

50376
1991
152-2

66146

50376
1991
152-2

THESE

no d'ordre 744

présentée pour obtenir le titre

de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DE LILLE-FLANDRES-ARTOIS

par

Isabelle FLOUR

Ingénieur ENSIC



**DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL EXPERIMENTAL ADAPTE
A L'ETUDE DE LA CARACTERISATION DE SOLIDES EN
LIT FLUIDISE :
APPLICATION A LA COMBUSTION DE CHARBONS**

Tome II : annexes

Soutenue le 28 juin 1991 devant la commission d'examen :

MM J. GRIMBLOT
G. LECLERCQ
L. DELFOSSE
S. PIETRZYCK
S. BRUNELLO
E.J. ANTHONY
P. MAISSA

Président
Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur

ANNEXES

<u>Annexe 1</u> :	Analyses des huit charbons	156
<u>Annexe 2</u> :	Présentation de réflectogrammes (PRV)	165
<u>Annexe 3</u> :	Modèles : - coeur rétrécissant - sphère rétrécissante - volumique uniforme	169
	Evolution de la vitesse et du 'burnout time' t _b avec le diamètre initial	173
<u>Annexe 4</u> :	Caractérisation du signal de gaz CO et CO ₂ :	176
	- analyseurs	177
	- ligne complète d'analyse des gaz	180
	- ensemble ligne d'analyse des gaz et lit fluidisé	184
<u>Annexe 5</u> :	Distribution granulométrique des sables	187
<u>Annexe 6</u> :	Influence de la température sur les courbes de conversion	192
	- Charbons bruts	193
	- Charbons dévolatilisés à 950°C (mode I)	197
	- Charbons dévolatilisés in-situ (mode II)	201
<u>Annexe 7</u> :	Comparaison des courbes de conversion expérimentales et des courbes de conversion modélisées	205
	- Charbons bruts	206
	- Charbons dévolatilisés à 950°C (mode I)	218
	- Charbons dévolatilisés in-situ (mode II)	231
<u>Annexe 8</u> :	Diagramme d'Arrhénius pour les charbons dévolatilisés (mode I)	238
<u>Annexe 9</u> :	Définition des normes du chapitre I.3	244
<u>Annexe 10</u> :	Exemples de courbes d'analyses de CO et CO ₂ enregistrées au cours d'essais	248

ANNEXES

ANNEXE 1 : ANALYSES DES CHARBONS

LIGNITE DE TERUEL				
A N A L Y S E S	I M M E D I A T E S		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
		Humidité %	7,12	
		Cendres %/sec	21	
		M.V. %/sec	34,2	
		PCI J/g	18707	
		PCS J/g	21179	
A N A L Y S E S	E L E M T A I R E S	C	53,6	66,5
		H	3,8	0
		O	15,5	
		N	0,7	0,45
		% sur sec	S	5,4
A N A L Y S E S	M A C E R A L E S	M. Minérales	17,2	
		V	46,2	
		I	30,4	
		E	6	
		%	PRV	0,49
Densité (kg/m3)		1630		
Indice de gonflement		0		
Surface spécifique (m2/g)		9,9		

FLAMBANT DE PROVENCE			
ANALYSES IMMEDIATES		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
	Humidité %	4,2	
	Cendres %/sec	24,1	
	M.V. %/sec	42,9	
	PCI J/g	20383	
	PCS J/g	22313	
ANALYSES ELEMENTAIRES	C	55,7	58,4
	H	4,2	0,52
	O	10	
	N	1,6	1,31
	% sur sec S	4,4	
ANALYSES MACERALES	M. Minérales	26,2	
	V	50,8	
	I	12	
	E	8,6	
	% PRV	0,465	
Densité (kg/m3)		1570	
Indice de gonflement		0	
Surface spécifique (m2/g)		2,6	

ULAN					
A N A L Y S E S	I M M E D I A T E S		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)	
		Humidité %	2,5		
		Cendres %/sec	13,9		
		M.V. %/sec	30,1		
		PCI J/g	26803		
		PCS J/g	28564		
A N A L Y S E S	E L E M T A I R E S		C	70,1	77,1
			H	4,5	0,54
			O	9	
			N	1,8	1,52
		% sur sec	S	0,6	
A N A L Y S E S	M A C E R A L E S		M. Minérales	8,2	
			V	40,2	
			I	44	
			E	7,6	
		%	PRV	0,69	
Densité (kg/m3)			1400		
Indice de gonflement			1		
Surface spécifique (m2/g)			5,5		

ANKER-KOHLLEN			
ANALYSES IMMÉDIATES		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
	Humidité %	2,68	
	Cendres %/sec	12,42	
	M.V. %/sec	29,03	
	PCI J/g	26957	
	PCS J/g	28763	
ANALYSES ÉLÉMENTAIRES	C	71,5	76,2
	H	4,4	0,51
	O	9,1	
	N	1,8	1,65
	% sur sec S	0,8	
ANALYSES MACÉRALES	M. Minérales	7,4	
	V	20,6	
	I	67	
	E	5	
	% PRV	0,83	
Densité (kg/m3)		1460	
Indice de gonflement		0	
Surface spécifique (m2/g)		1,5	

RIETSPRUIT			
ANALYSES IMMÉDIATES		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
	Humidité %	2,85	
	Cendres %/sec	18,1	
	M.V. %/sec	24,4	
	PCI J/g	25279	
	PCS J/g	26963	
ANALYSES ÉLÉMENTAIRES	C	67,7	74,9
	H	3,9	0,48
	O	7,8	
	N	1,8	1,65
	% sur sec	S	0,8
ANALYSES MACÉRALES	M. Minérales	8	
	V	25,6	
	I	61,4	
	E	5	
	%	PRV	0,82
Densité (kg/m3)		1620	
Indice de gonflement		0	
Surface spécifique (m2/g)		2	

FREYMING				
A N A L Y S E S	I M M E D I A T E S		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
		Humidité %	2,6	
		Cendres %/sec	5,4	
		M.V. %/sec	33,9	
		PCI J/g	29989	
		PCS J/g	31985	
A N A L Y S E S	E L E M T A I R E S	C	78,8	89,3
		H	5,1	0,52
		O	9	
		N	1,2	1,46
		% sur sec S	0,8	
A N A L Y S E S	M A C E R A L E S	M. Minérales	2,4	
		V	69,8	
		I	13,8	
		E	14	
		% PRV	0,8	
Densité (kg/m3)		1350		
Indice de gonflement		2,5		
Surface spécifique (m2/g)		2,3		

1/4 GRAS DU GARD				
A N A L Y S E S	I M M E D I A T E S		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
		Humidité %	0,83	
		Cendres %/sec	7,34	
		M.V. %/sec	15,05	
		PCI J/g	32039	
		PCS J/g	33279	
A N A L Y S E S	E L E M T A I R E S	C	83,1	90,7
		H	4,2	0,58
		O	3,1	
		N	1,5	1,46
		% sur sec S	0,76	
A N A L Y S E S	M A C E R A L E S	M. Minérales	12,6	
		V	71	
		I	16	
		E	0,4	
		% PRV	1,7	
Densité (kg/m3)		1380		
Indice de gonflement		0		
Surface spécifique (m2/g)		1		

