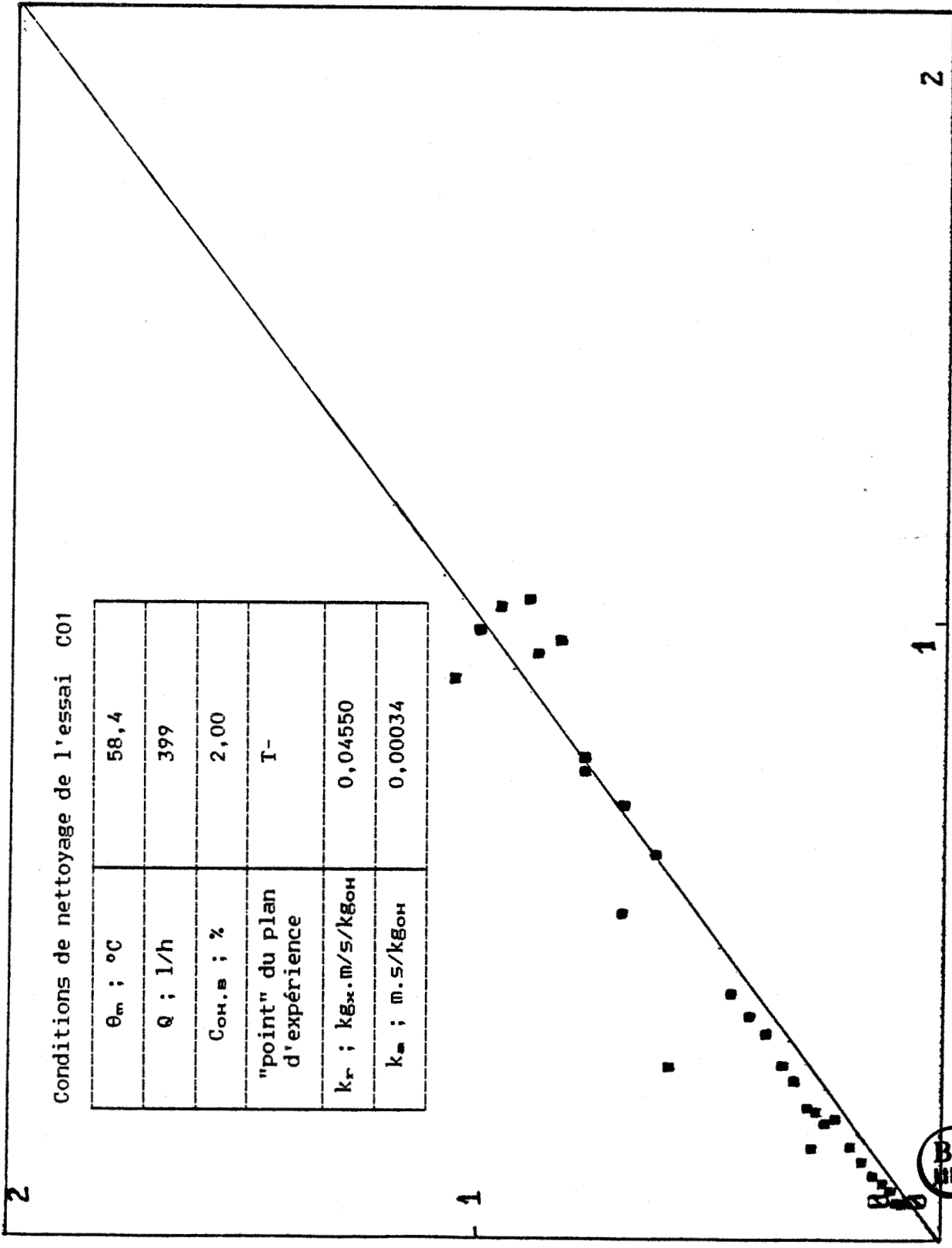


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

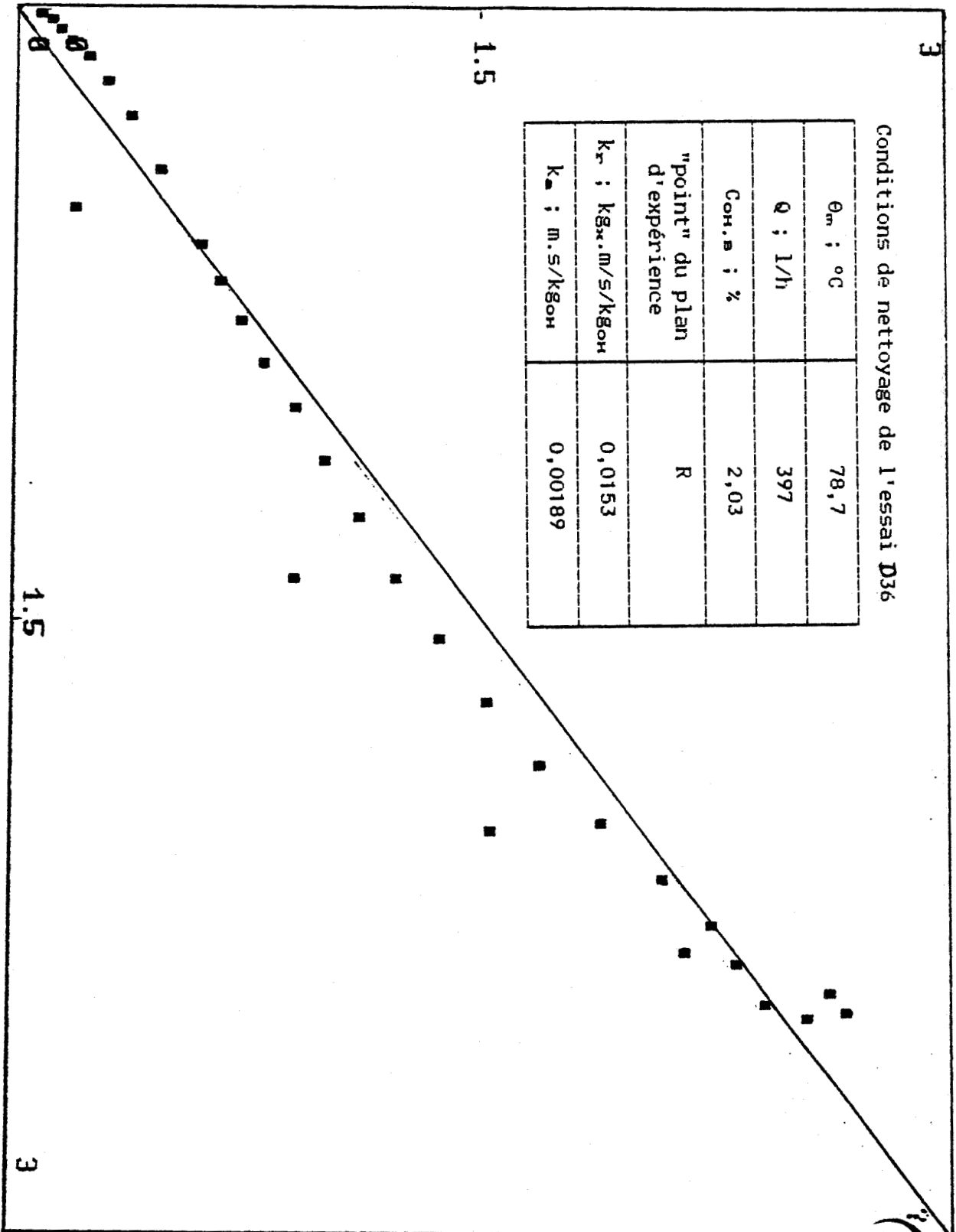
Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

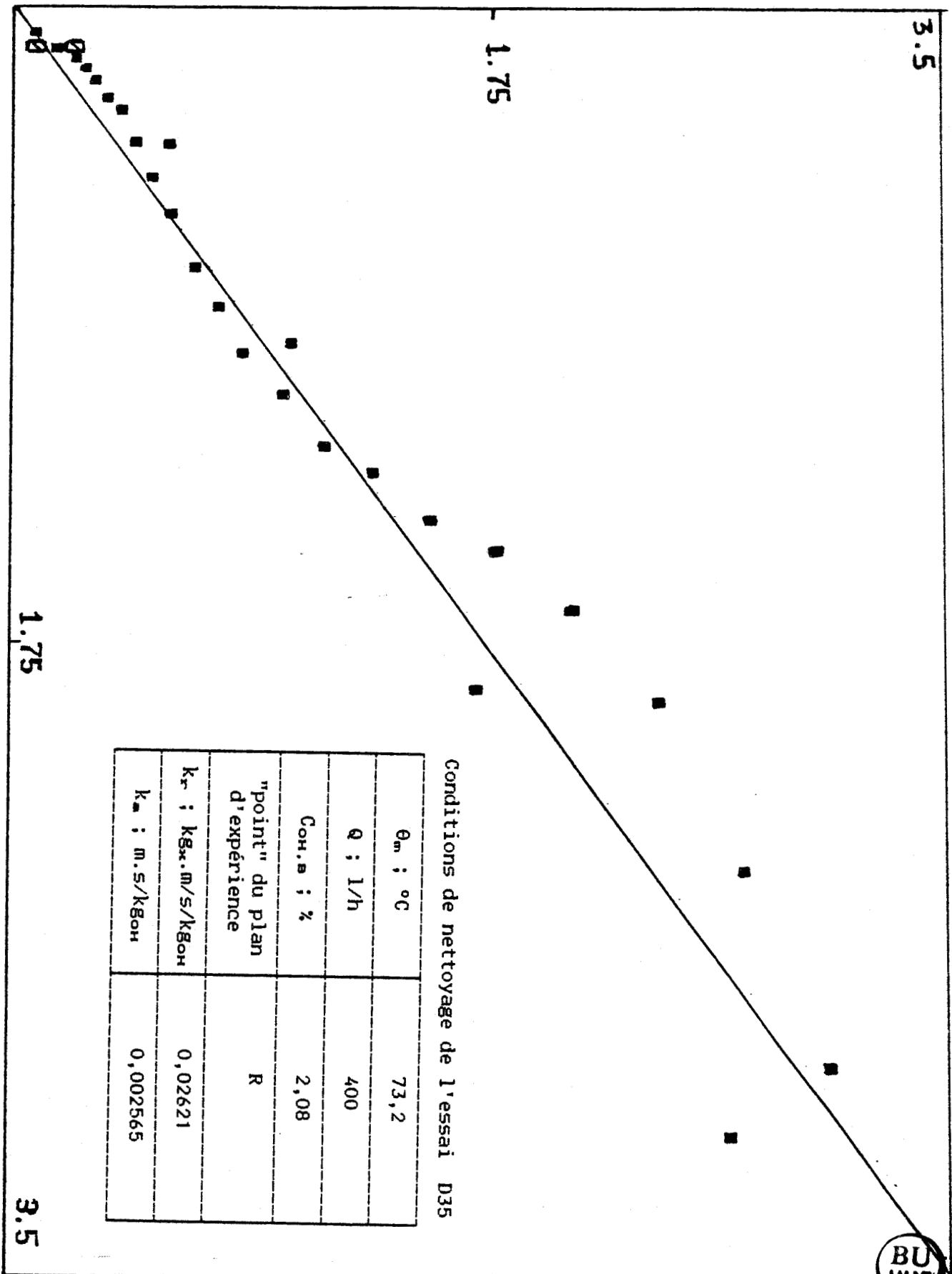


Conditions de nettoyage de l'essai C01

$\theta_m$ ; °C	58,4
Q ; l/h	399
Con.в ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	I-
$k_r$ ; $kg_x \cdot m / s / kg_{OH}$	0,04550
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00034

Vitesse de nettoyage simulée ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )





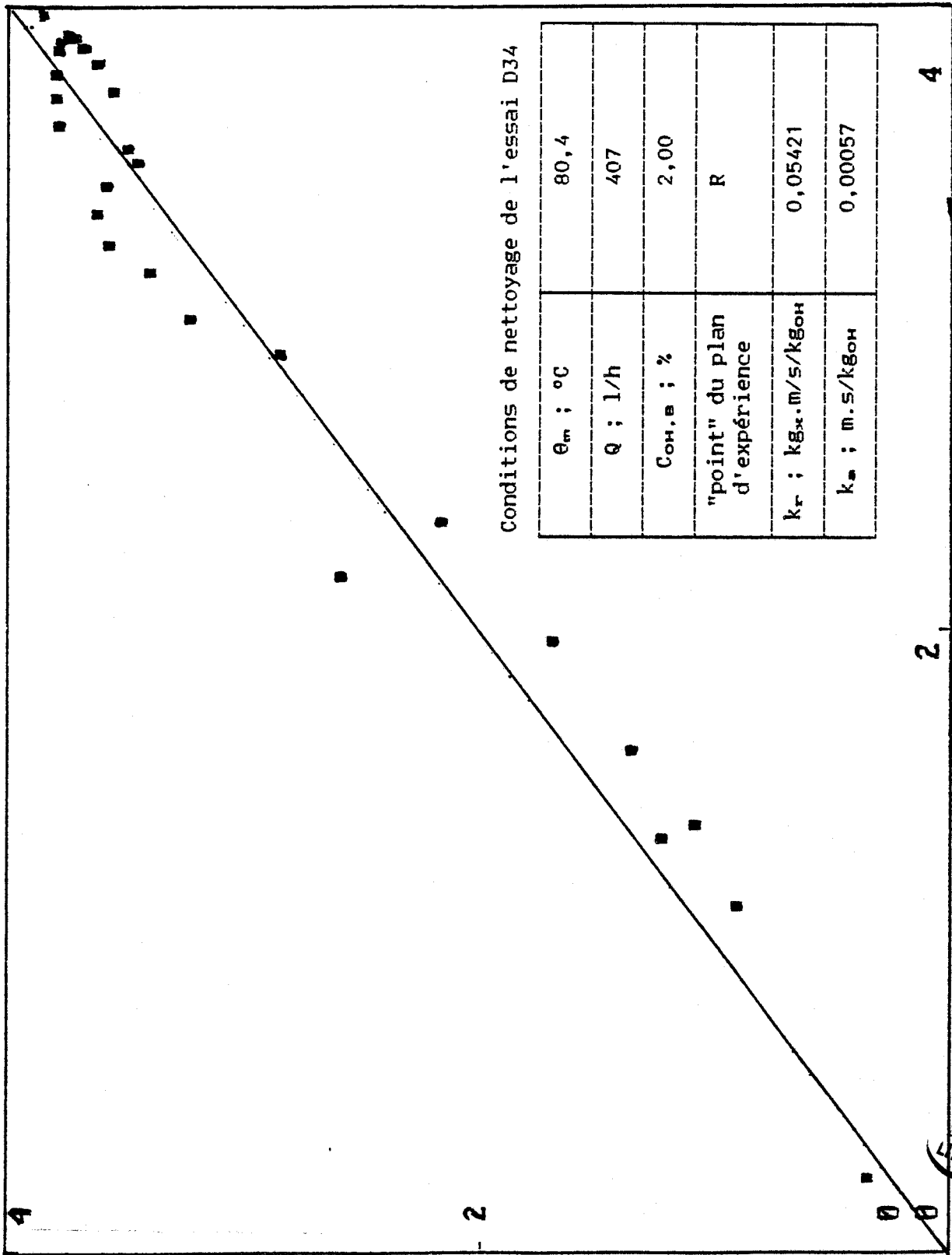
Conditions de nettoyage de l'essai D35

$\theta_m$ ; °C	73,2
Q ; l/h	400
Con.v ; %	2,08
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}/\text{kg}_{\text{OH}}$	0,02621
$k_m$ ; $\text{m}\cdot\text{s}/\text{kg}_{\text{OH}}$	0,002565

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Vitesse de nettoyage simulée (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



Conditions de nettoyage de l'essai D34

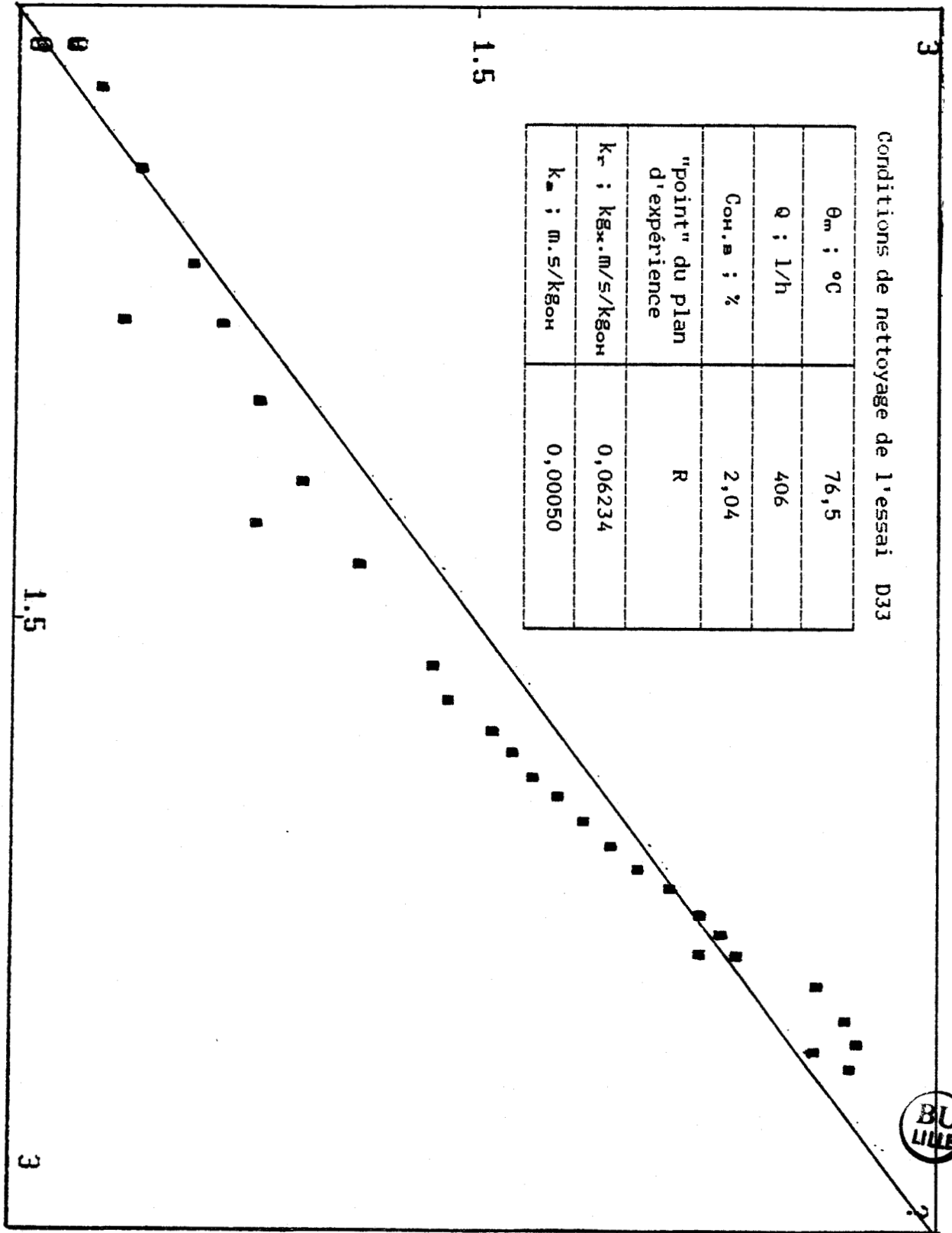
$\theta_m$ ; °C	80,4
Q ; l/h	407
Con. a ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; kg <sub>x</sub> .m/s/kg <sub>OH</sub>	0,05421
$k_m$ ; m.s/kg <sub>OH</sub>	0,00057

4

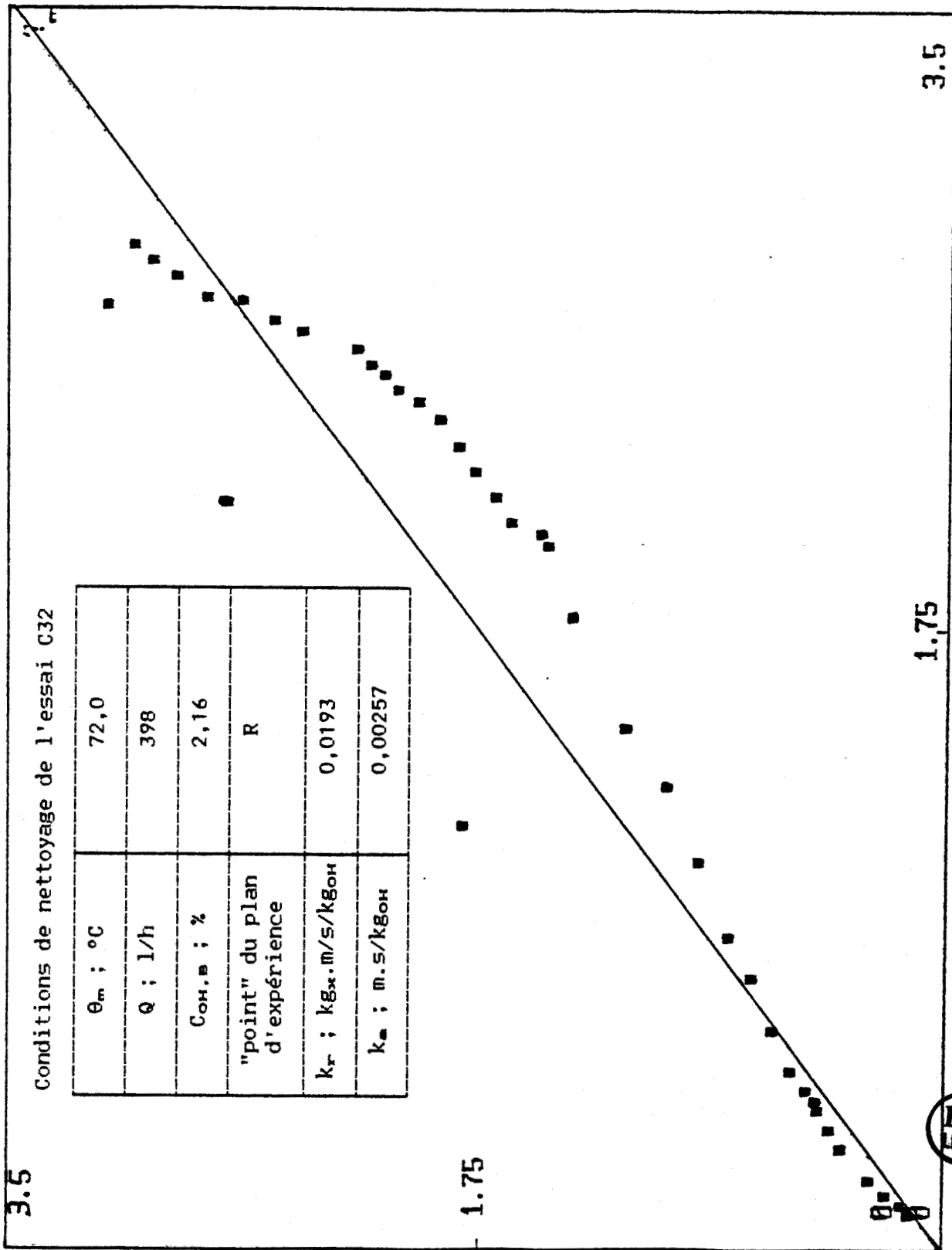
2

Vitesse de nettoyage expérimentale (g /m<sup>2</sup>/s)

Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage expérimentale ( $g/m^2/s$ )



3.5

1.75

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



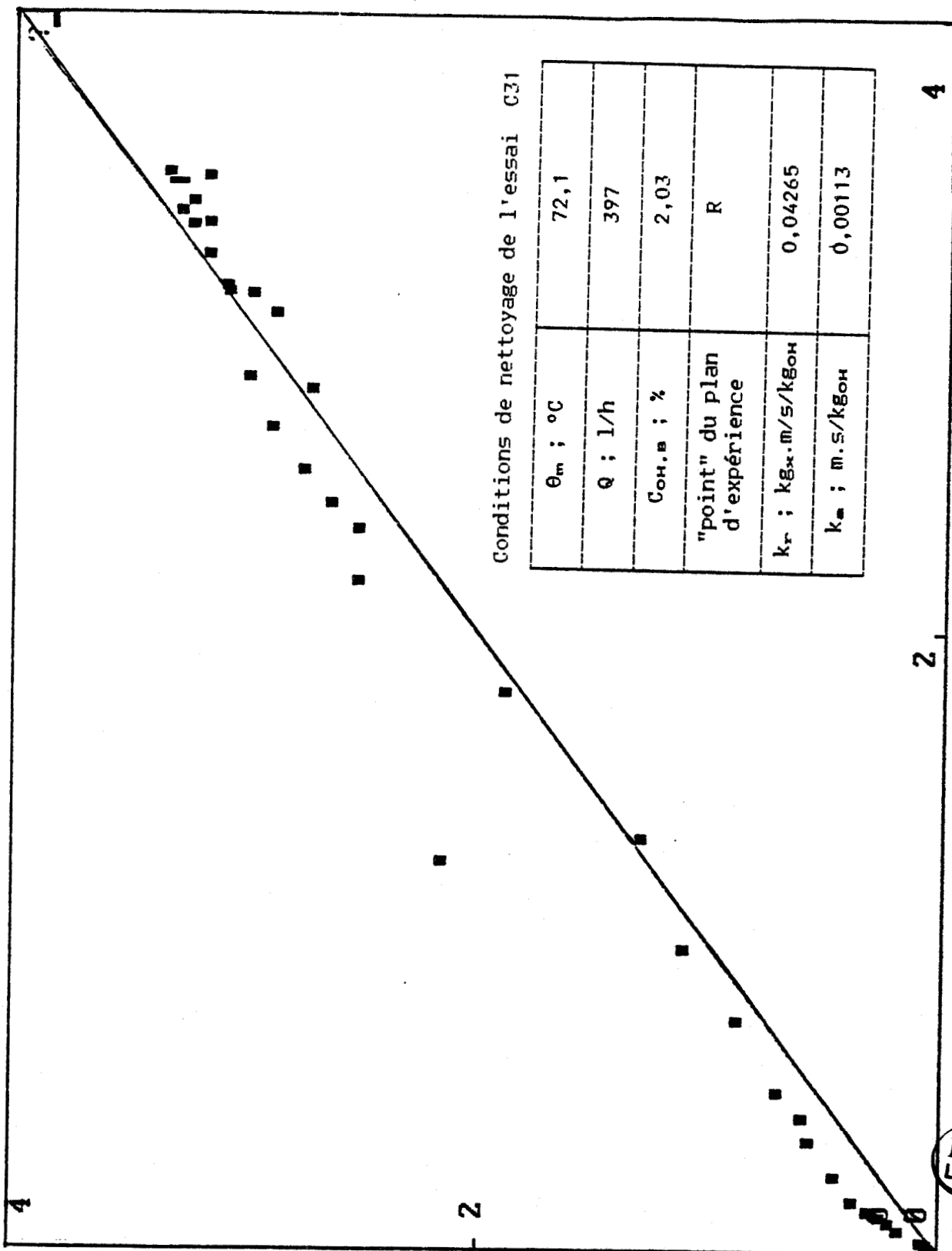
Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

3.5

1.75

Conditions de nettoyage de l'essai 031

$\theta_m$ ; °C	72,1
Q ; l/h	397
Сон.в ; %	2,03
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{OH}$	0,04265
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00113

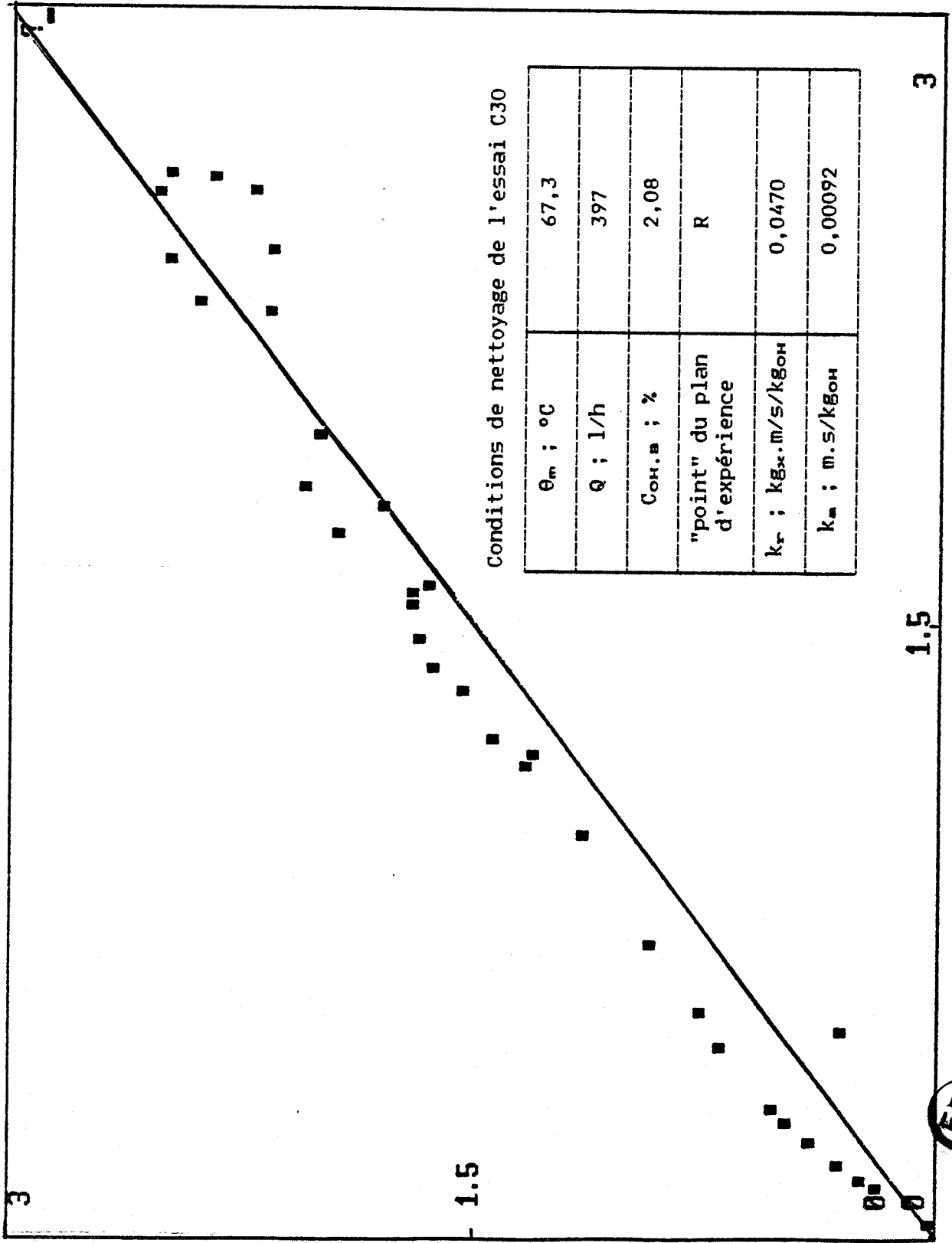


Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



Vitesse de nettoyage simulée ( $gm^{-2}s^{-1}$ )



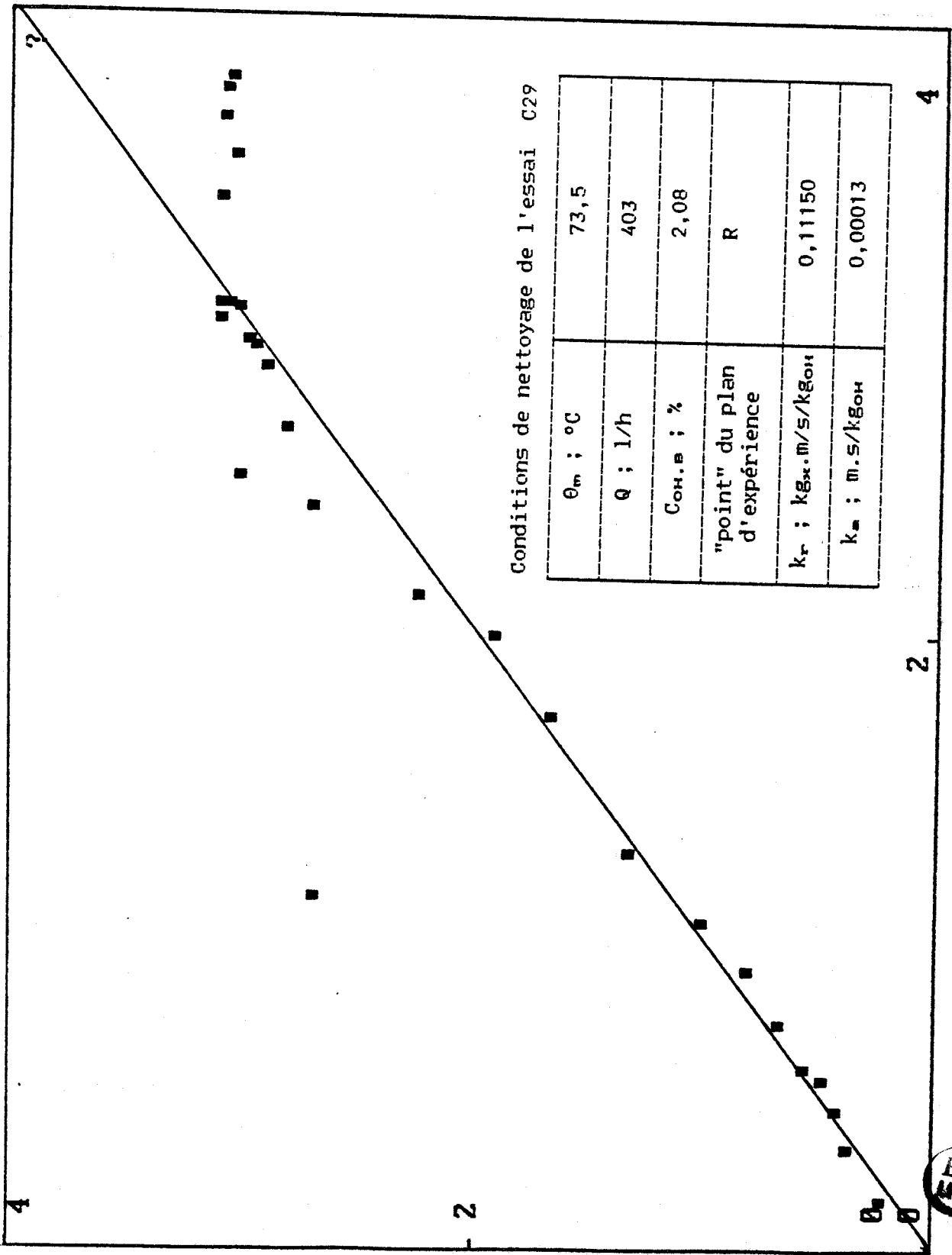
Conditions de nettoyage de l'essai C30

$\theta_m$ ; °C	67,3
$Q$ ; l/h	397
Con. s ; %	2,08
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; $kg \cdot m / s / kg_{OH}$	0,0470
$k_m$ ; $m \cdot s / kg_{OH}$	0,00092



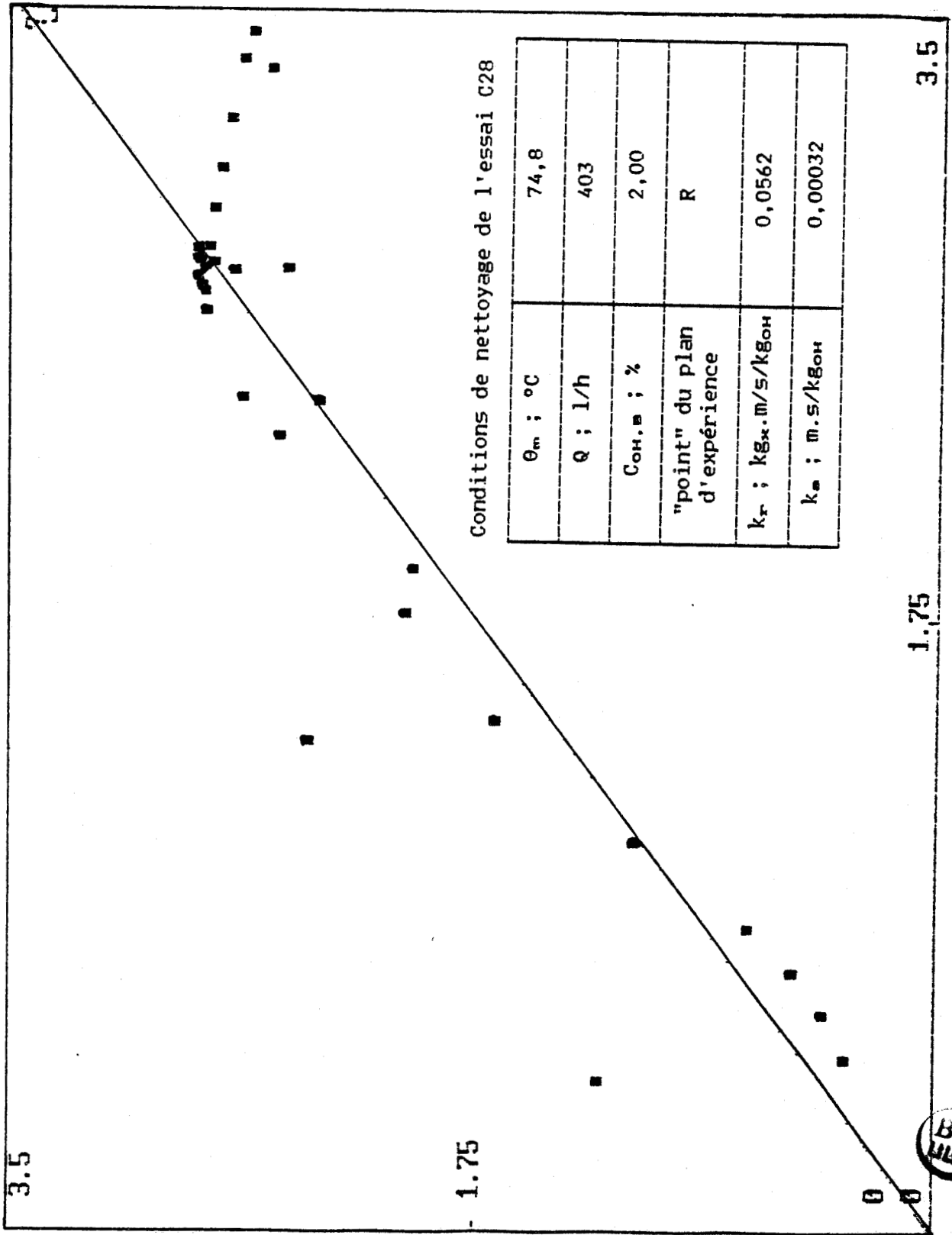
Vitesse de nettoyage expérimentale ( $gm^{-2}s^{-1}$ )

Vitesse de nettoyage simulée (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



Vitesse de nettoyage expérimentale (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)





Vitesse de nettoyage simulée (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

Vitesse de nettoyage expérimentale (gm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



Vitesse de nettoyage simulée ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

3.5

Conditions de nettoyage de l'essai C27

$\theta_m$ ; °C	70,9
Q ; l/h	397
$C_{OH,B}$ ; %	2,04
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; $\text{kg}_x.\text{m}/\text{s}/\text{kg}_{OH}$	0,03930
$k_m$ ; $\text{m}.\text{s}/\text{kg}_{OH}$	0,00116

1.75

1.75

3.5

Vitesse de nettoyage expérimentale ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )



**ANNEXE IV**

=====

**COMPARAISON DES COURBES EXPERIMENTALES**

**ET DES COURBES SIMULEES**

#### ANNEXE IV

Nous présentons dans cette annexe les courbes expérimentales de vitesse et les courbes simulées obtenues à partir des nettoyages des sections du pasteurisateur.