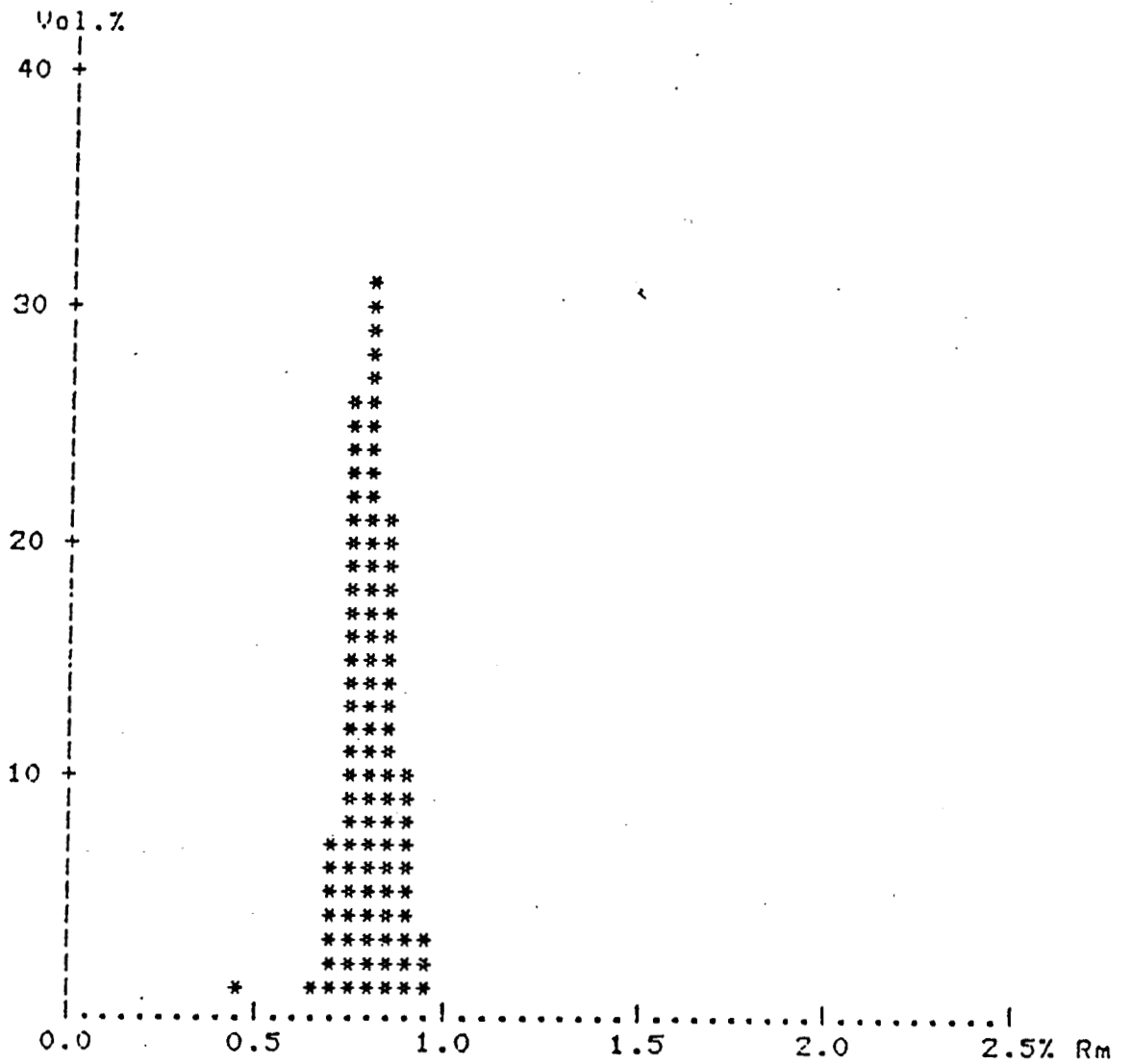
LA MURE				
A N A L Y S E S	I M M E D I A T E S		0,315-0,5 mm (brut)	0,315-0,5 mm (dévolatilisé)
		Humidité %	1,8	
		Cendres %/sec	27,7	
		M.V. %/sec	7,4	
		PCI J/g	22958	
		PCS J/g	23730	
A N A L Y S E S	E L E M T A I R E S	C	66,9	68,6
		H	1,4	0,45
		O	2,3	
		N	0,9	0,84
		% sur sec	S	0,9
A N A L Y S E S	M A C E R A L E S	M. Minérales	19,8	
		V	INDISCERNABLES	
		I		
		E		
		%	PRV	5,28
Densité (kg/m3)		1950		
Indice de gonflement		0		
Surface spécifique (m2/g)		1,8		

ANNEXE 2 : PRESENTATION DE REFLECTOGRAMMES

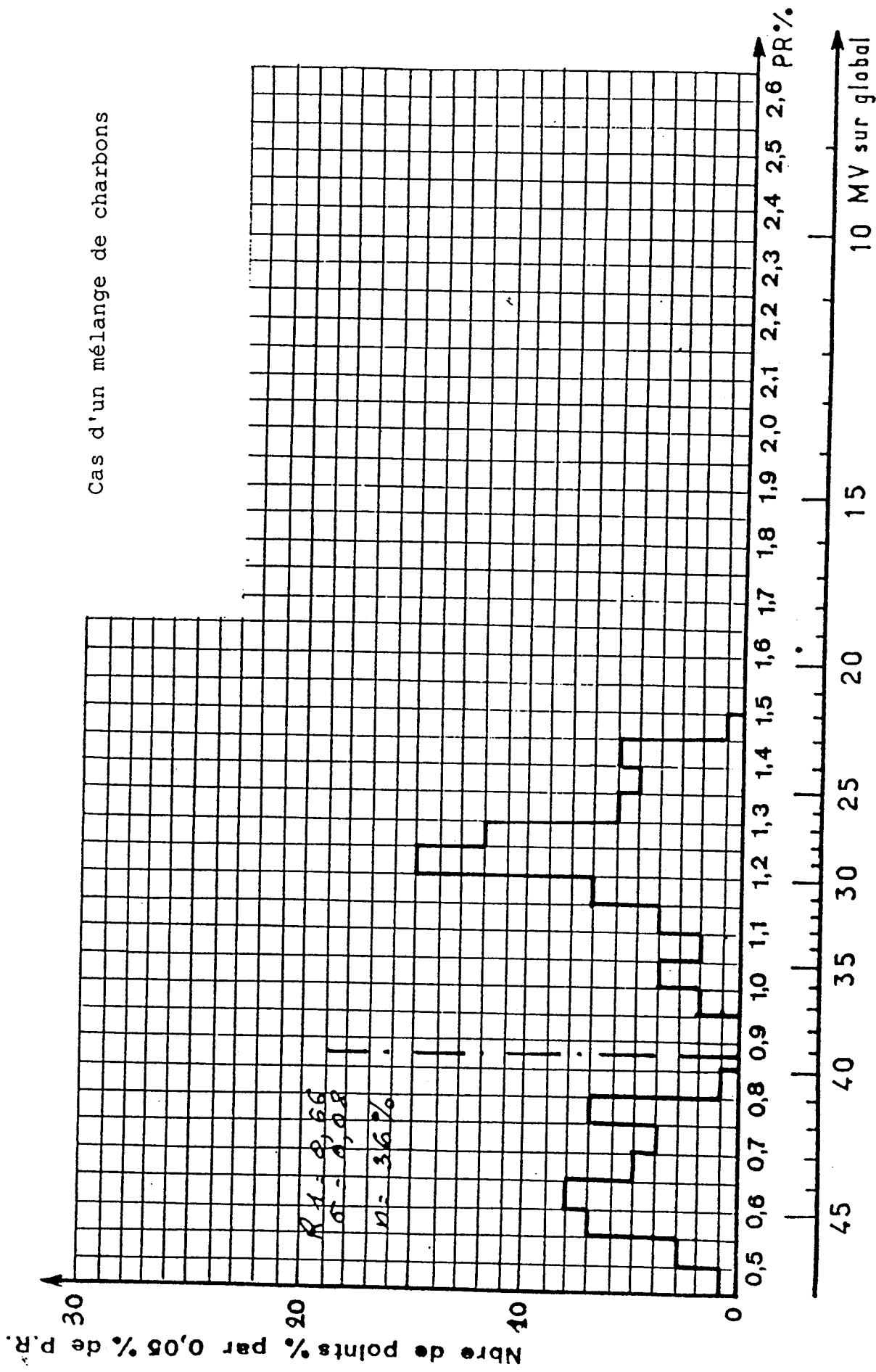
CERCHAR - Laboratoire de Pétrographie

FREYMING

PRV = 0,83



Cas d'un mélange de charbons



Nbre de POINTS : 100

PR MOYEN : 1,03

σ : 0,28

ANNEXE 3 :

- Modèles :
 - coeur rétrécissant
 - sphère rétrécissante
 - volumique uniforme

- Evolution de la vitesse et du 'burnout time' t_B avec le diamètre initial.

I - LE MODELE A COEUR RETRECISANT (Shrinking Core) /91/

I.1 - Présentation

Le modèle à coeur rétrécissant considère que la particule est insuffisamment poreuse pour permettre au réactif d'atteindre tout le volume du solide .

Supposons la particule sphérique, de rayon initial R_0 , A le fluide et B le solide.

A mesure que la réaction entre A et B progresse, un front de réaction pénètre à l'intérieur du grain et laisse derrière lui une couche de produits solides (ou "cendres") de même densité apparente que celle du solide initial. La réaction est isotherme :



Trois étapes caractérisent ce modèle.