Pour chaque essai, nous traçons deux courbes en fonction du temps sur le même graphe:

- la vitesse apparente expérimentale symbolisée par  $\square$
- la vitesse apparente simulée avec les constantes de vitesse de réaction et d'arrachement obtenues par résolution du modèle réaction-arrachement. Cette vitesse est symbolisée par "+".

Les symboles utilisés sont les suivants:

- $\theta_m$  représente la température moyenne de la solution ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $Q$  représente le débit de la solution ( $\text{l.h}^{-1}$ )
- $C_{\text{OH},B}$  représente la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (% en poids)
- $R$  correspond au "point" de référence du plan d'expérience (400 l/h, 75  $^{\circ}\text{C}$ , 2 % en poids)
- $T+$  et  $T-$  sont respectivement les "point" haut et bas de température du plan d'expérience (95 et 70  $^{\circ}\text{C}$ )
- $V+$  et  $V-$  sont respectivement les "points" haut et bas de débit du plan d'expérience (600 et 300  $\text{l.h}^{-1}$ )
- $C+$  et  $C-$  sont respectivement les "points" haut et bas de concentration du plan d'expérience (4 et 0,5 % en poids)
- $k_r$  est la constante de vitesse de la réaction du dépôt avec l'hydroxyde de sodium
- $k_a$  est la constante d'arrachement du dépôt déjà fragilisé par la réaction.
- $C$  symbolise la section de chauffage du pasteurisateur
- $D$  symbolise la section de chambrage du pasteurisateur.

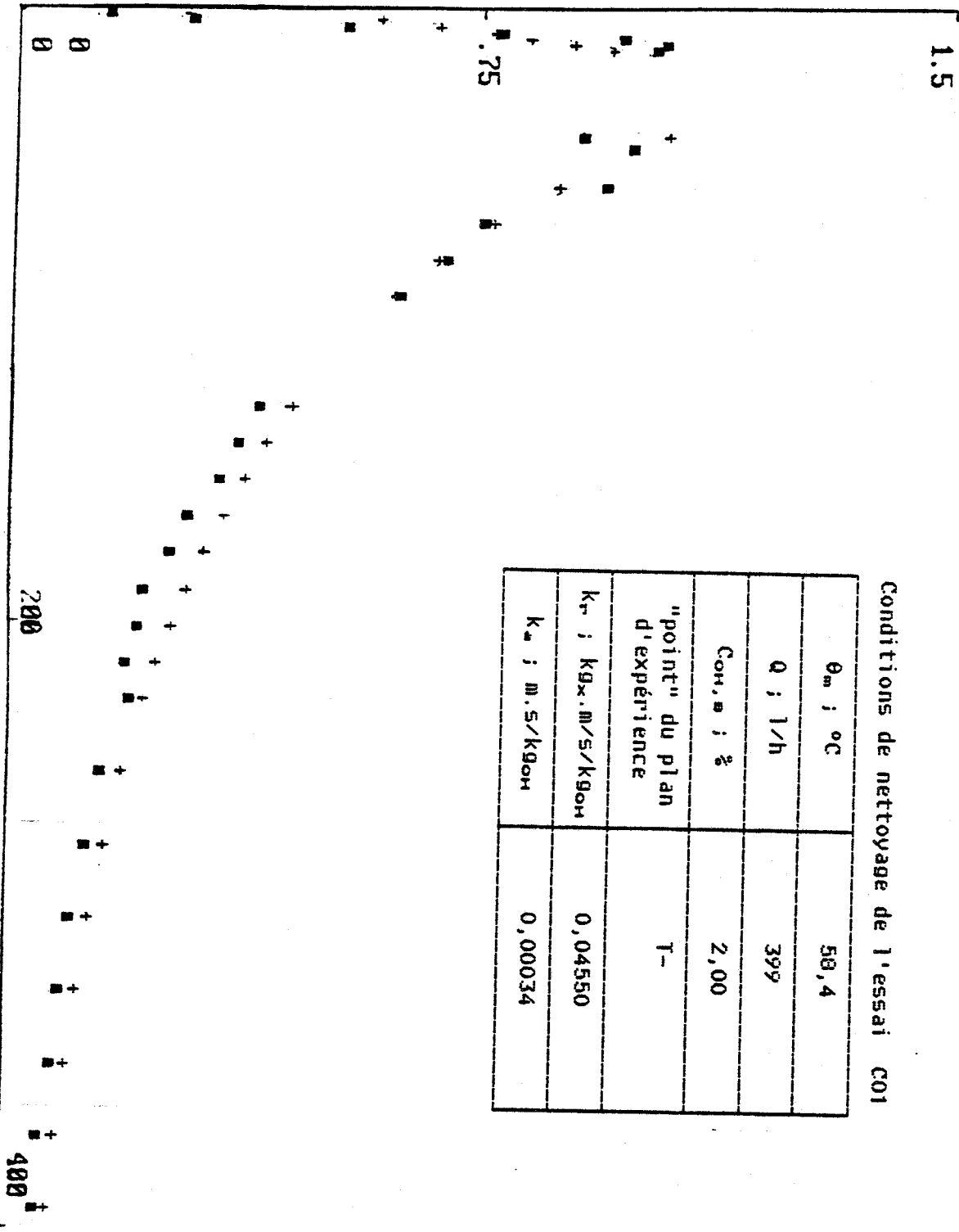
La numérotation des essais correspond à celle des tableaux 18, 19A et 19B.

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

1.5

Conditions de nettoyage de l'essai C01

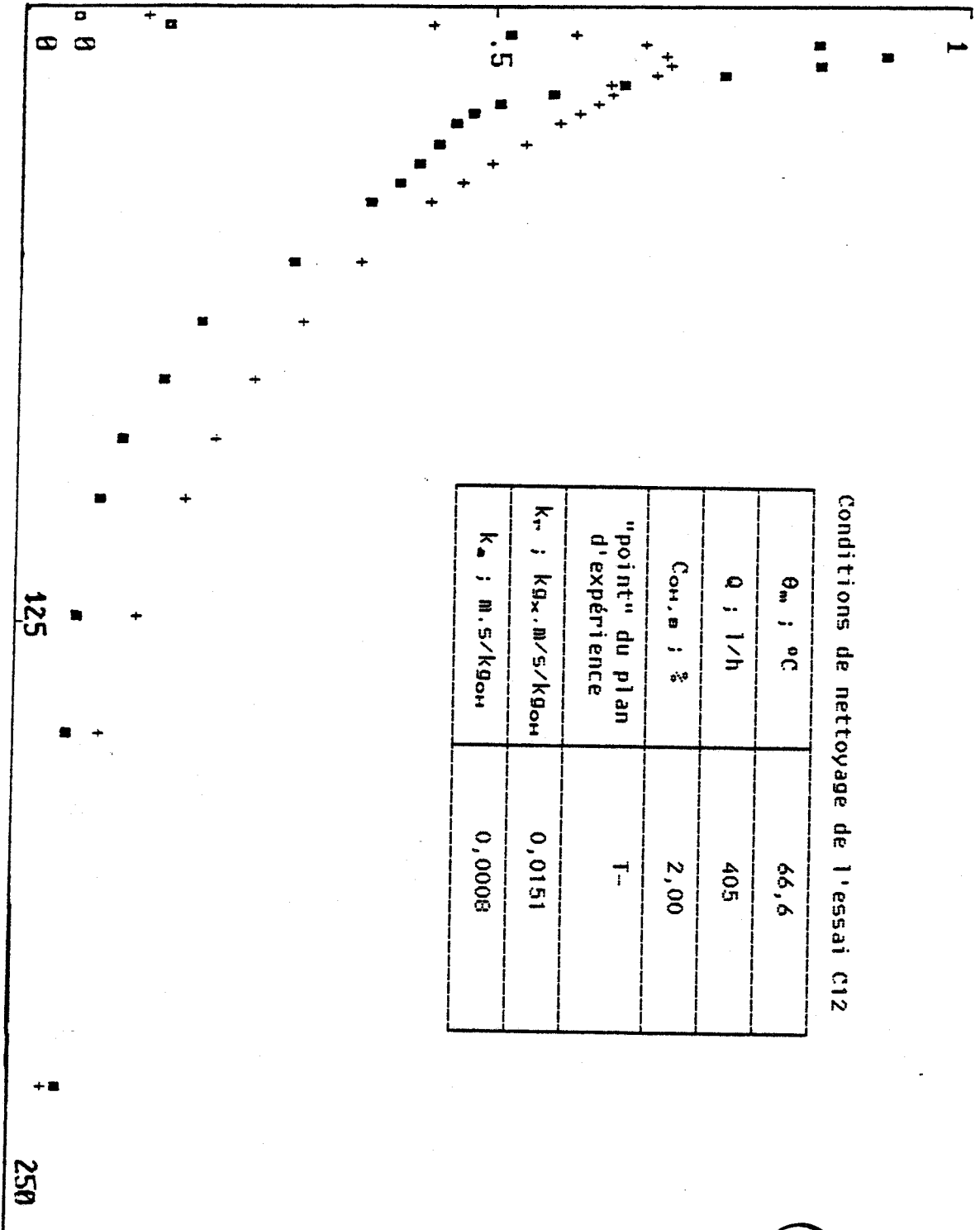
θ <sub>m</sub> ; °C	58,4
Q ; l/h	399
Con. s ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	T-
K <sub>n</sub> ; kgx.m/s/kgom	0,04550
K <sub>m</sub> ; m.s/kgom	0,00034



Temps de nettoyage (s)



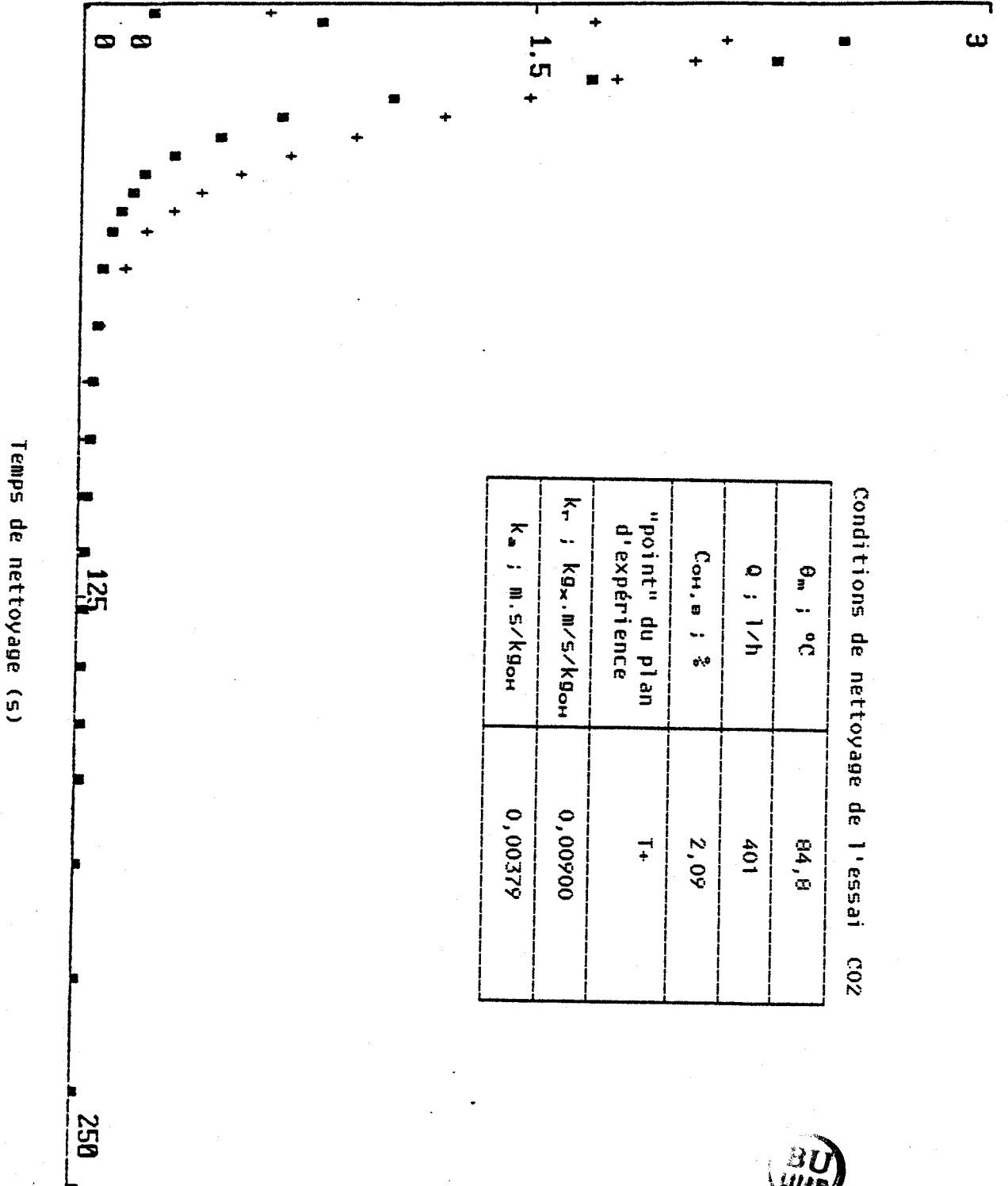
Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Temps de nettoyage (s)



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



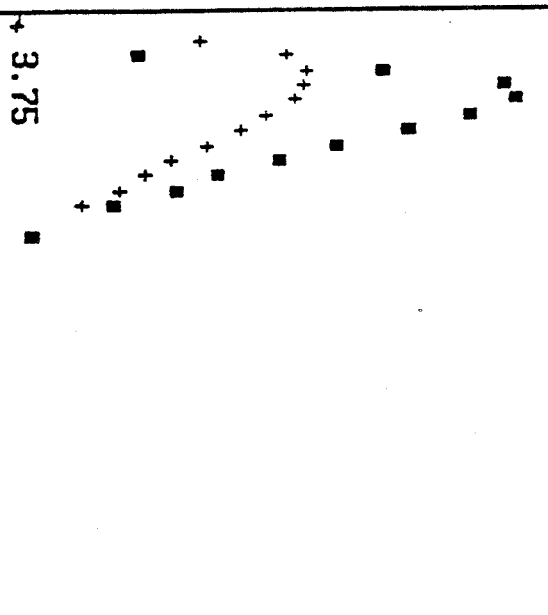
Conditions de nettoyage de l'essai CO2

$\theta_m$ ; °C	84,8
Q ; l/h	401
Con. v ; %	2,09
"point" du plan d'expérience	T+
$k_r$ ; kg·m/s/kgom	0,00900
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00379



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

7.5



0  
0

100

200

Temps de nettoyage (s)

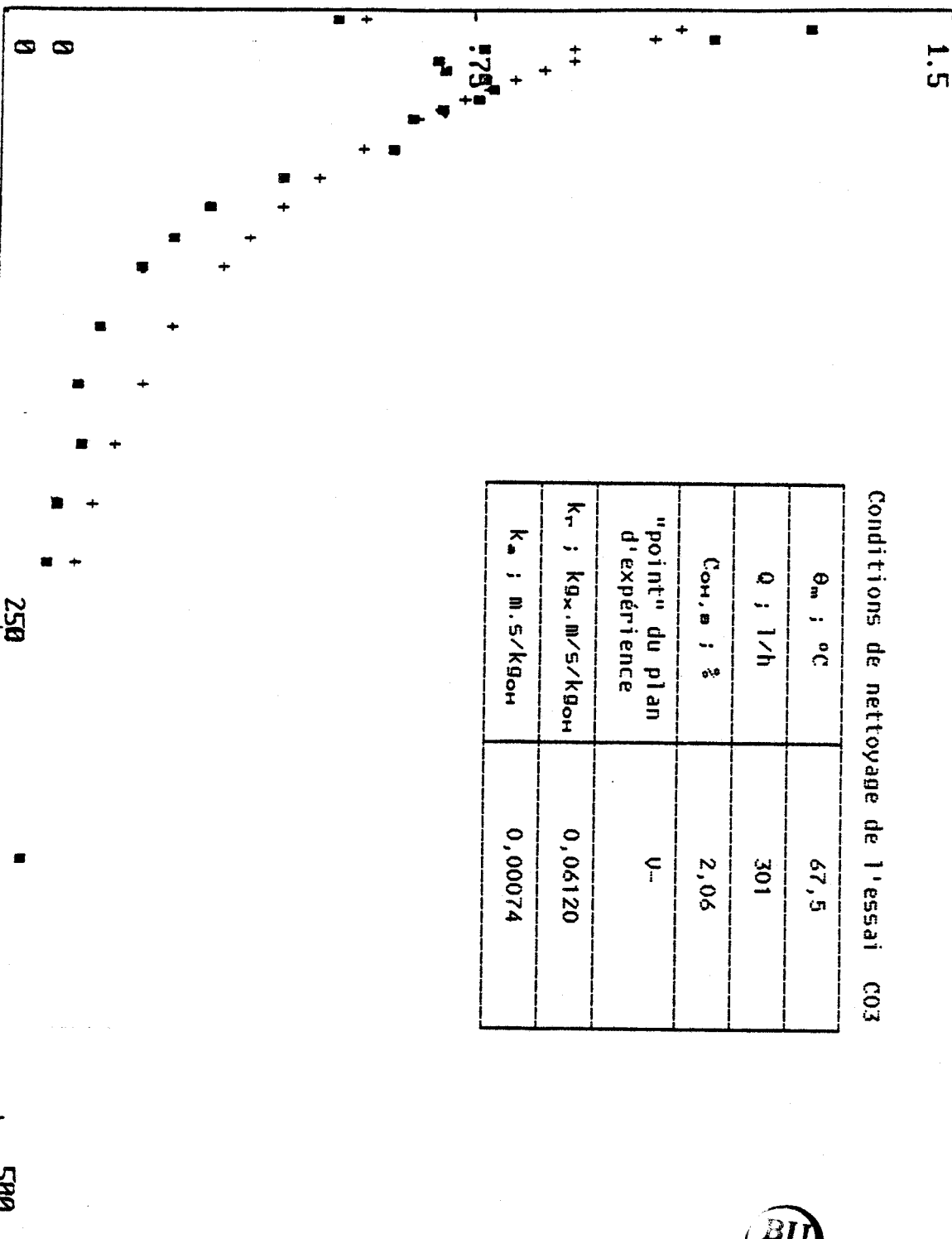
Conditions de nettoyage de l'essai C13

$\theta_m$ ; °C	85,8
Q ; l/h	398
Con. a ; %	1,96
"point" du plan d'expérience	T+
$K_r$ ; kg·m/s/kg <sub>sol</sub>	0,0104
$K_a$ ; m.s/kg <sub>sol</sub>	0,00809