- a) Le transfert externe

Soit N_A la densité de flux surfacique :

$$N_A = k_g (C_A - C_{AS})$$

- b) La diffusion interne dans la couche de cendres

Soit D_e la diffusivité effective de A dans la couche de cendres. Lorsque le rayon du coeur réactif est R , le flux de A en provenance de l'extérieur (R_0) s'écrit :

$$F_A = 4 \cdot \pi \cdot R'^2 \cdot D_e \cdot \frac{dC}{dR'}$$

avec $R < R' < R_0$

quand $R' = R_0$, $C = C_{AS}$

quand $R' = R$, $C = C_{Ai}$

Le flux étant conservatif, l'intégration donne :

$$F_A = 4.\pi.De.(C_{AS}-C_{Ai}) \cdot \frac{Ro.R}{(Ro-R)}$$

soit par unité de surface :

$$N_A = \frac{F_A}{4.\pi.Ro^2} = \frac{De.R}{Ro.(Ro-R)} (C_{AS}-C_{Ai})$$

- c) La réaction chimique

La vitesse de réaction, supposée d'ordre n par rapport à A, est rapportée à l'unité d'aire interfaciale du front de réaction (vitesse surfacique) :

$$r_C = 4.\pi.R^2.k_S.C_{Ai}^n$$

d'où

$$N_A = \frac{r_C}{4.\pi.Ro^2} = \frac{k_S.R^2}{Ro^2}.C_{Ai}$$

I.2 - Expression de la vitesse de réaction

La densité de flux A, s'écrit :

$$N_A = \frac{C_A - C_{AS}}{\frac{1}{k_g}} = \frac{C_{AS} - C_{Ai}}{\frac{Ro.(Ro-R)}{De.R}} = \frac{C_{Ai}^n}{\frac{Ro^2}{k_S.R^2}}$$

Pour une réaction chimique du premier ordre, en sommant les trois termes, on obtient :

$$N_A = \frac{C_A}{\frac{1}{k_g} + \frac{Ro.(Ro-R)}{De.R} + \frac{Ro^2}{k_S.R^2}} = \frac{C_A}{K}$$

Les trois résistances : transfert externe, diffusion interne et réaction chimique, sont en série.

On en déduit la vitesse r par unité de volume de la particule :

$$r = \frac{4 \cdot \pi \cdot R_0^2}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_0^3} \cdot N_A = \frac{3 \cdot C_A}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{k_g} + \frac{R_0 \cdot (R_0 - R)}{De \cdot R} + \frac{R_0^2}{k_s \cdot R^2} \right)^{-1}$$

II - LE MODELE A SPHERE RETRECISSANTE (Shrinking Sphere) /91/

II.1 Présentation

C'est le même mécanisme que pour le modèle à coeur rétrécissant, mais les produits solides de réactions sont éliminés au fur et à mesure de leur formation. La principale conséquence est que la taille de particules ne reste pas constante.

Les étapes à considérer sont alors :

- transfert externe,
- réaction chimique.

- a) Le transfert externe

$$N_A = k_g (C_A - C_{AS})$$

- b) La réaction chimique

L'expression de la vitesse surfacique reste la même, avec $C_{Ai} = C_{AS}$.

$$r_c = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot k_s \cdot C_{AS}^n$$

Mais l'expression de la densité de flux change puisque la surface extérieure diminue :

$$N_A = \frac{r_c}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = k_s \cdot C_{AS}^n$$

II.2 Expression de la vitesse de réaction

La densité de flux N_A s'écrit pour une réaction d'ordre 1 :

$$N_A = \frac{C_A - C_{AS}}{\frac{1}{k_g}} = \frac{C_{AS}}{\frac{1}{k_s}} = \left(\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s} \right)^{-1} \cdot C_A$$

On en déduit la vitesse r par unité de volume :

$$r = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^2}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3} \cdot N_A = \frac{3}{R} \cdot \left(\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s} \right)^{-1}$$

III - LE MODELE DE CONVERSION VOLUMIQUE UNIFORME

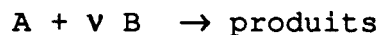
Contrairement aux modèles précédents, le modèle de conversion volumique uniforme suppose que la particule toute entière est accessible au réactif gazeux.

La diffusion du réactif, à l'intérieur de la particule, est supposée très rapide par rapport à la réaction chimique. La particule conserve la même taille.

Deux étapes caractérisent ce modèle :

- le transfert externe,
- la réaction chimique.

-a) La réaction chimique



La réaction d'ordre n par rapport à A et p par rapport à B :

$$r = \frac{-1}{\nu \cdot V_p} \frac{dn_B}{dt} = k_v C_A^n C_B^p$$

où V_p est le volume de la particule
 n_B le nombre de moles de B non converties
 C_A, C_B les concentrations molaires en A et B

si l'on écrit :

$$C_B = C_o (1-X)$$
$$n_B = V_p C_o (1-X)$$

alors: $\frac{dX}{dt} = k_v \cdot C_A^n \cdot C_o^{p-1} \cdot (1-X)^p$

Si l'on suppose que la réaction est d'ordre 1 par rapport au solide, on retrouve le modèle exponentiel :

$$X = 1 - \exp(-k_v \cdot C_A^n \cdot t)$$

IV - EVOLUTION DE LA VITESSE ET DU 'BURNOUT TIME' t_B AVEC LE DIAMETRE INITIAL /48/

IV.1 Evolution de la vitesse avec d_o /48/

Chakraborty propose le modèle suivant :

$$\frac{dm}{dt} = \pi \cdot d_o^2 \cdot \left(\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s} \right)^{-1} \cdot C_e$$

avec d_o : diamètre initial de la particule
 C_e : concentration de l'oxygène au sein de la phase émulsion

- a) Transfert externe $k_g \ll k_s$

$$\frac{dm}{dt} = \pi \cdot d_o^2 \cdot k_s \cdot C_e$$

les auteurs utilisent : $Sh = \frac{k_g d_o}{D_g}$, Sh étant constant:

d'où $\frac{dm}{dt} = \pi \cdot Sh \cdot D_g \cdot d_o \cdot C_e$

- b) En régime cinétique $k_s \ll k_g$

$$\frac{dm}{dt} = \pi \cdot d_o^2 \cdot k_s \cdot C_e$$

CONCLUSION :

- si la vitesse est contrôlée par le transfert externe, alors dm/dt est proportionnelle à d_0 .

- si la vitesse est contrôlée par la cinétique, alors dm/dt est proportionnelle à d_0^2 .

IV.2 Evolution du "burnout time" t_B avec d_0
(modèle du coeur rétrécissant)

soit : $A + \nu B \rightarrow \text{produits}$

La vitesse de réaction s'exprime comme la quantité de B transporté par unité de temps, par volume de la particule :

$$r = \frac{-1}{\nu} \cdot \frac{1}{V_p} \cdot \frac{dn_B}{dt}$$

avec
$$n_B = \frac{m_B}{M_B} = \frac{\rho_B \cdot \pi \cdot d^3}{M_B \cdot 6}$$

$$V_p = \frac{\pi}{6} \cdot d_0^3 \quad \text{d'où} \quad r = \frac{-1}{\nu} \cdot \frac{\rho_B}{M_B} \cdot \frac{3 \cdot d^2}{d_0^3} \cdot \frac{dd}{dt}$$

- a) En régime de transfert externe

$$r = \frac{3}{R_0} \cdot \text{kg} \cdot C_A = \frac{6}{d_0} \cdot \text{kg} \cdot C_A$$

avec
$$\text{Sh} = \frac{\text{kg} \cdot d_0}{D_G}$$

$$r = \frac{6}{d_0^2} \cdot \text{Sh} \cdot D_G \cdot C_A = \frac{-1}{\nu} \cdot \frac{\rho_B}{M_B} \cdot \frac{3 \cdot d^2}{d_0^3} \cdot \frac{dd}{dt}$$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{-1}{\nu} \cdot \frac{\rho_B}{M_B} \cdot \frac{1}{\text{Sh} \cdot D_G \cdot C_A} \cdot \frac{1}{d_0} \cdot \frac{d^2}{2} \cdot dd$$

l'intégration donne :

$$t = \frac{1}{v} \frac{\rho_B}{M_B \cdot Sh \cdot DG \cdot C_A} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{d_0} (d_0^3 - d^3)$$

à $t = t_B$ $d = 0$ d'où :

$$t_B = \frac{1}{v} \frac{\rho_B}{M_B \cdot Sh \cdot DG \cdot C_A} \cdot \frac{3}{2} d_0^2$$

- b) En régime cinétique

$$r = \frac{3 k_s R^2}{R_0^3} C_A = \frac{6 \cdot k_s d^2}{d_0^3} C_A$$

soit :

$$\frac{-1}{v} \frac{\rho_B}{M_B} \frac{3d^2}{d_0^3} \frac{dd}{dt} = \frac{6 k_s d^2}{d_0^3} C_A$$

$$dt = \frac{-1}{v} \cdot \frac{\rho_B}{M_B} \cdot \frac{1}{2 \cdot k_s C_A} \cdot dd$$

$$t = \frac{1}{v} \frac{\rho_B}{M_B} \frac{1}{2 k_s C_A} \cdot (d_0 - d)$$

à $t = t_B$ $d = 0$ d'où

$$t_B = \frac{1}{v} \frac{\rho_B}{M_B} \frac{1}{2 \cdot k_s C_A} \cdot d_0$$

CONCLUSION:

- si la réaction est contrôlée par la diffusion :
 t_B est proportionnel à d_0^2 .

- si la réaction est contrôlée par la cinétique :
 t_B est proportionnel à d_0 .

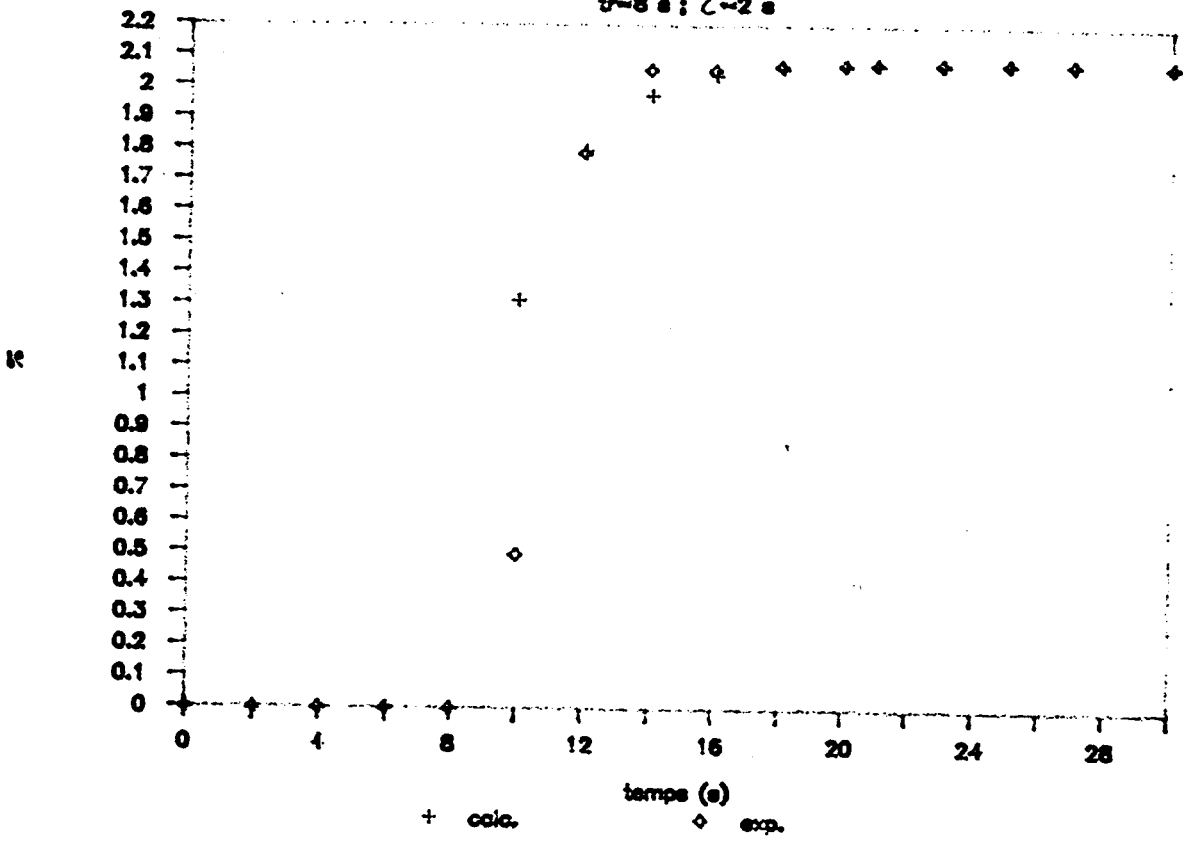
**ANNEXE 4 : CARACTERISATION DU SIGNAL DE GAZ
CO ET CO₂ :**

- **Analyseurs**
- **Ligne complète d'analyse des gaz**
- **Ensemble : lit fluidisé
et ligne d'analyse**