1.5

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Conditions de nettoyage de l'essai C03

θ <sub>m</sub> ; °C	67,5
Q ; l/h	301
Con. a ; %	2,06
"point" du plan d'expérience	U--
K <sub>r</sub> ; Kgx.m/5/Kgoh	0,06120
K <sub>a</sub> ; m.5/Kgoh	0,00074

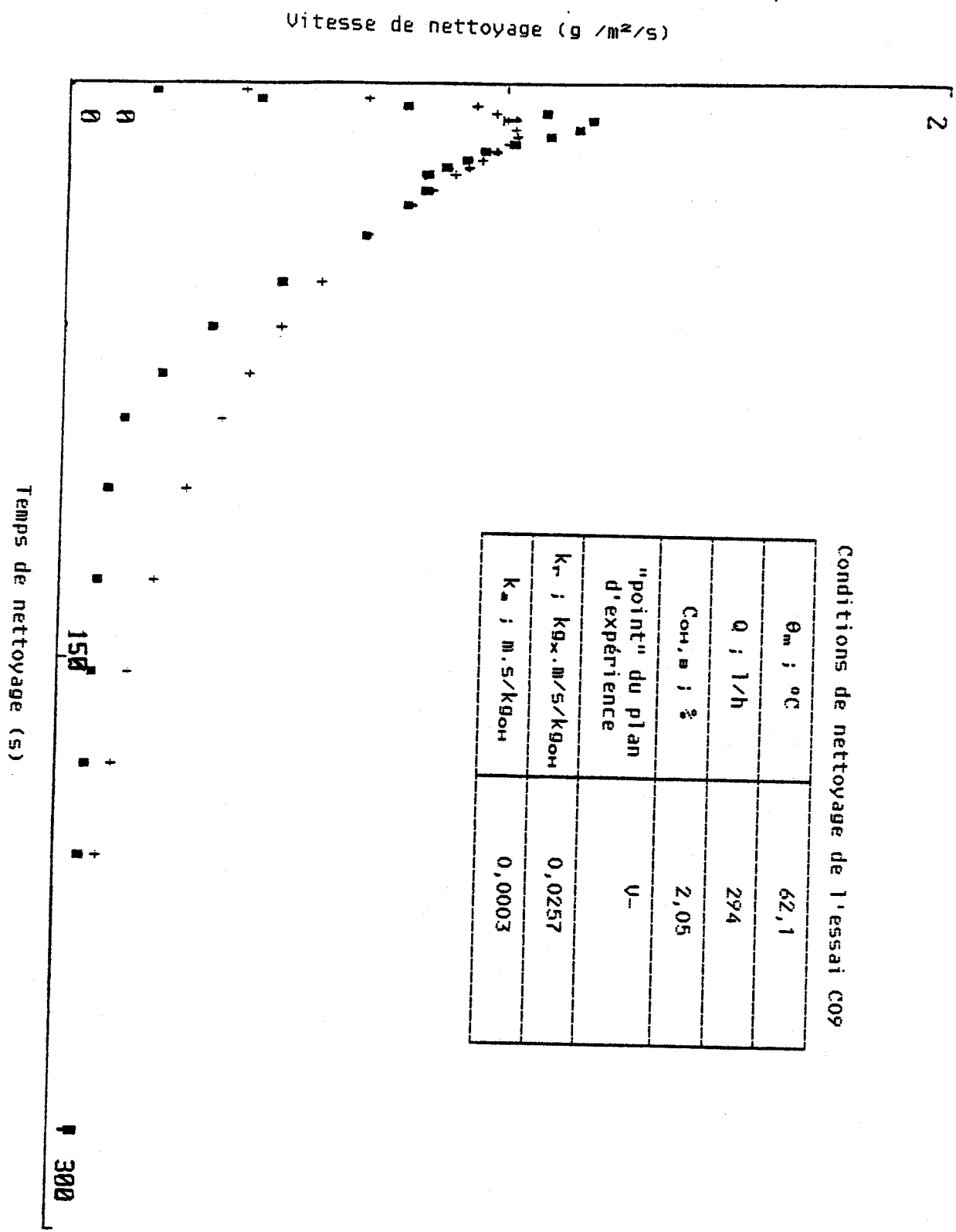
Temps de nettoyage (s)





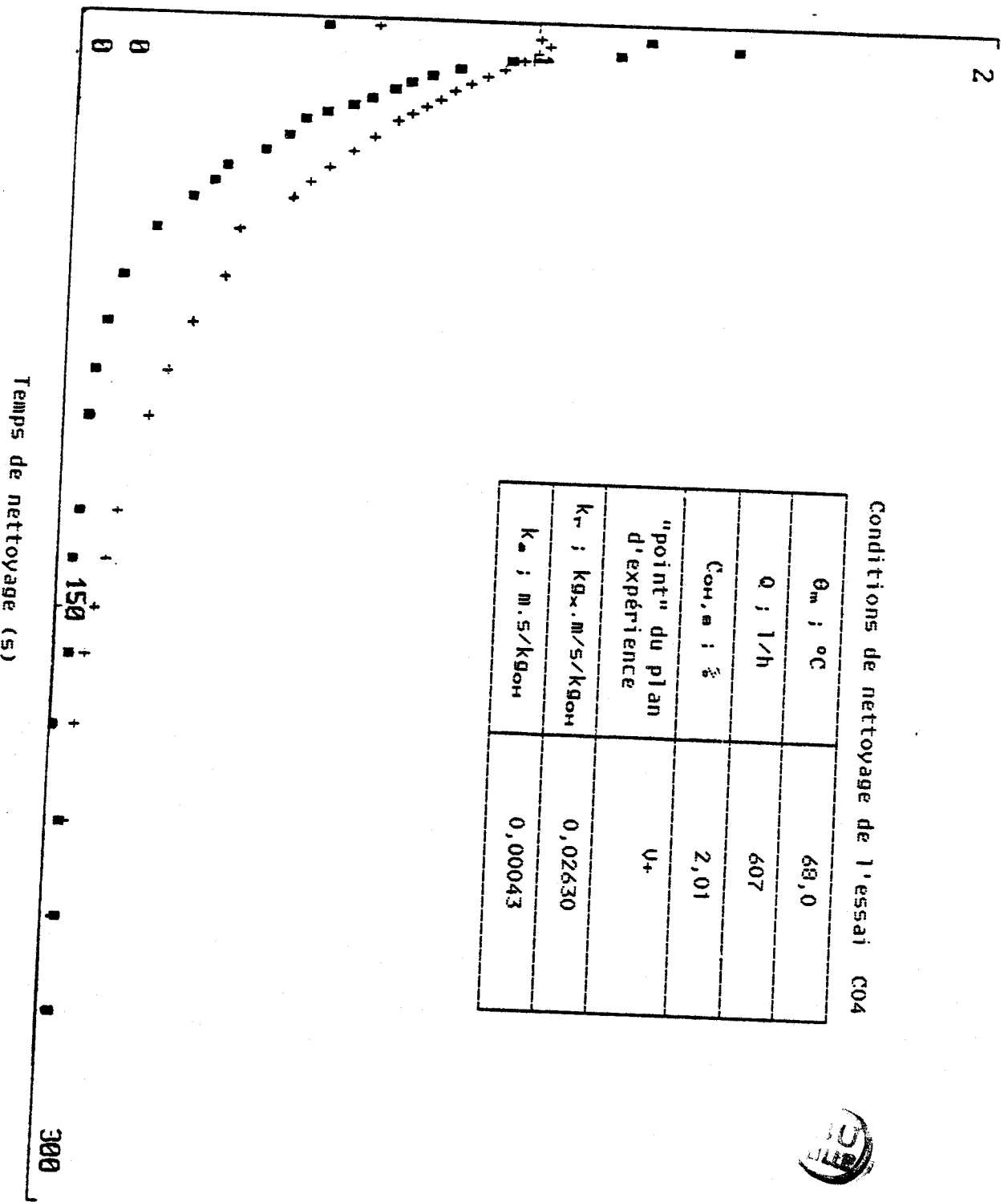
Conditions de nettoyage de l'essai C09

$\theta_m$ ; °C	62,1
Q ; l/h	294
Con. v ; %	2,05
"point" du plan d'expérience	U-
$K_r$ ; $K_{Dx}$ m/s/ $K_{Dm}$	0,0257
$K_a$ ; m.s/ $K_{Dm}$	0,0003





Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

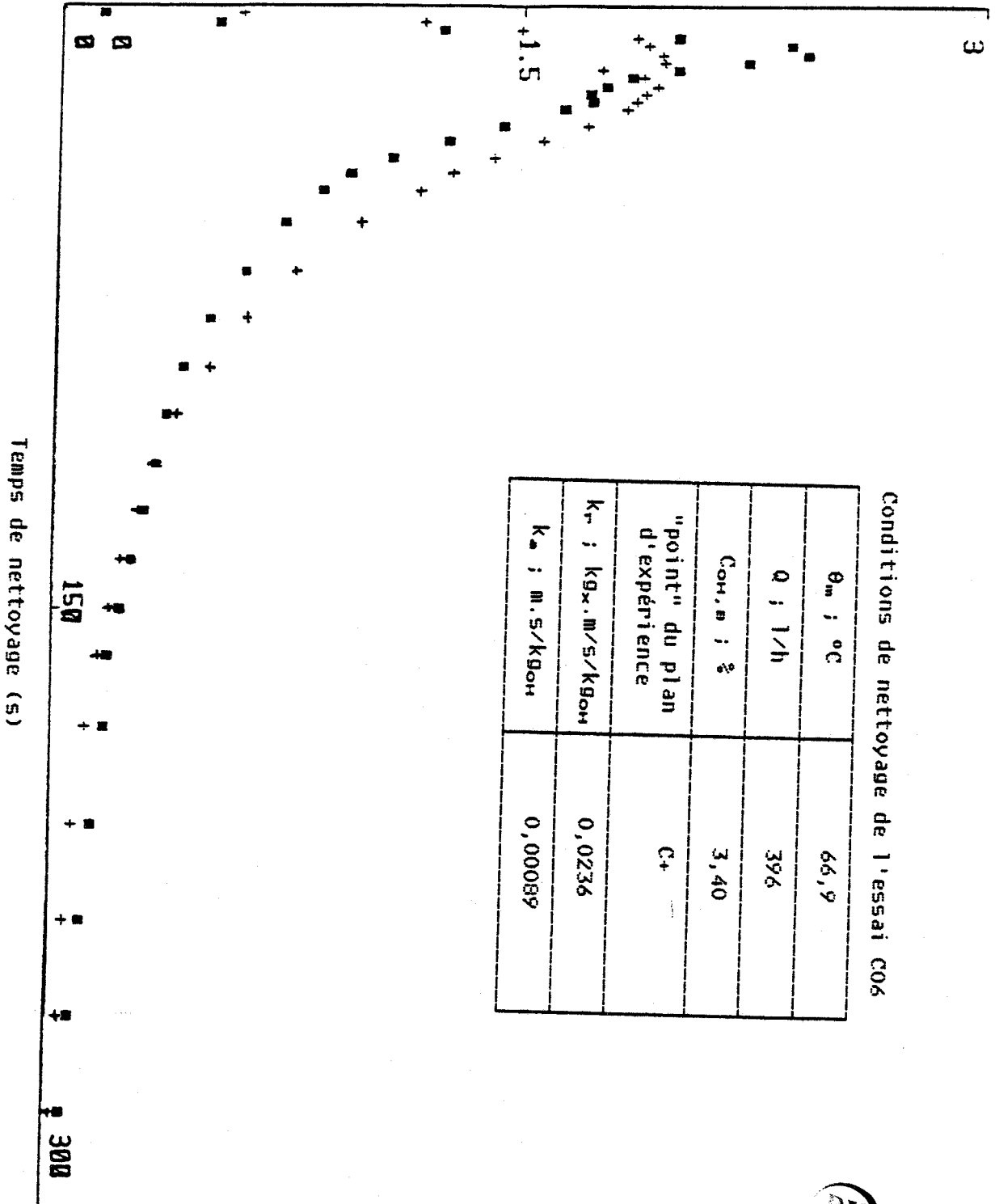


Conditions de nettoyage de l'essai C04

$\theta_m$ ; °C	69,0
Q ; l/h	607
Con, a ; %	2,01
"point" du plan d'expérience	U+
$K_+$ ; kg.m/s/kgom	0,02630
$K_-$ ; m.s/kgom	0,00043



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Conditions de nettoyage de l'essai C06

$\theta_m$ ; °C	66,9
Q ; l/h	396
Con. v ; %	3,40
"point" du plan d'expérience	C+
$K_r$ ; kg·m/5/kg <sub>sol</sub>	0,0236
$K_a$ ; m·s/kg <sub>sol</sub>	0,00089



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

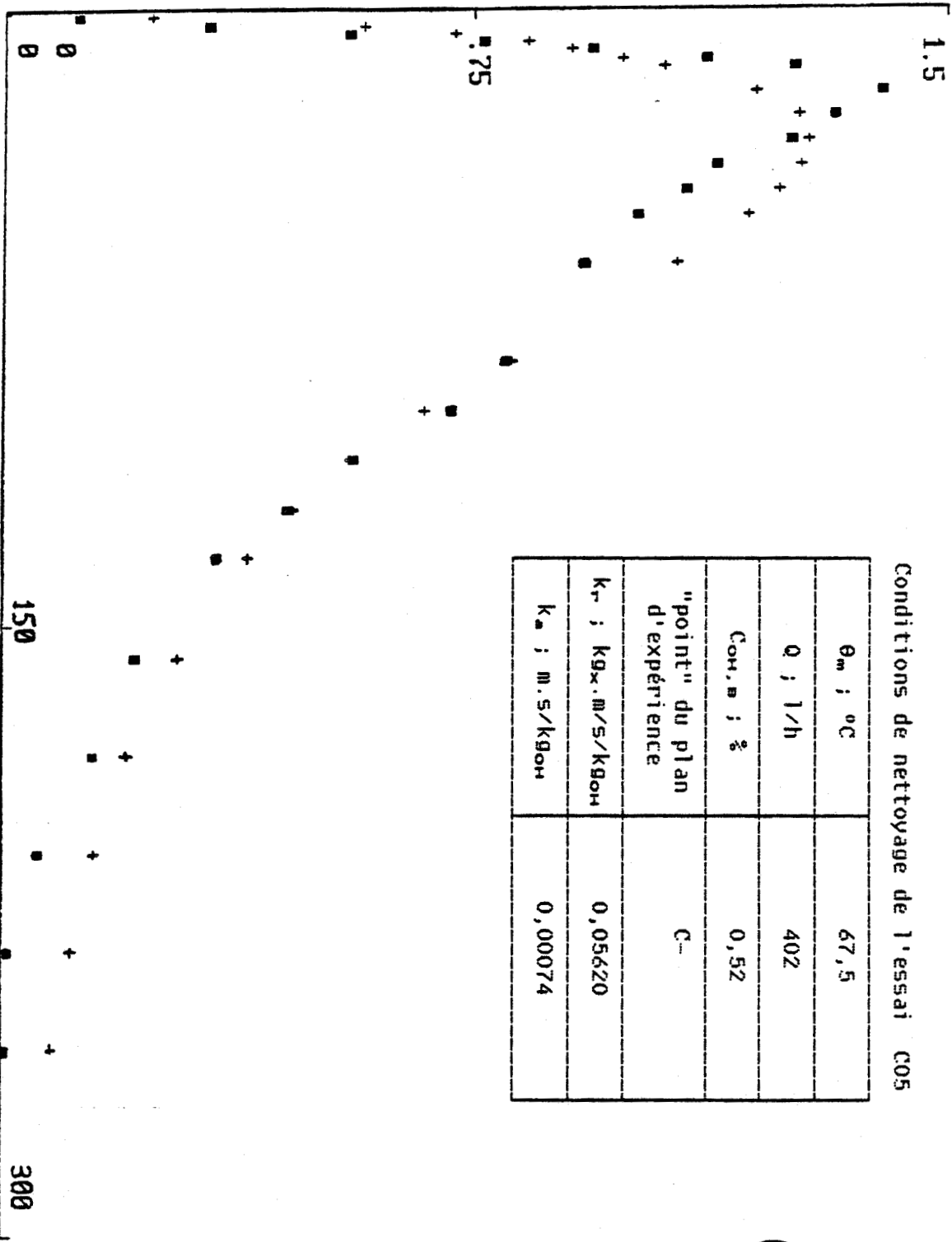
1.5

0.75

0

Conditions de nettoyage de l'essai C05

$\theta_m$ ; °C	67,5
Q ; l/h	402
Con. v ; %	0,52
"point" du plan d'expérience	C-
$k_r$ ; kg·m/s/kgom	0,05620
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00074



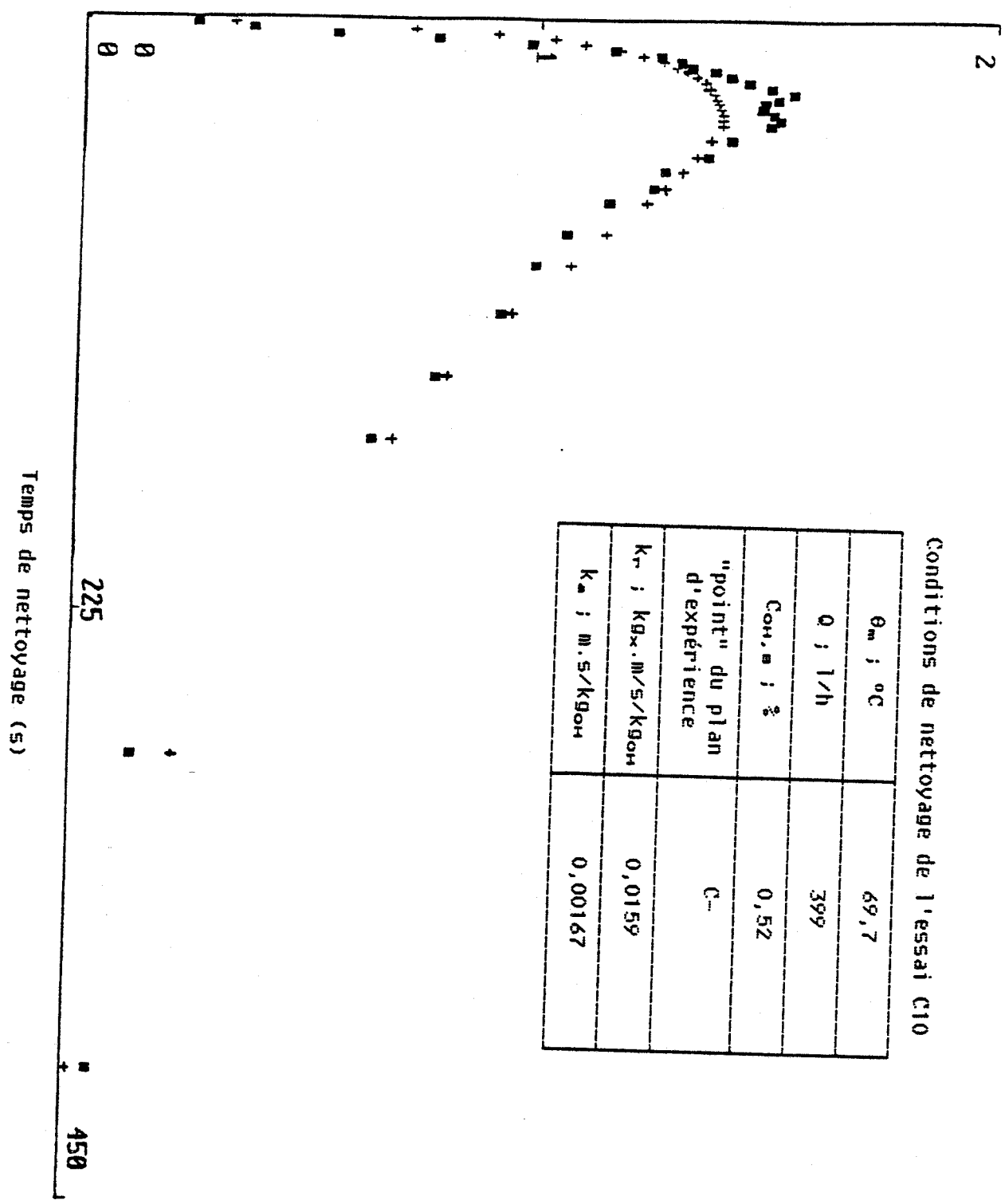
Temps de nettoyage (s)