ANALYSEURS

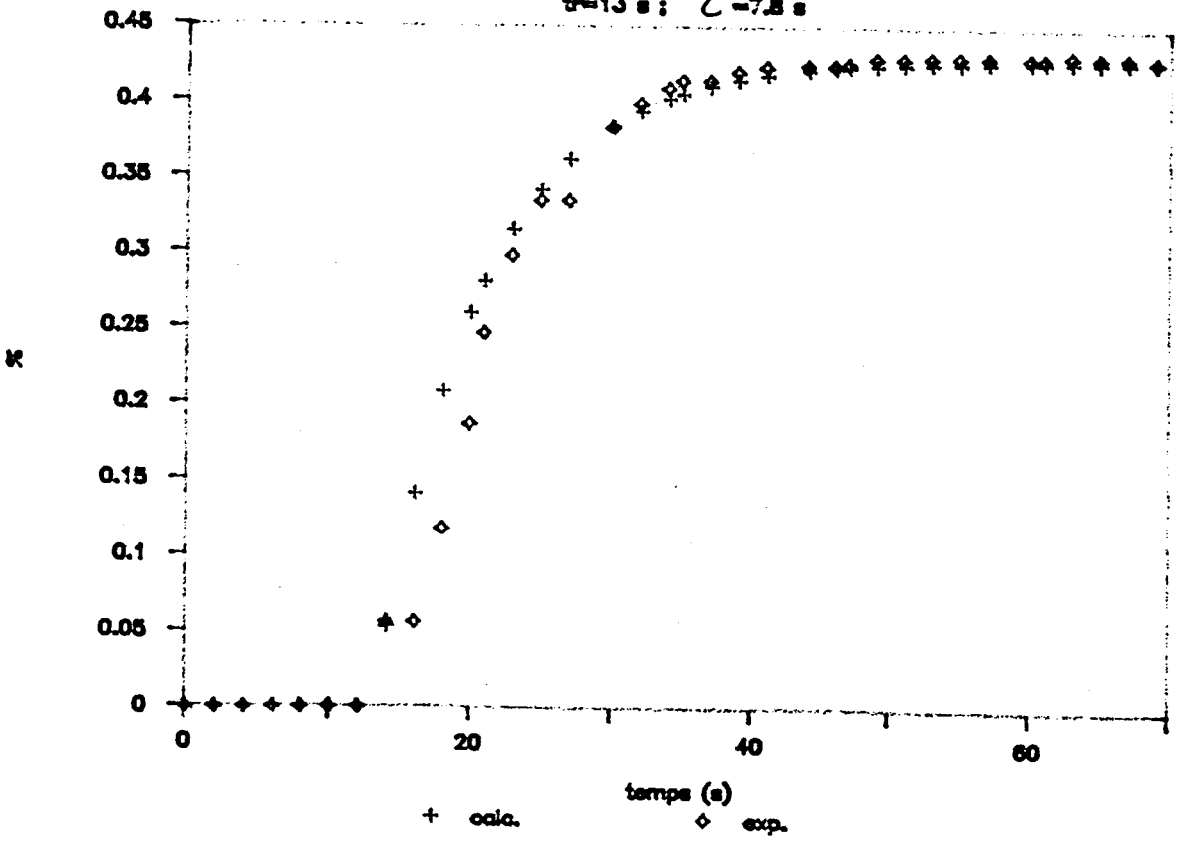
CO₂ 0-3%

$t=8\text{ s}; \tau=2\text{ s}$



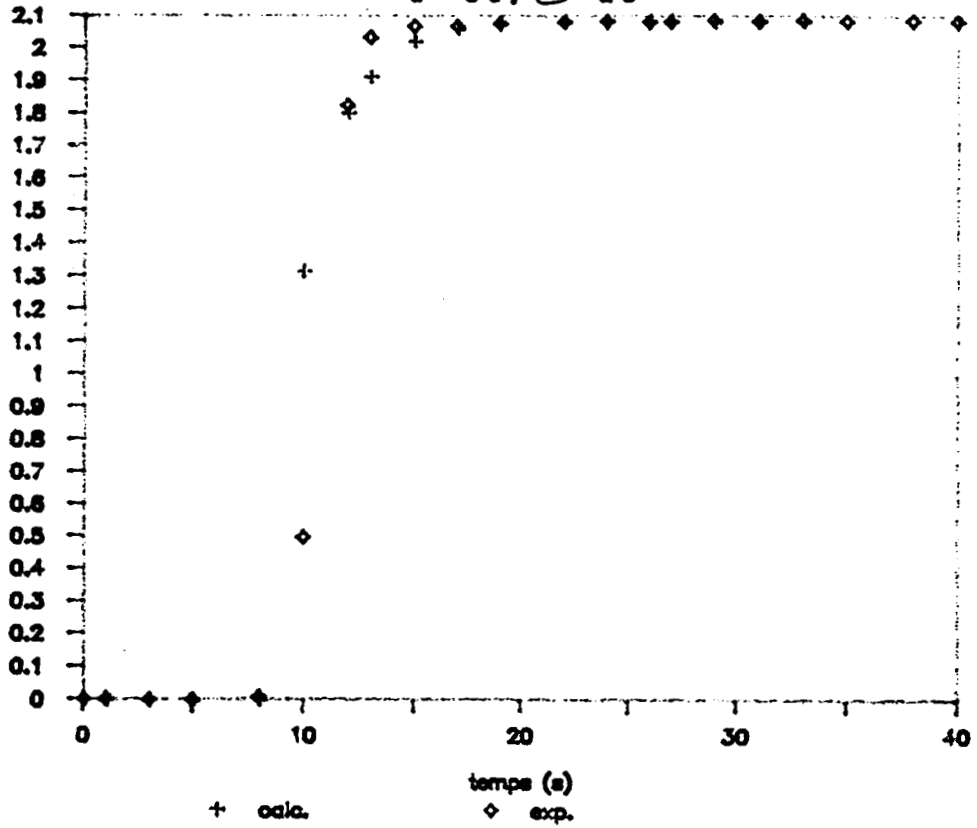
CO 0-4%

$t=13\text{ s}; \tau=7.8\text{ s}$



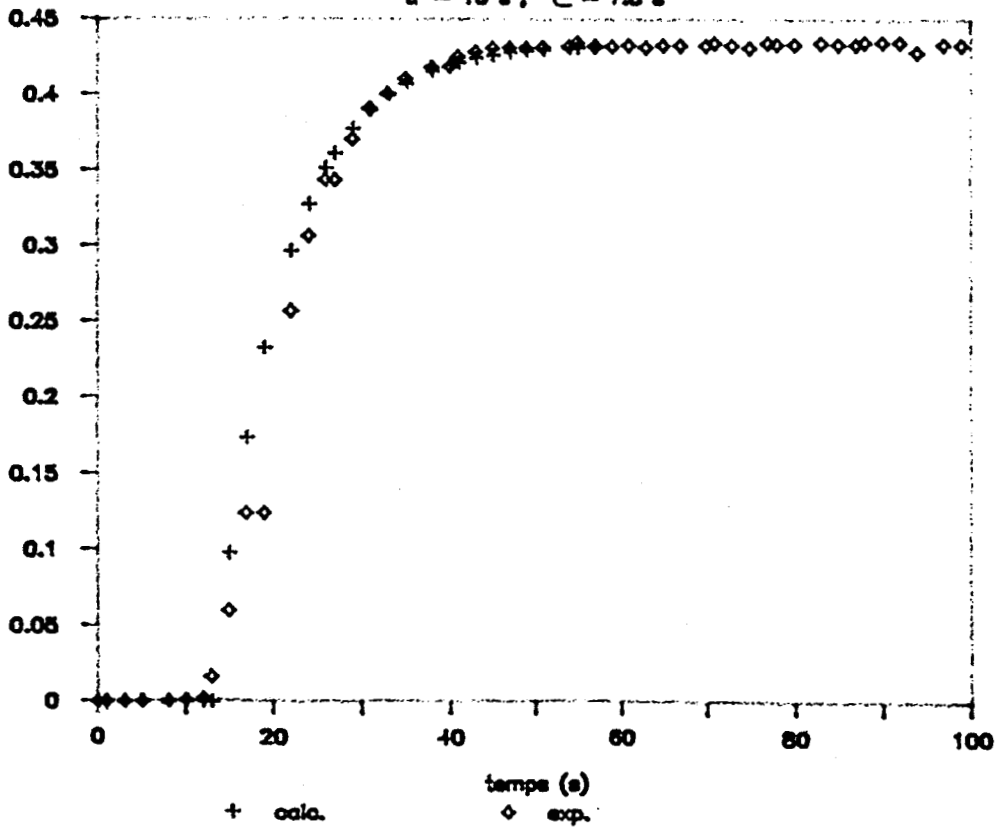
analyseur gaz : CO₂

$t_r = 8 \text{ s}$; $Z = 2 \text{ s}$



analyseur gaz : CO

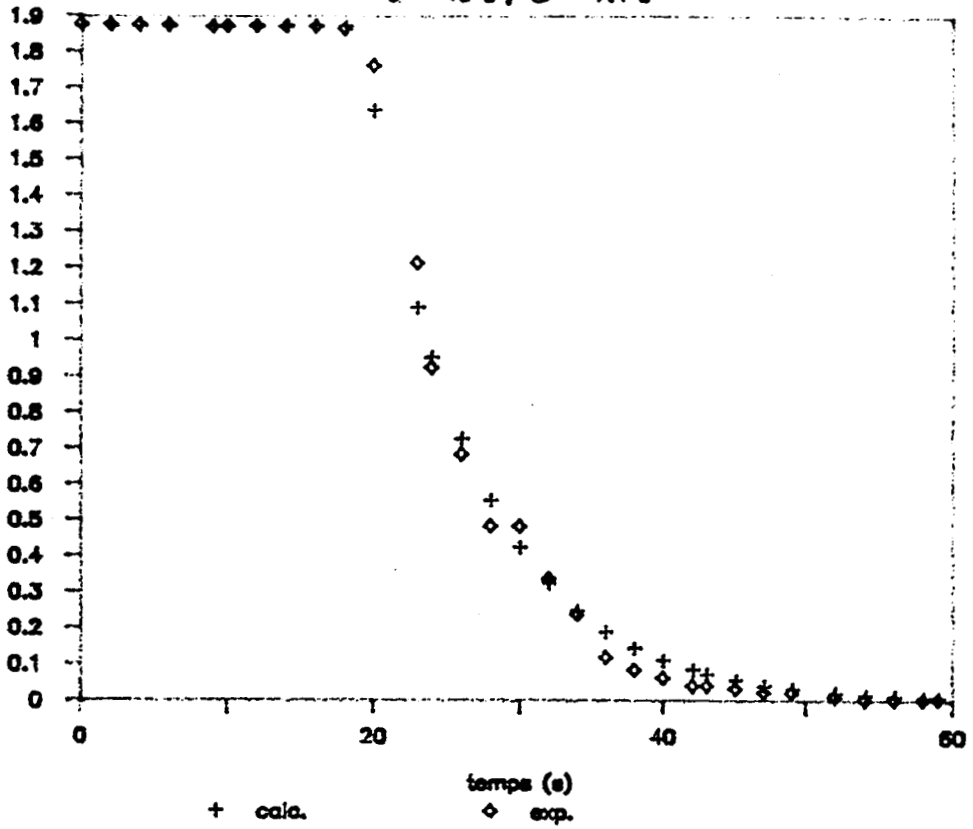
$t_r = 13 \text{ s}$; $Z = 7.8 \text{ s}$



LIGNE COMPLETE D'ANALYSE DES GAZ CO ET CO2

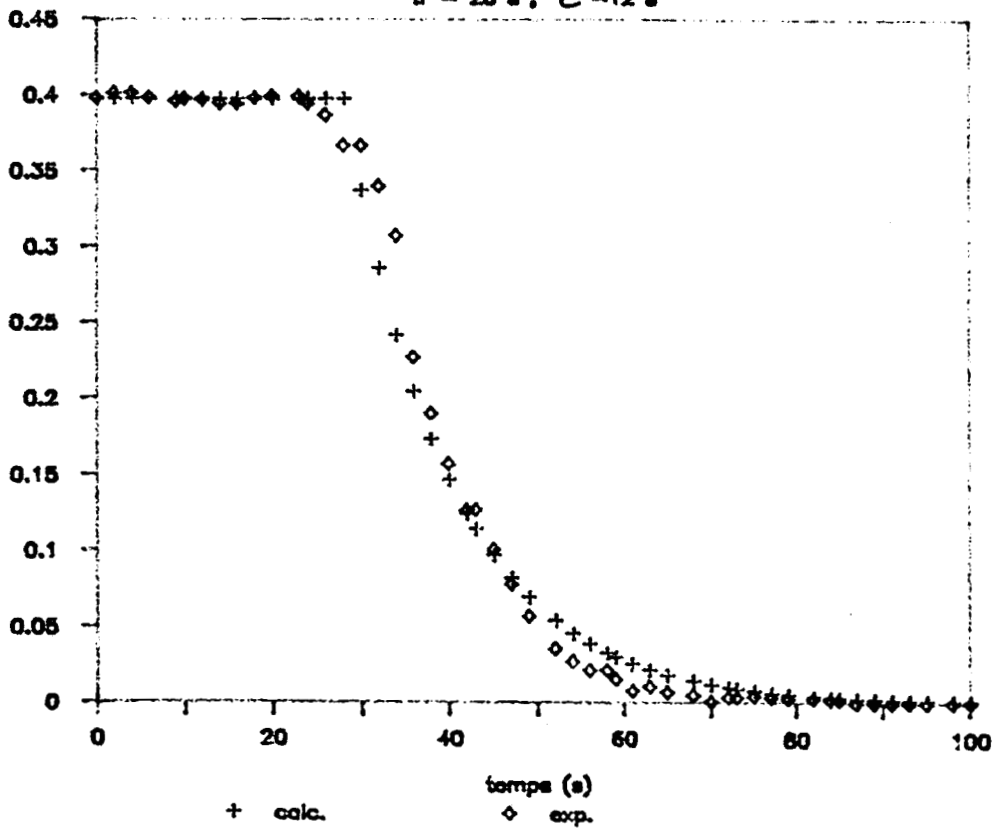
ligne gaz : CO2

$t_r = 19 \text{ s}$; $Z = 7.4 \text{ s}$



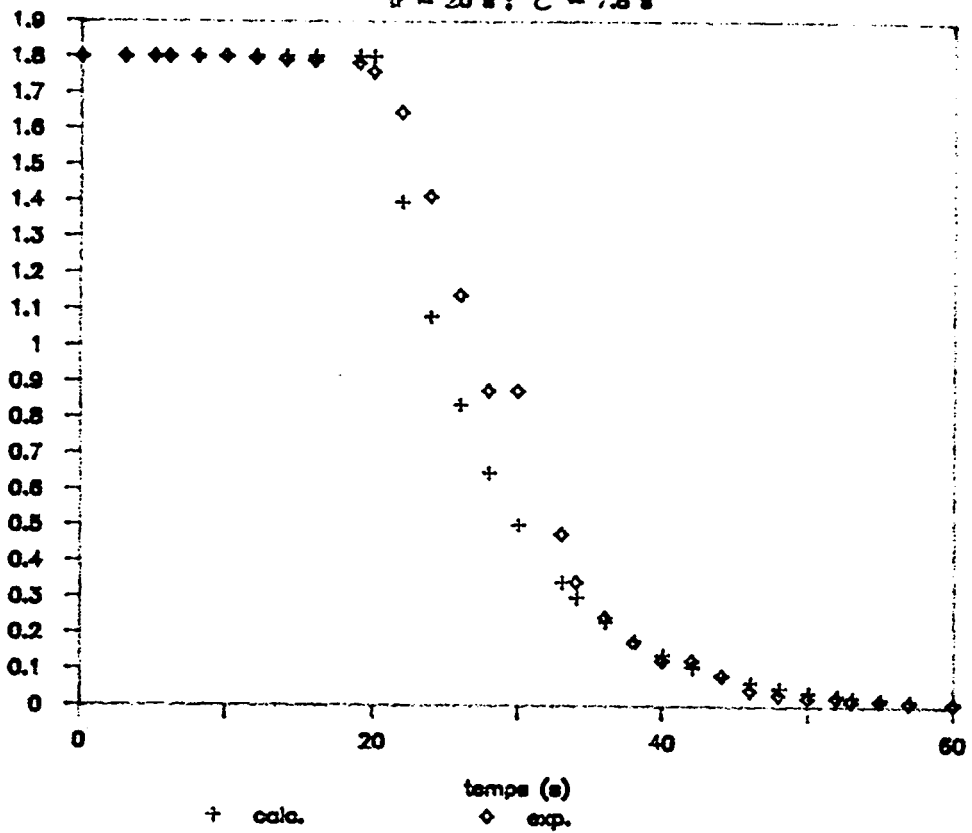
ligne gaz : CO

$t_r = 28 \text{ s}$; $Z = 12 \text{ s}$



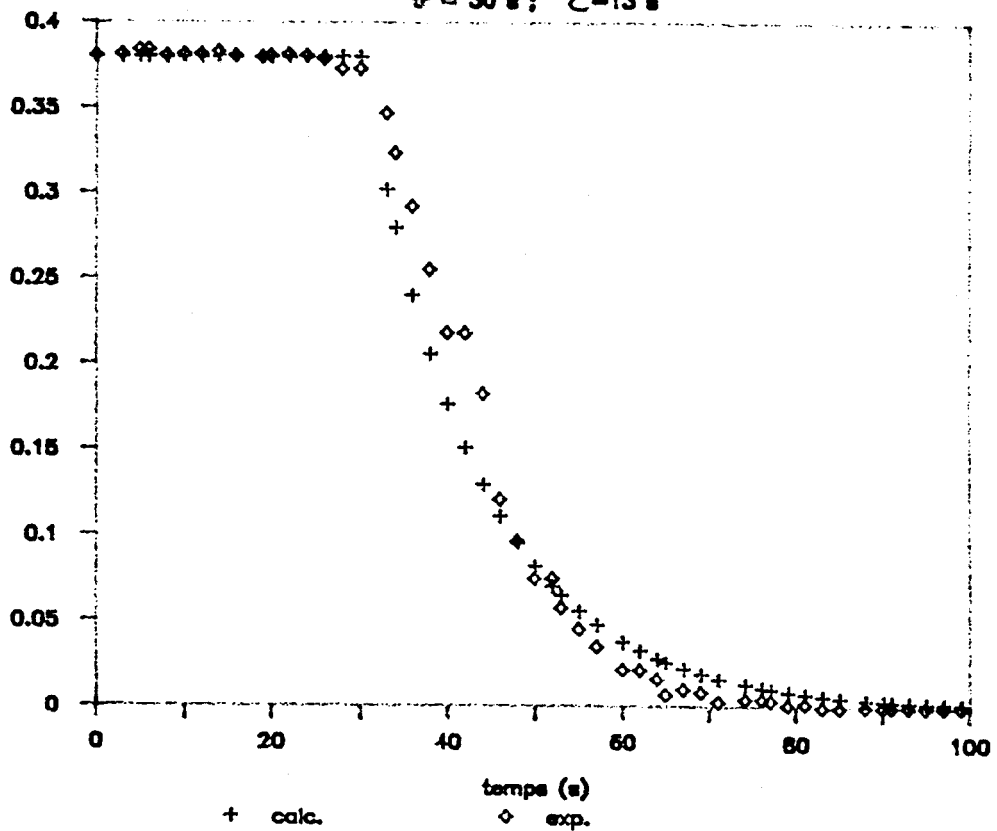
ligne gaz : CO2

$\tau = 20 \text{ s}$; $Z = 7.8 \text{ s}$



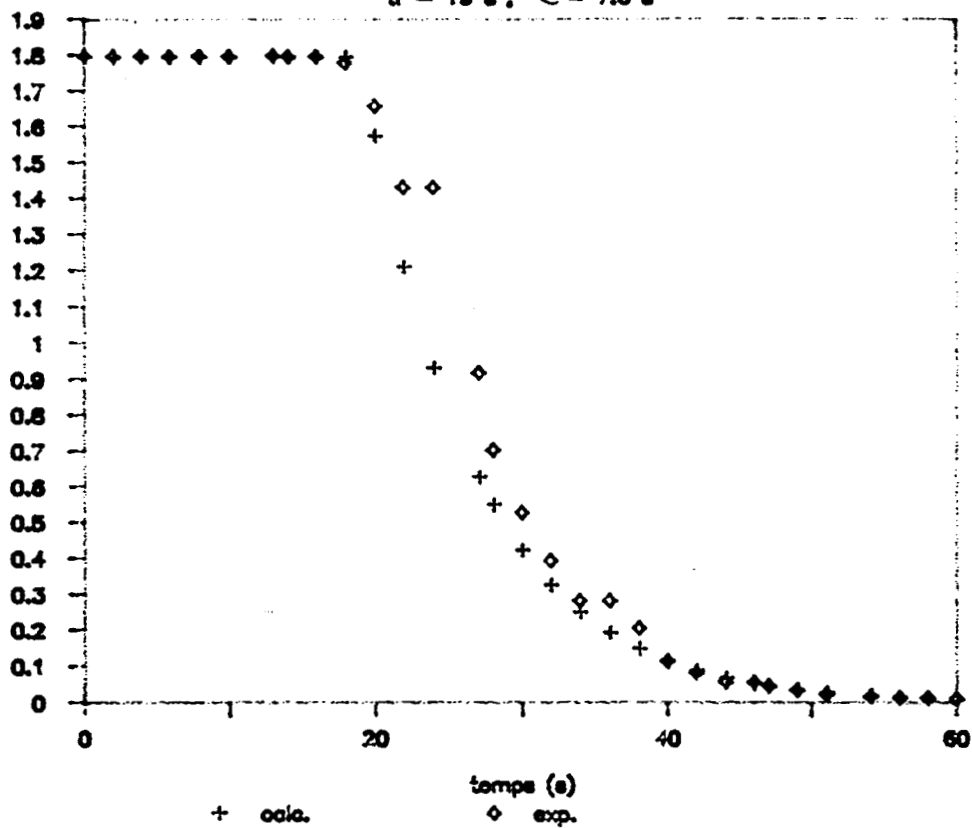