150

300



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

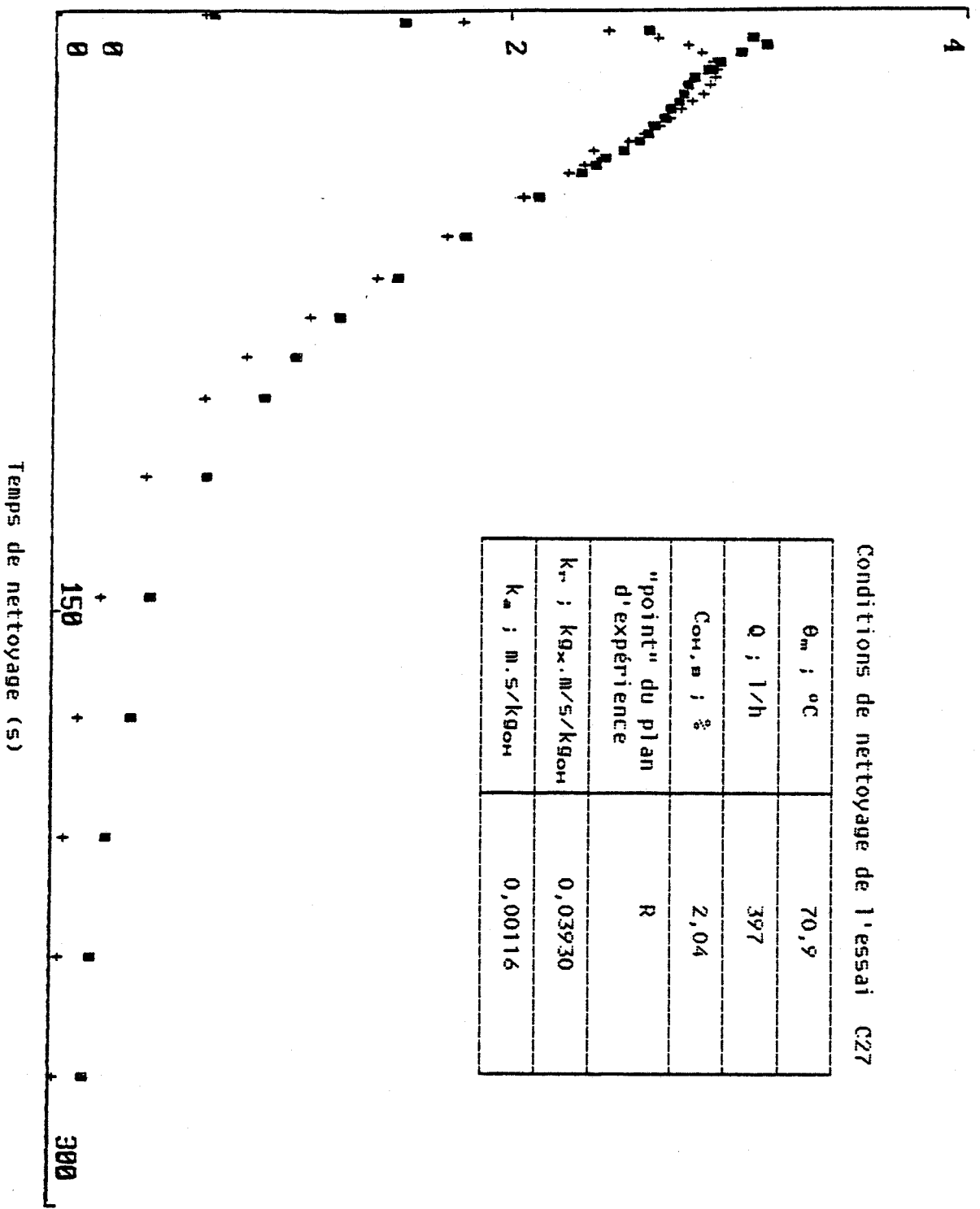


Conditions de nettoyage de l'essai C10

θ <sub>m</sub> ; °C	69,7
Q ; l/h	399
Con. m ; ‰	0,52
"point" du plan d'expérience	C-
K <sub>r</sub> ; Kg·m/s/Kgcm	0,0159
K <sub>m</sub> ; m.s/Kgcm	0,00167



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

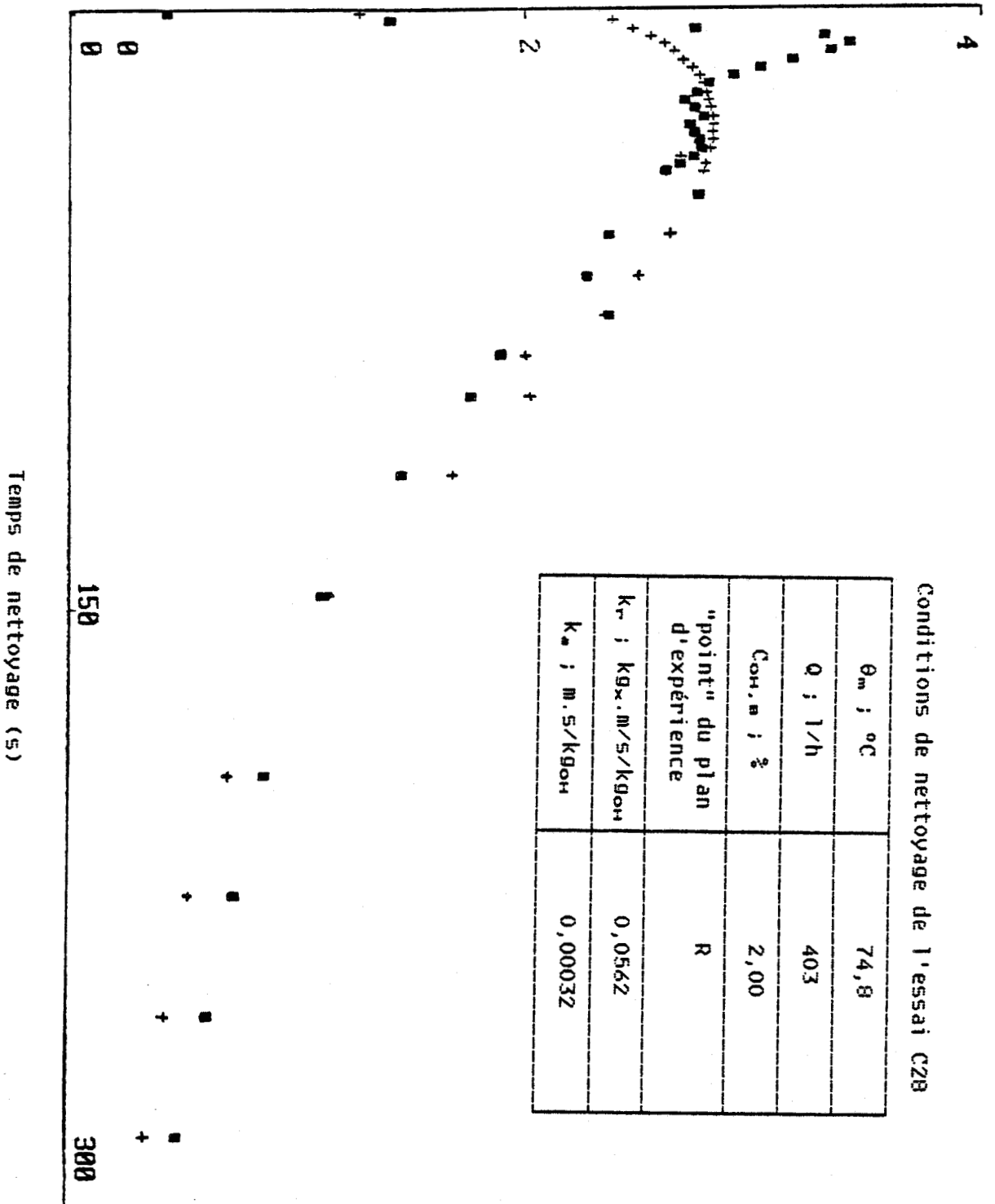


Conditions de nettoyage de l'essai C27

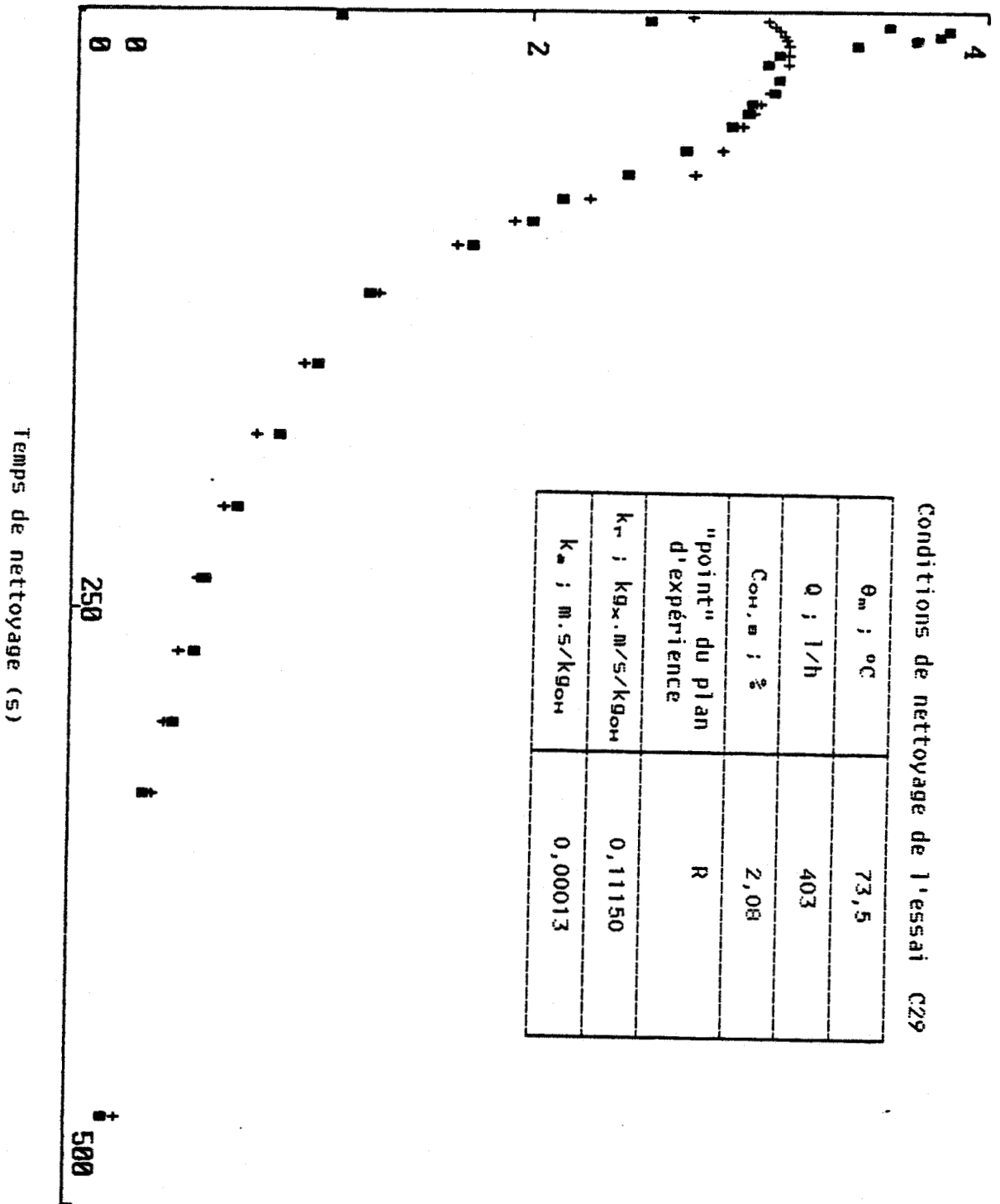
$\theta_m$ ; °C	70,9
Q ; l/h	397
Con. v ; ‰	2,04
"point" du plan d'expérience	R
$K_m$ ; kgx.m/s/kgom	0,03930
$K_m$ ; m.s/kgom	0,00116



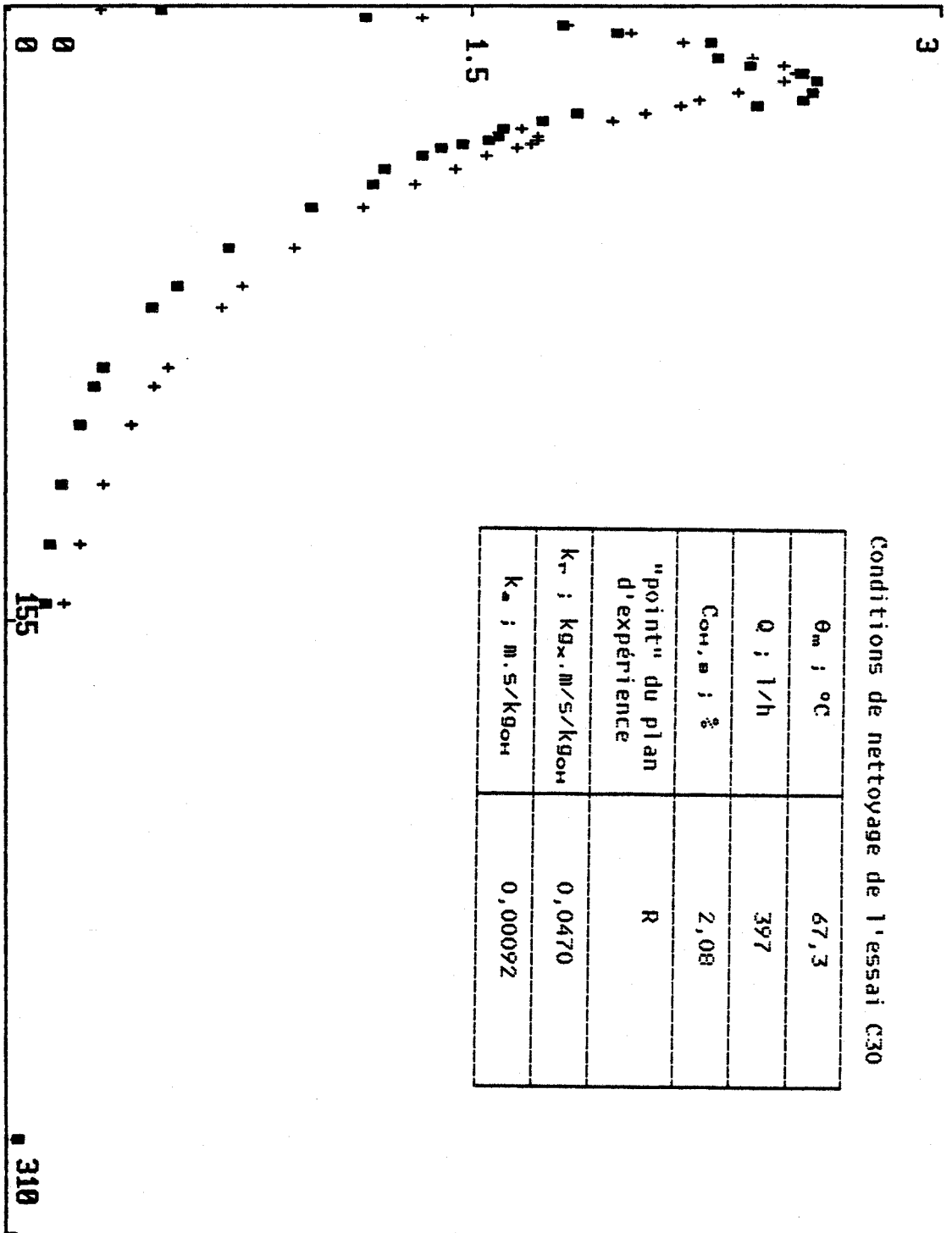
Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Temps de nettoyage (s)

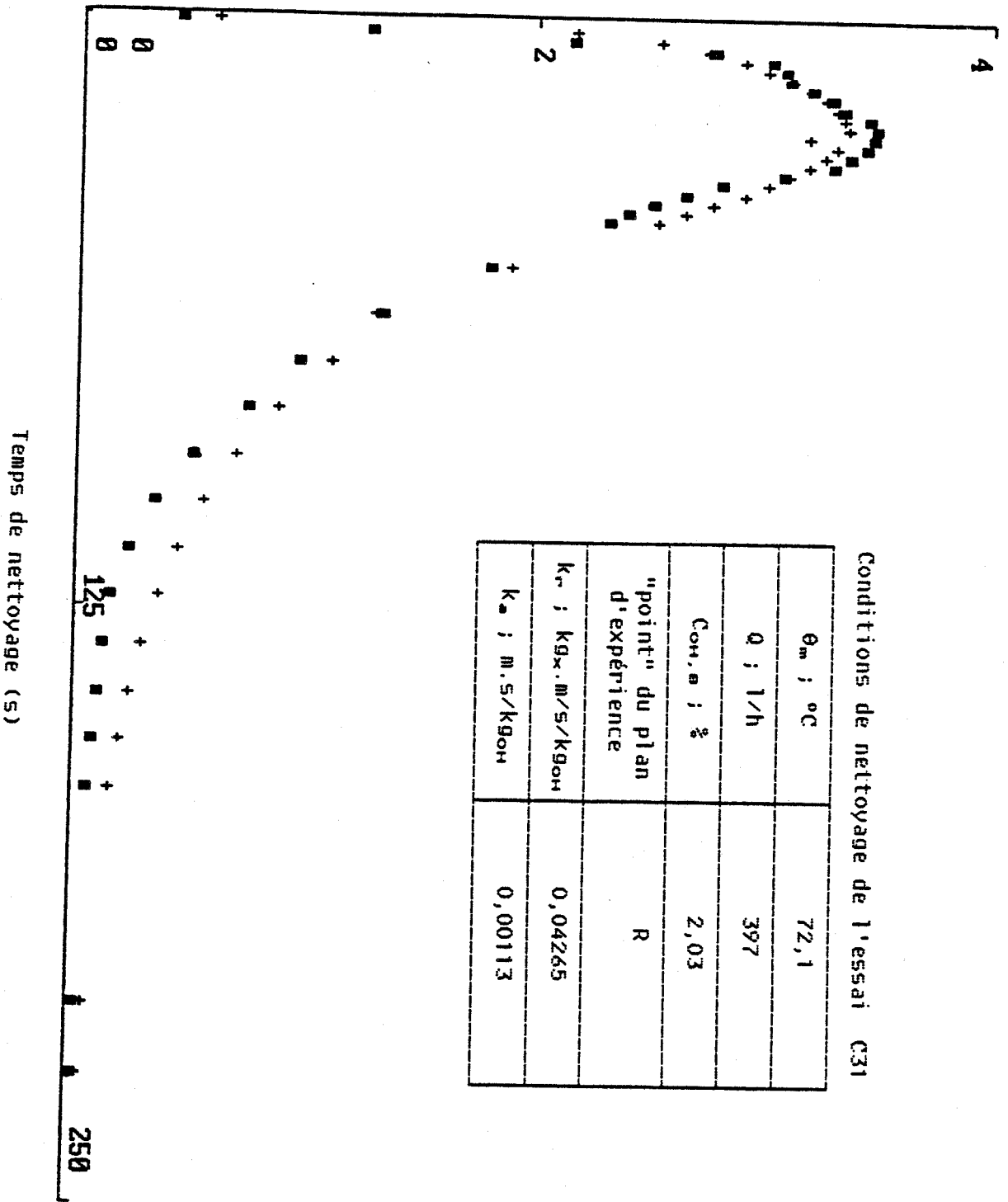
Conditions de nettoyage de l'essai C30

$\theta_m$ ; °C	67,3
Q ; l/h	397
Con, s ; %	2,08
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; kg·m/s/kgom	0,0470
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00092





Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

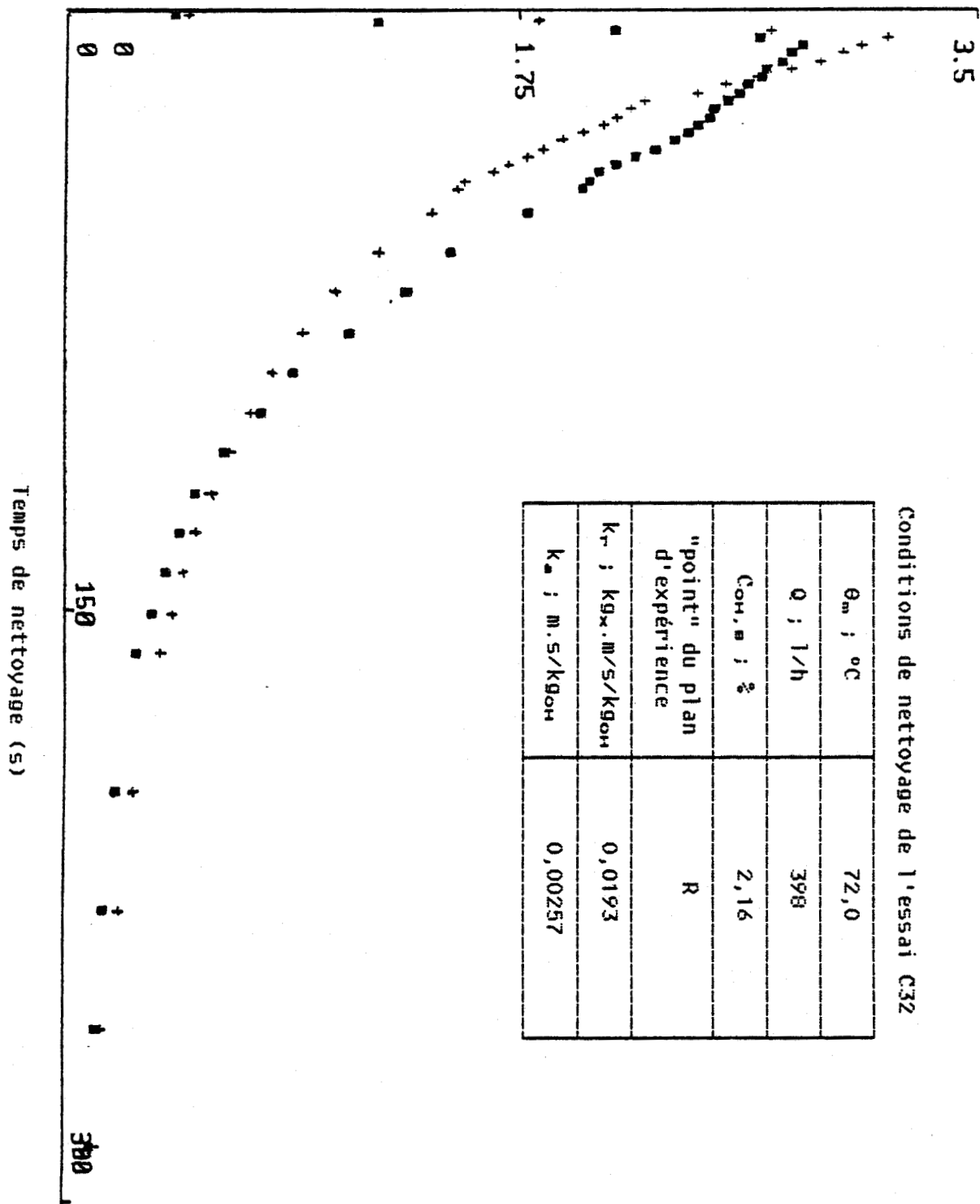


Conditions de nettoyage de l'essai C31

$\theta_m$ ; °C	72,1
Q ; l/h	397
Con. a ; %	2,03
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; kg.x.m/s/kgom	0,04265
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00113



Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



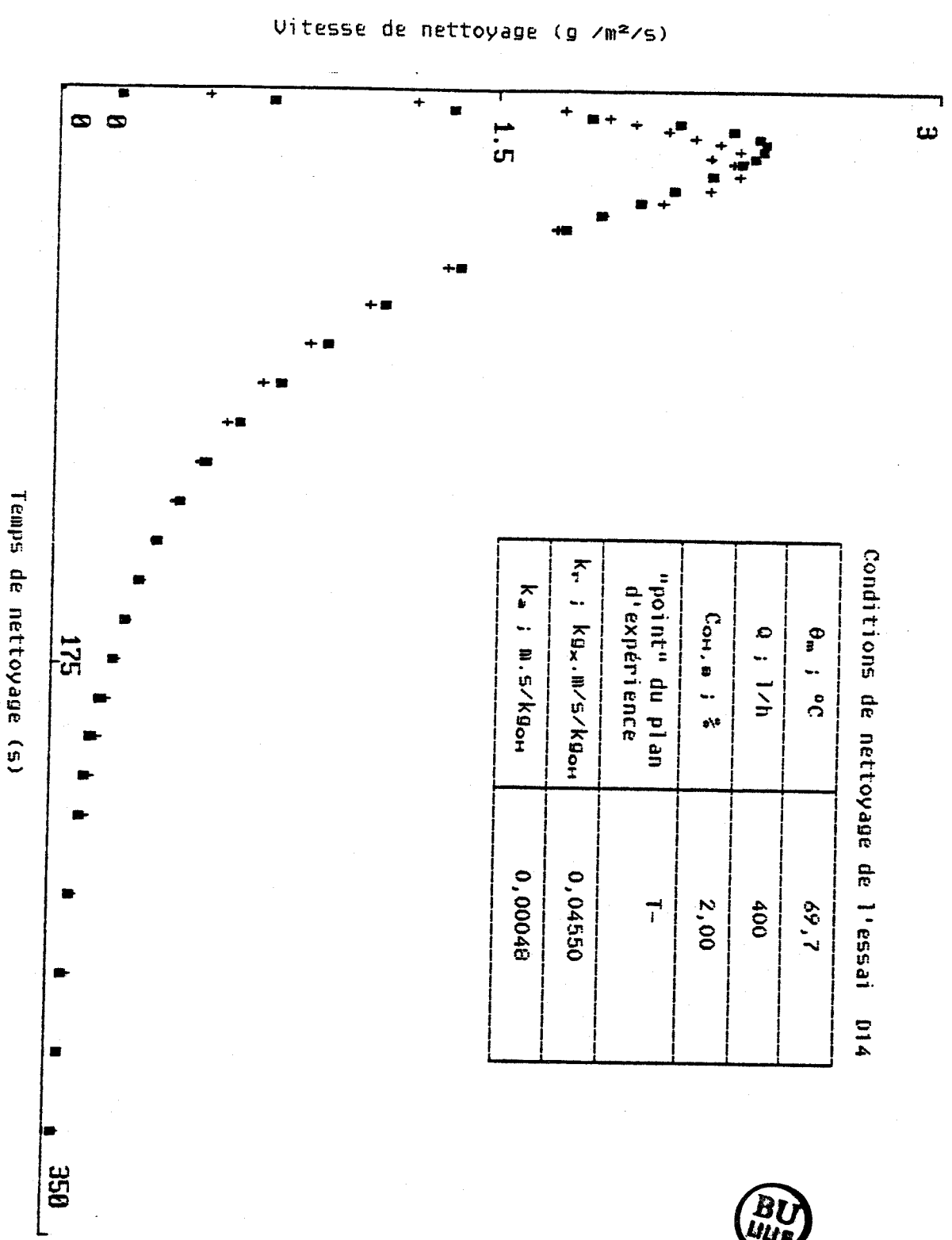
Conditions de nettoyage de l'essai C32

$\theta_m$ ; °C	72,0
Q ; l/h	398
Con, v ; %	2,16
"point" du plan d'expérience	R
$k_T$ ; kg·m/s/kgom	0,0193
$k_m$ ; m.s/kgom	0,00257



Conditions de nettoyage de l'essai D14

$\theta_m$ ; °C	69,7
Q ; l/h	400
Con. n ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	T-
$k_r$ ; $kg \cdot m/s / kg \cdot m$	0,04550
$k_a$ ; $m \cdot s / kg \cdot m$	0,00048

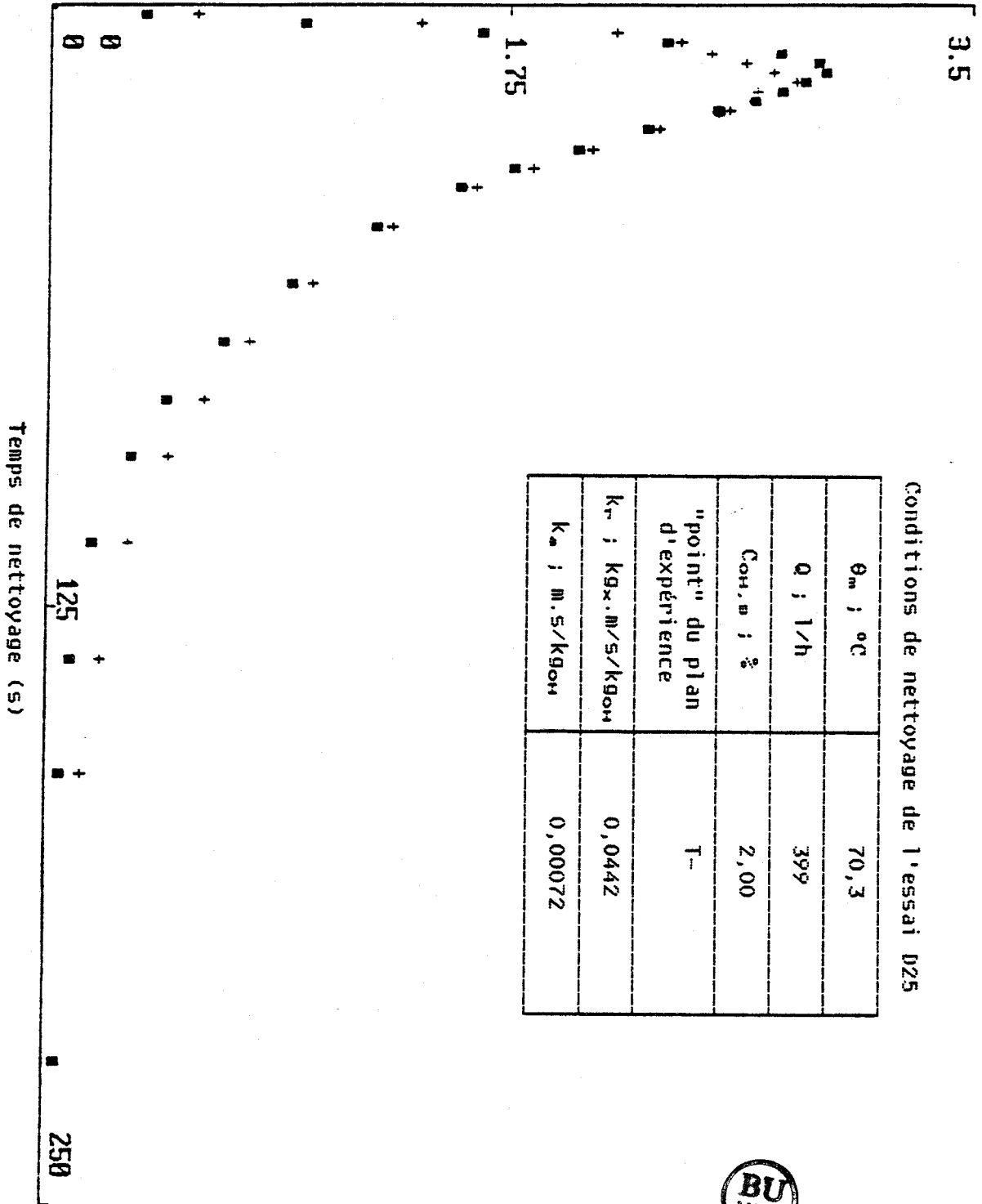


Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)

3.5

Conditions de nettoyage de l'essai D25

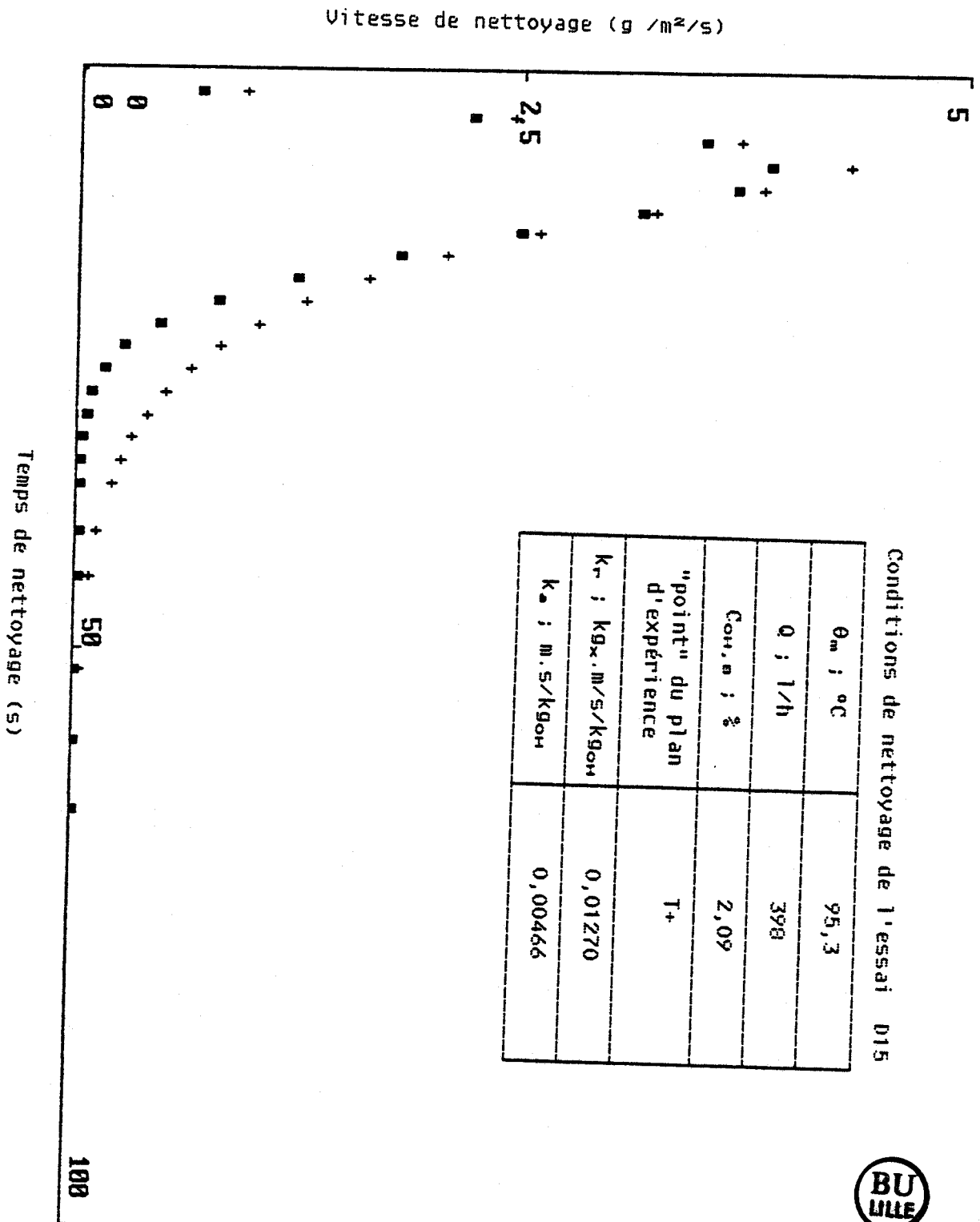
$\theta_m$ ; °C	70,3
Q ; l/h	399
Con. p ; ‰	2,00
"point" du plan d'expérience	T <sub>...</sub>
$k_r$ ; Kg x m/s / Kgom	0,0442
$k_a$ ; m. s / Kgom	0,00072