ligne gaz : CO

$\tau = 30 \text{ s}$; $Z = 13 \text{ s}$



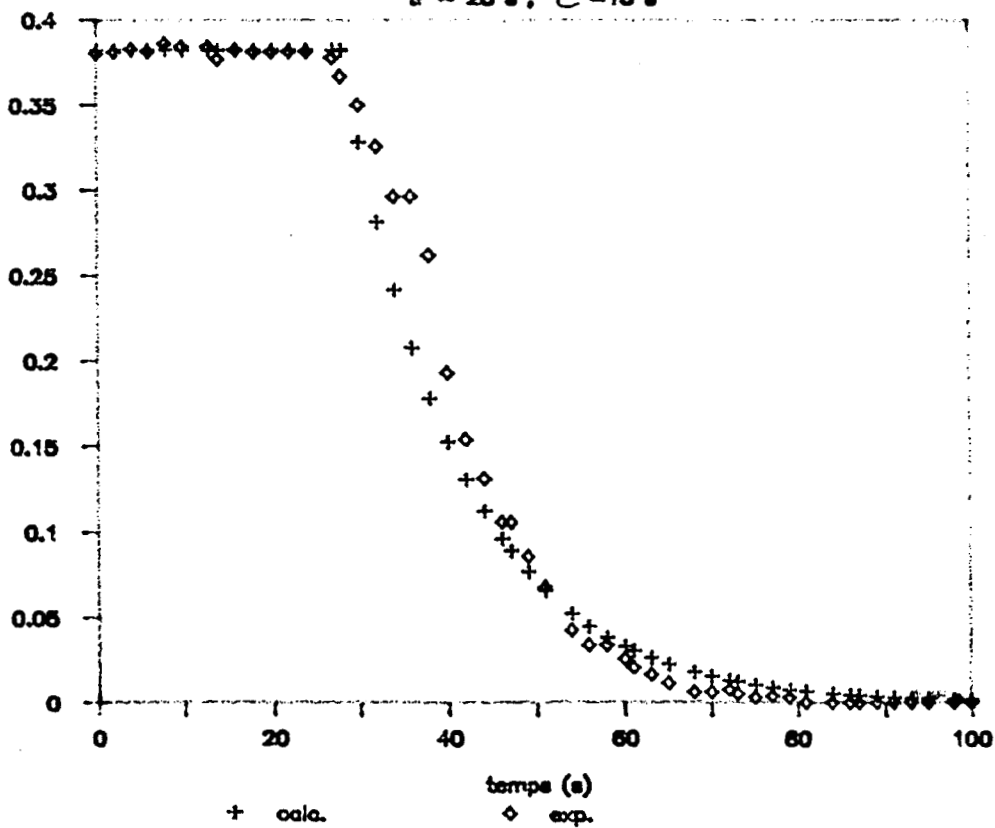
ligne gaz : CO2

$t_r = 19 \text{ s}$; $\tau = 7.6 \text{ s}$



ligne gaz : CO

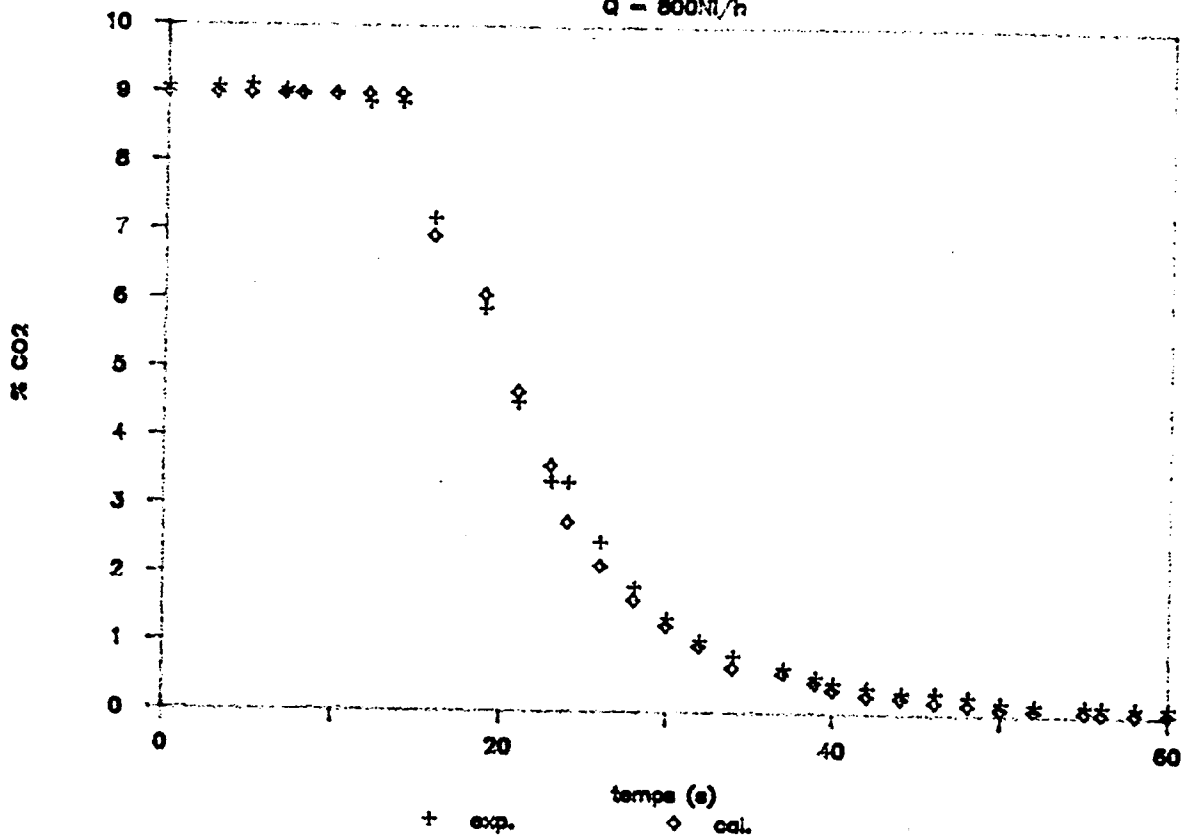
$t_r = 28 \text{ s}$; $\tau = 13 \text{ s}$



ENSEMBLE : LIT FLUIDISE ET LIGNE D'ANALYSE

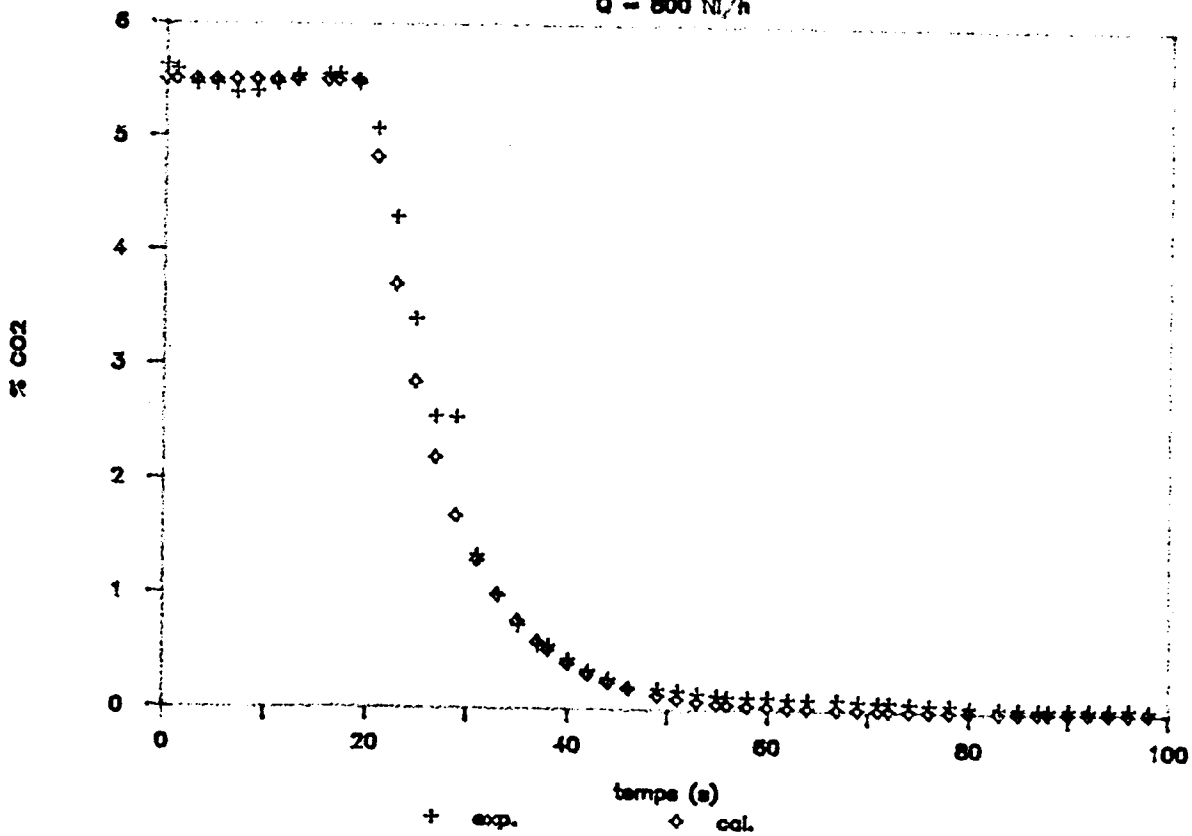
$t_r = 19 \text{ s}$; $\tau = 7.6 \text{ s}$