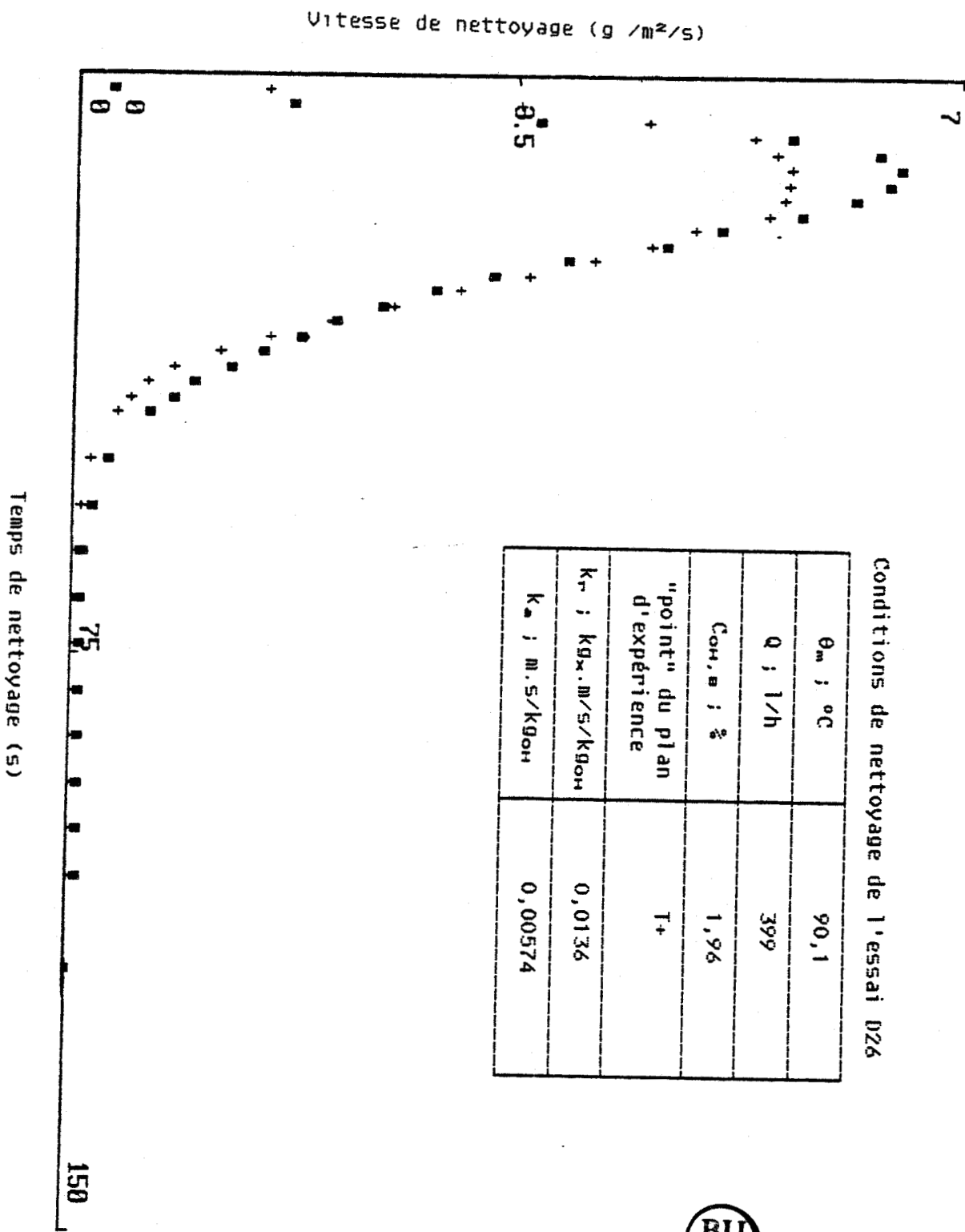




Conditions de nettoyage de l'essai 015

$\theta_m$ ; °C	95,3
Q ; l/h	398
Con. a ; %	2,09
"point" du plan d'expérience	T+
$K_r$ ; $kg \cdot m/s / kg_{on}$	0,01270
$K_a$ ; $m \cdot s / kg_{on}$	0,00466





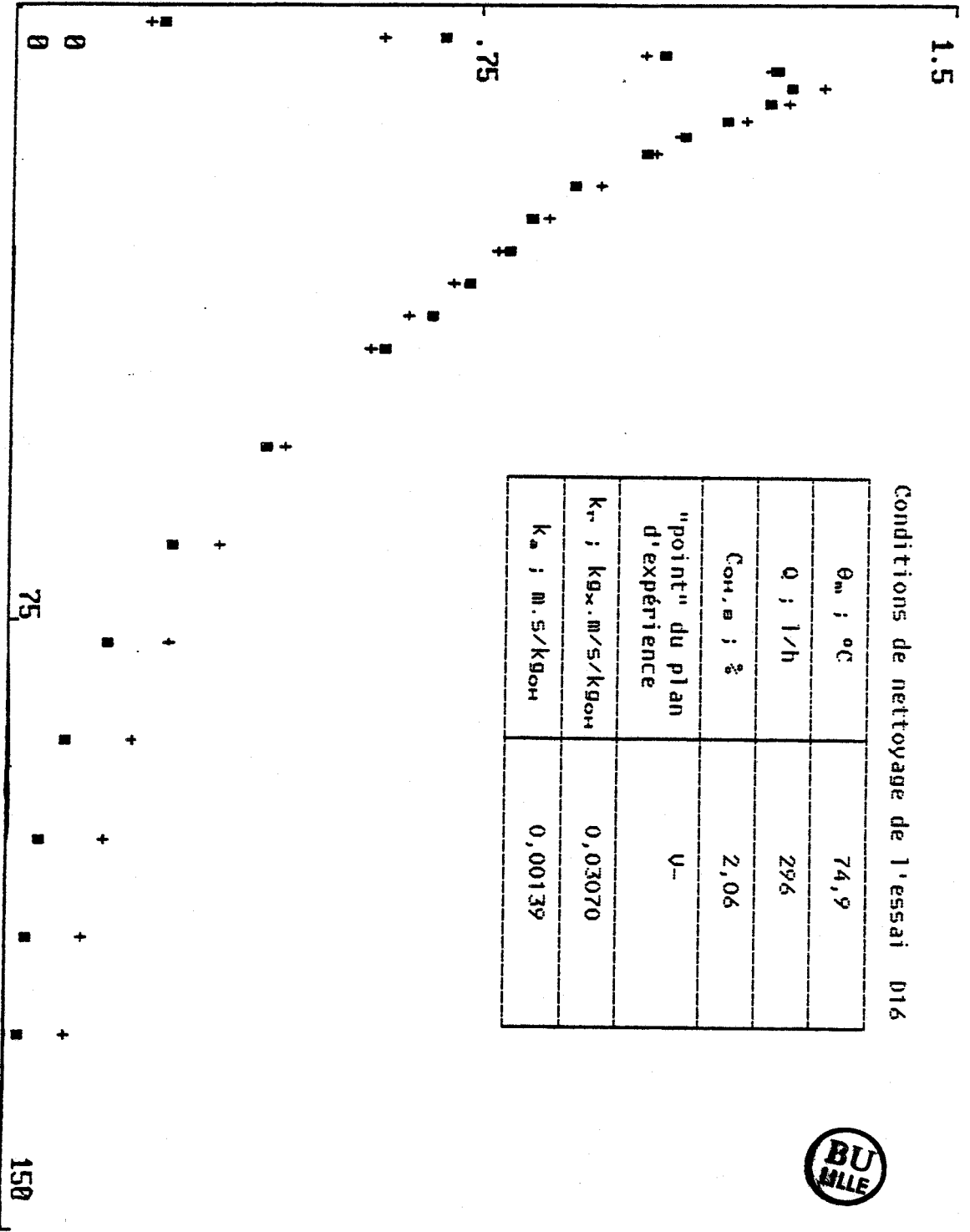
Conditions de nettoyage de l'essai 026

$\theta_m$ ; °C	90,1
Q ; l/h	399
Con. v ; ‰	1,96
"point" du plan d'expérience	T+
$k_T$ ; kg·m/s/kgon	0,0136
$k_a$ ; m.s/kgon	0,00574



1.5

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Temps de nettoyage (s)

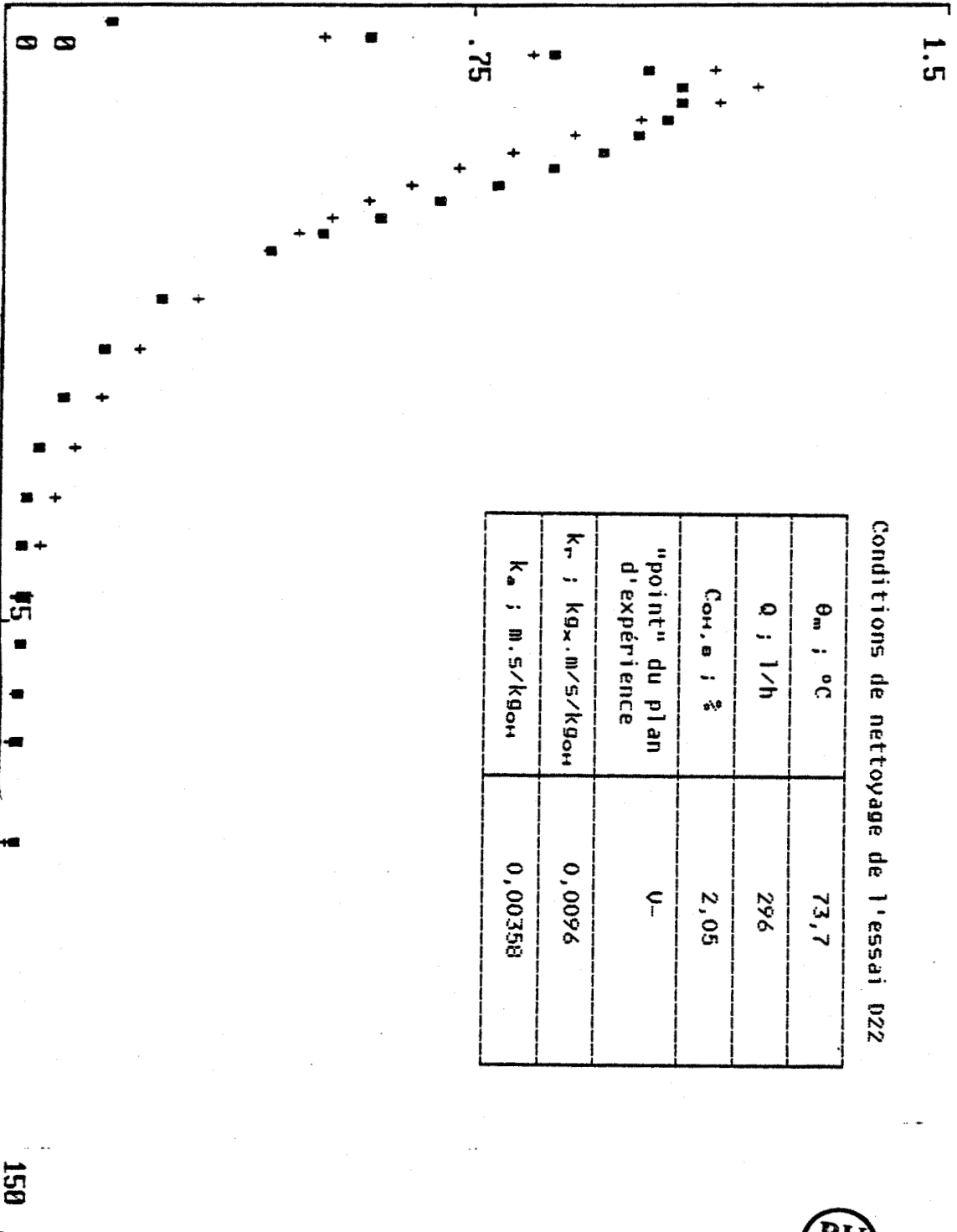
75

150



1.5

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



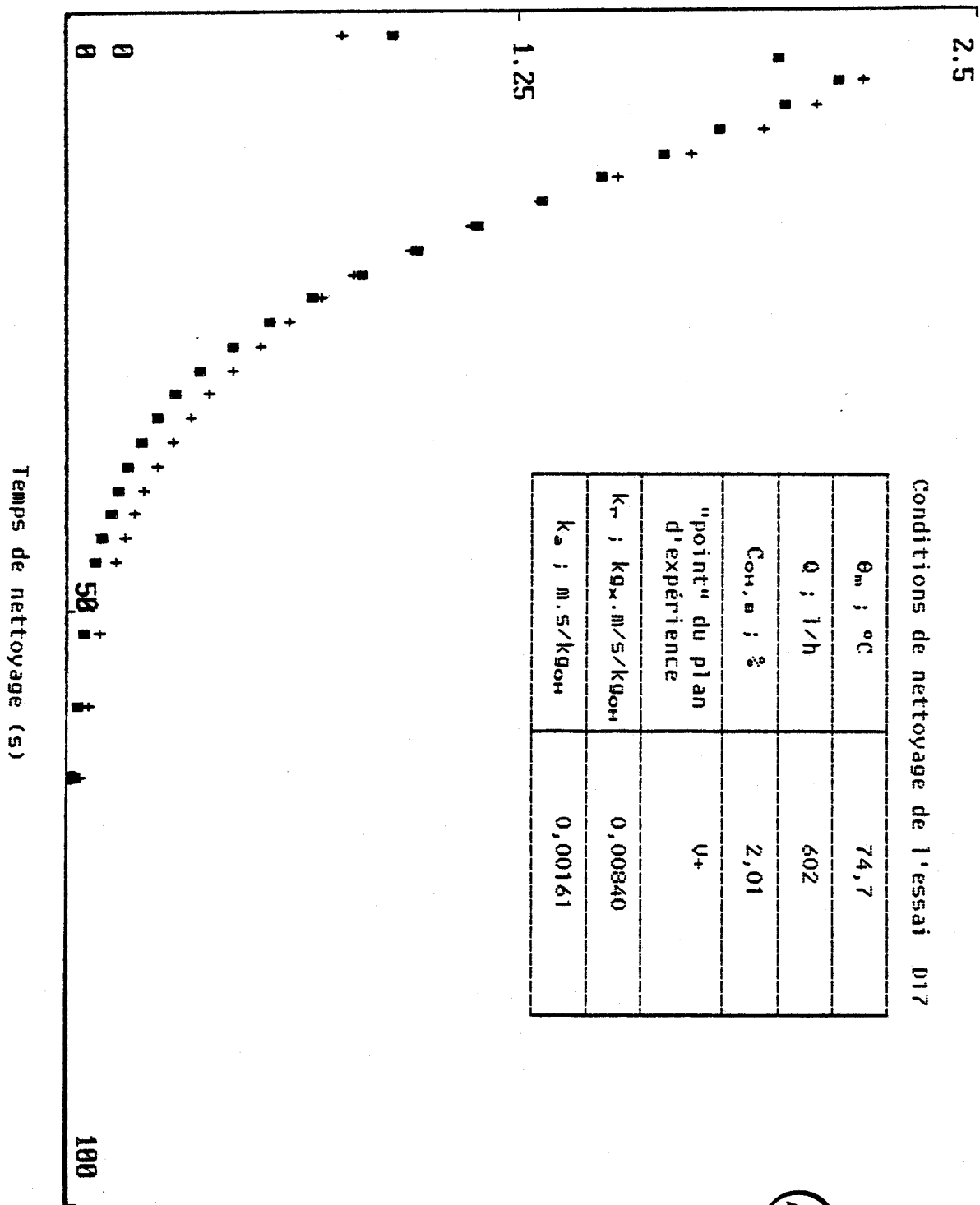
Temps de nettoyage (s)

150



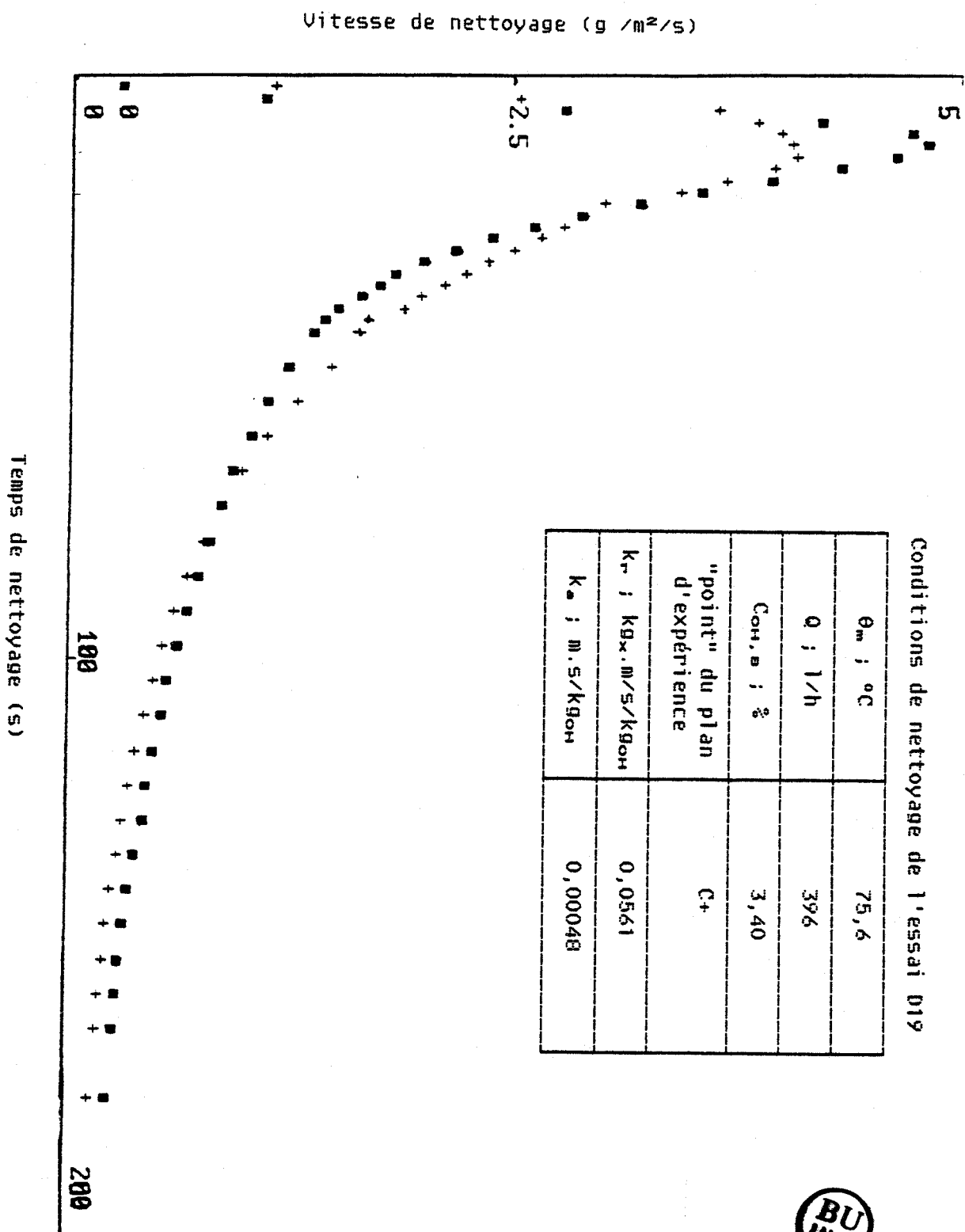


Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



Conditions de nettoyage de l'essai 019

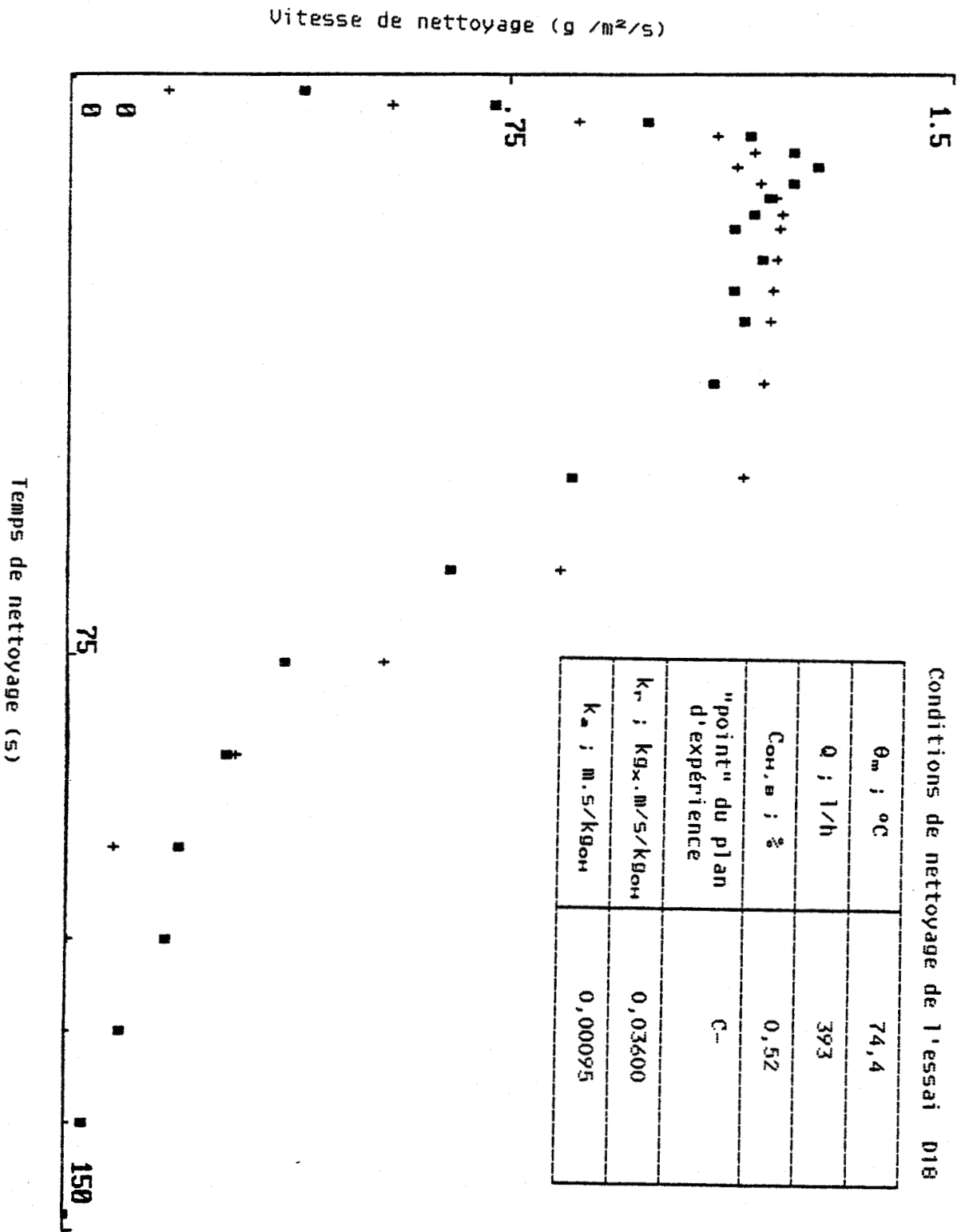
$\theta_m$ ; °C	75,6
Q ; l/h	396
Con. v ; %	3,40
"point" du plan d'expérience	C+
$K_r$ ; kgx.m/s/kgom	0,0561
$K_a$ ; m.s/kgom	0,00048





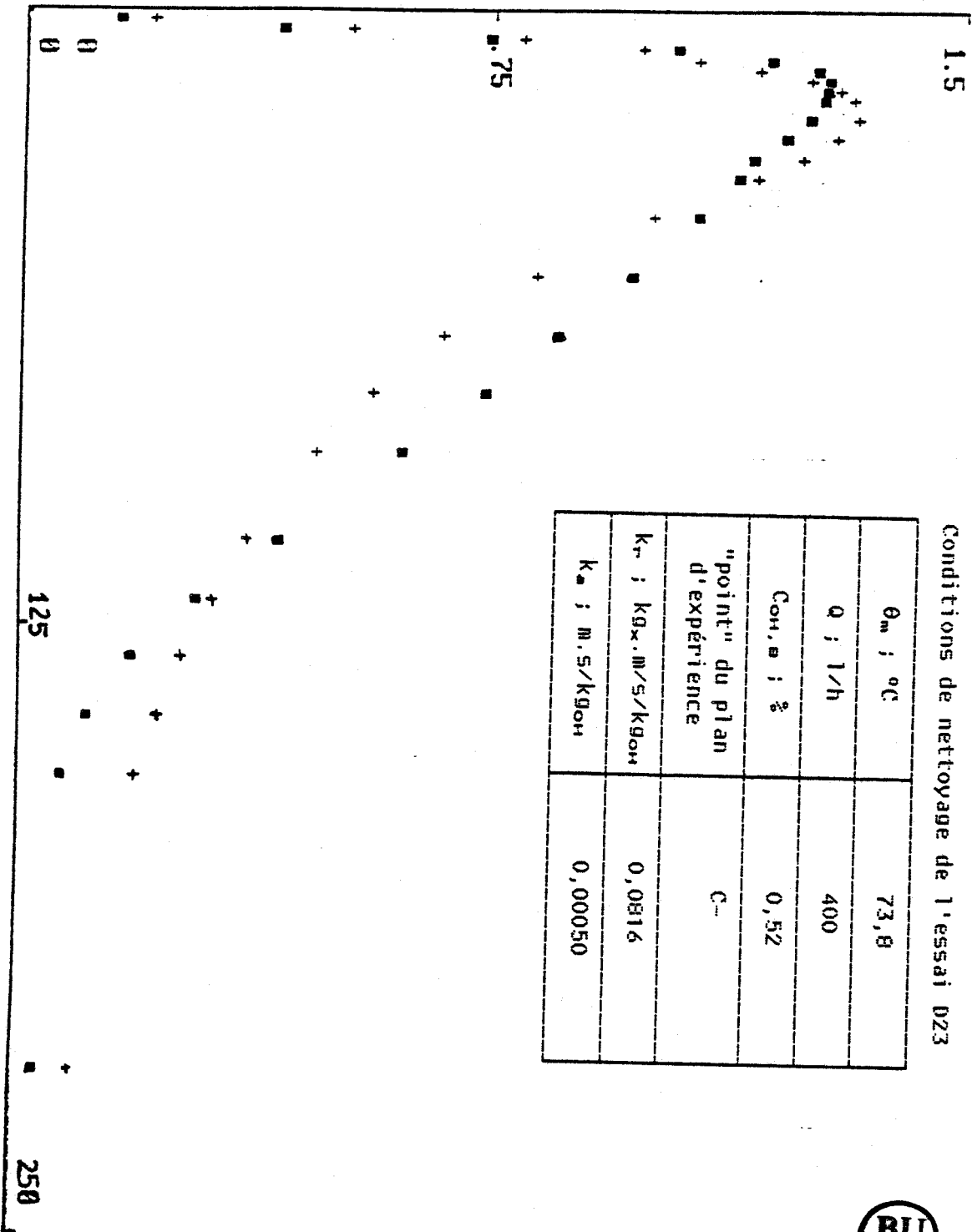
Conditions de nettoyage de l'essai 018

$\theta_m$ ; °C	74,4
Q ; l/h	393
Con.v ; %	0,52
"point" du plan d'expérience	C-
$K_r$ ; kgx.m/s/kgom	0,03600
$K_a$ ; m.s/kgom	0,00095



1.5

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



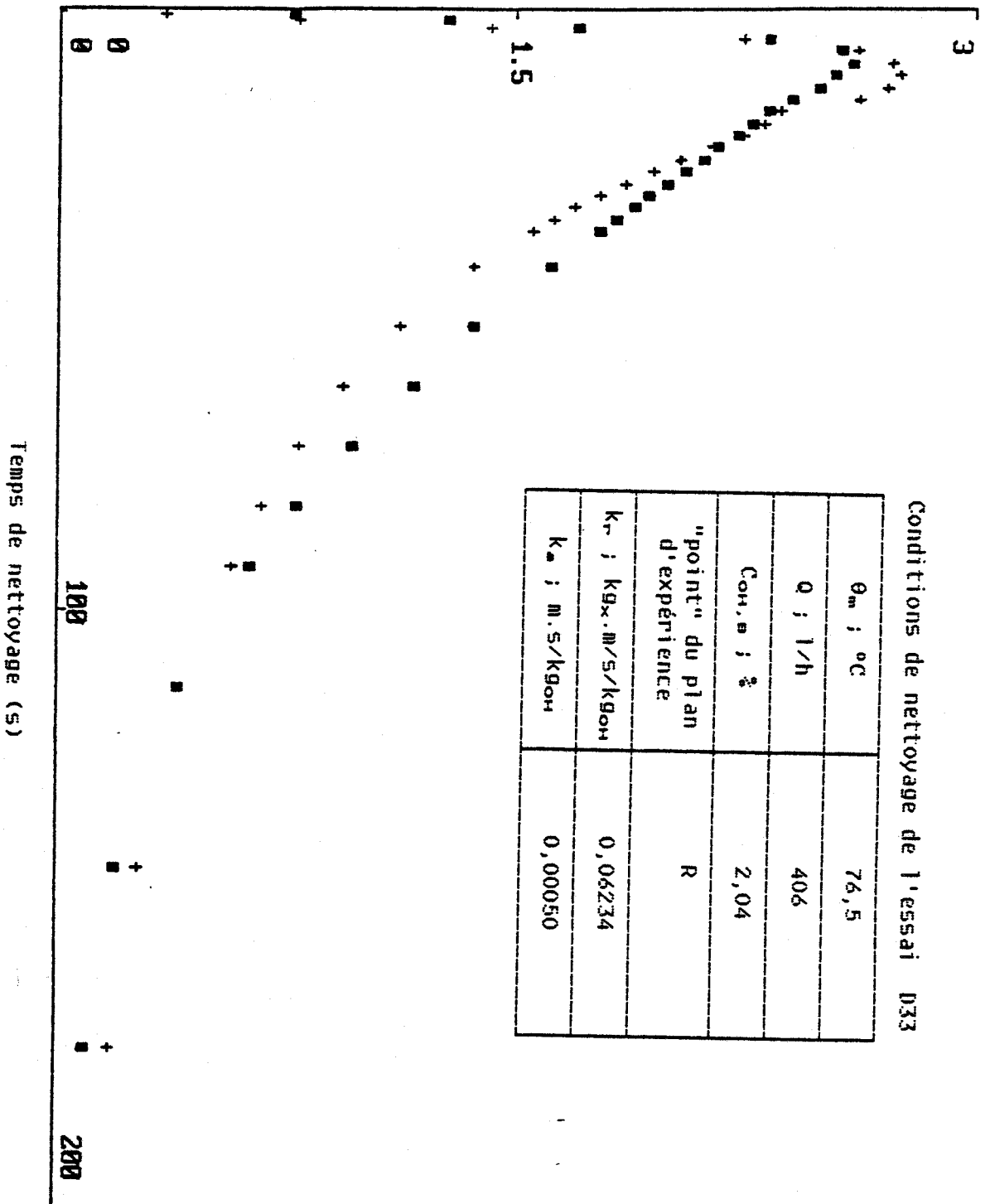
Conditions de nettoyage de l'essai 023

$\theta_m$ ; °C	73,8
Q ; l/h	400
Con. v ; %	0,52
"point" du plan d'expérience	C-
$k_r$ ; kg x m/s/kgom	0,0816
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00050



Temps de nettoyage (s)

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



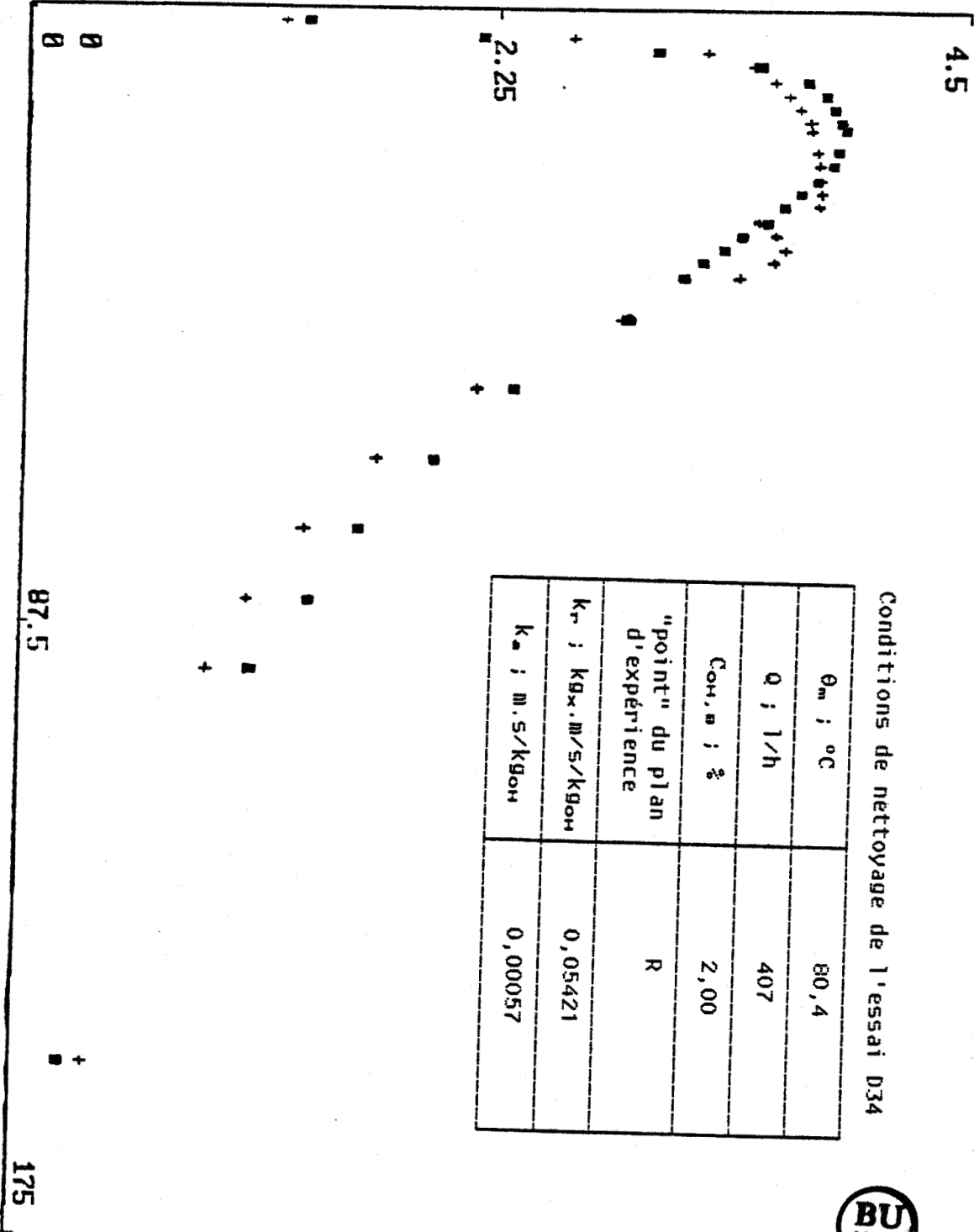
Conditions de nettoyage de l'essai 033

$\theta_m$ ; °C	76,5
Q ; l/h	406
Con, a ; %	2,04
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; kg·m/s/kgom	0,06234
$k_a$ ; m.s/kgom	0,00050



4.5

Vitesse de nettoyage (g /m<sup>2</sup>/s)



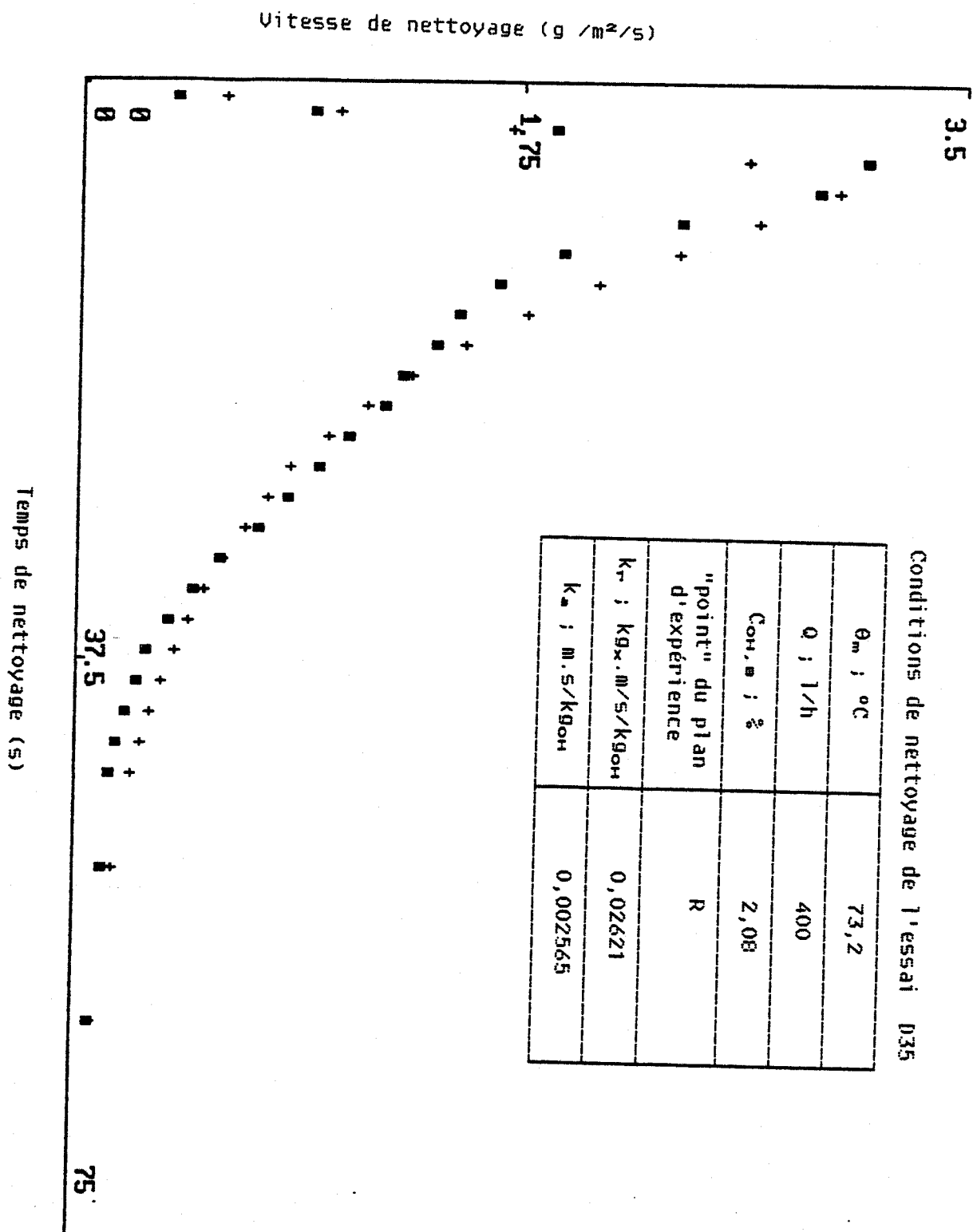
Conditions de nettoyage de l'essai D34

$\theta_m$ ; °C	80,4
Q ; l/h	407
Con.n ; %	2,00
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; Kg.x.m/s/Kgcm	0,05421
$k_a$ ; m.s/Kgcm	0,00057



Conditions de nettoyage de l'essai D35

$\theta_m$ ; °C	73,2
Q ; l/h	400
Con. $\omega$ ; %	2,08
"point" du plan d'expérience	R
$k_r$ ; Kg $\cdot$ m/s/Kg $\omega$	0,02621
$k_m$ ; m.s/Kg $\omega$	0,002565



Conditions de nettoyage de l'essai D36

$\theta_m$ ; °C	79,7
Q ; l/h	397
Con. $\rho$ ; %	2,03
"point" du plan d'expérience	R
$K_r$ ; kg $\cdot$ m <sup>5</sup> /kgom	0,0153
$K_m$ ; m <sup>5</sup> /kgom	0,00189