$Q = 800 \text{ NI/h}$



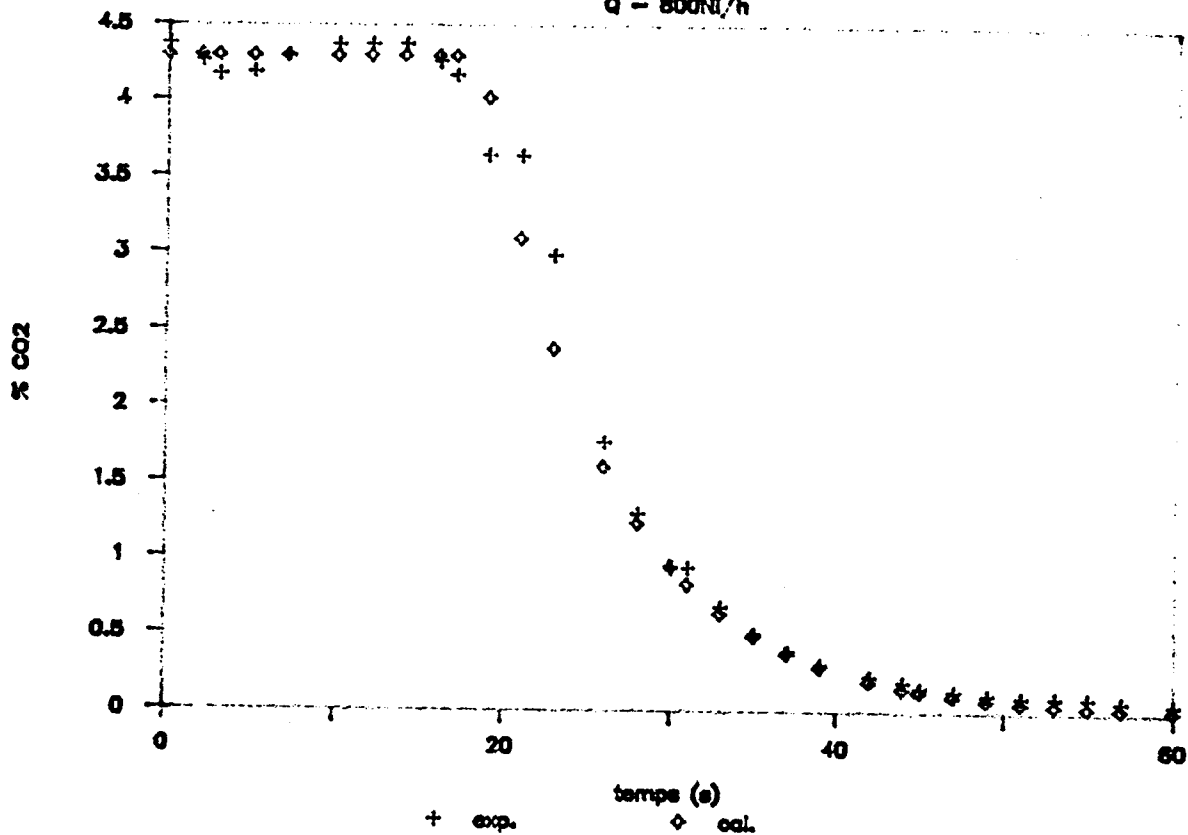
$t_r = 20 \text{ s}$; $\tau = 7.6 \text{ s}$

$Q = 800 \text{ NI/h}$



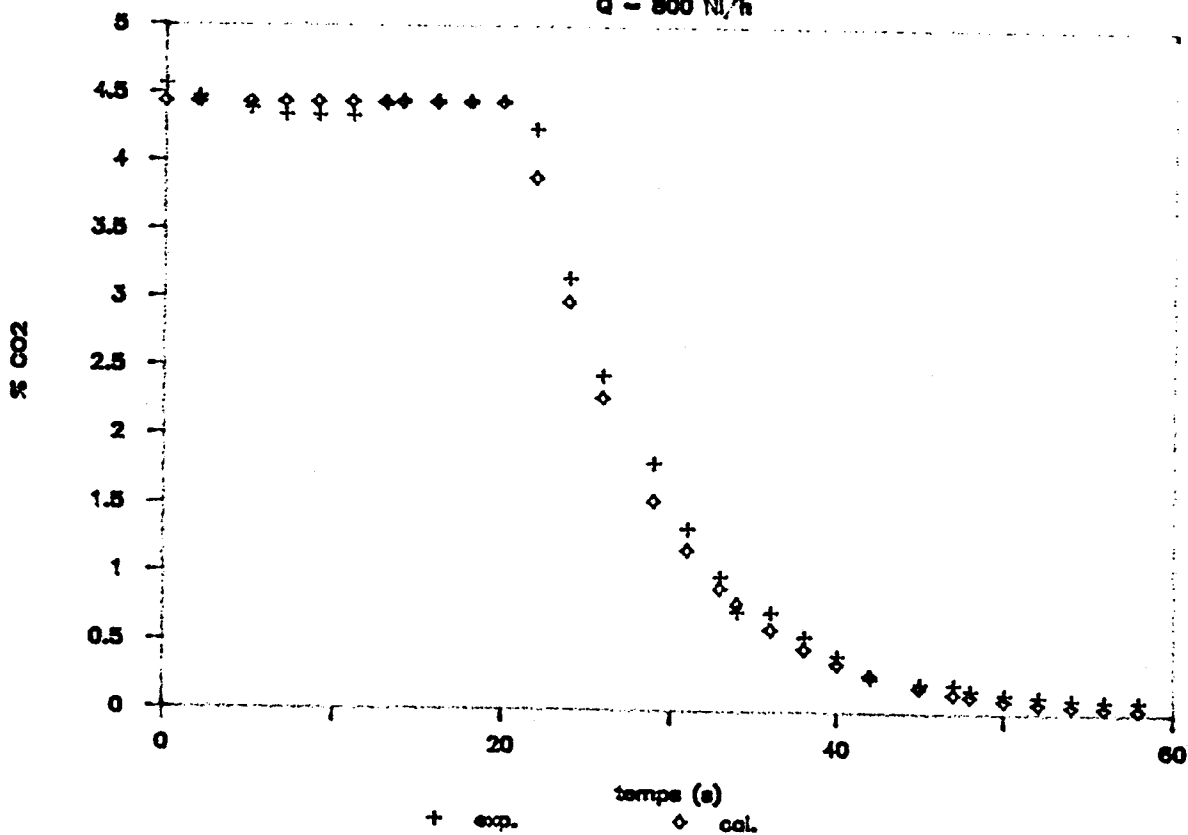
$t_r = 18.5 \text{ s}$; $\tau = 7.6 \text{ s}$

$Q = 800 \text{ Ni/h}$



$t_r = 21 \text{ s}$; $\tau = 7.5 \text{ s}$

$Q = 800 \text{ Ni/h}$



**ANNEXE 5 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE
DES SABLES**

GRAVIER DE SEINE			
Maille (mm)	d_i (mm)	x_i (%)	x_i/d_i
20			
10	15	0	0
5	7,5	0	0
2	3,5	2,21	0,6
1	1,5	95,01	63,3
0,5	0,75	2,58	3,4
0,25	0,375	0,11	0,3
0,1	0,175	0,03	0,2
0,05	0,075	0	0
0	0,025	0,06	2,4
$d_m = 1423 \mu\text{m}$			

SABLE DU RHIN

Maille (mm)	di (mm)	xi (%)	xi/di
20			
10	15	0	0
5	7,5	0,65	0,1
2	3,5	9,52	2,7
1	1,5	15,71	10,5
0,5	0,75	29,93	39,9
0,25	0,375	33,34	88,9
0,1	0,175	9,07	51,8
0,05	0,075	0,53	7,1
0	0,025	0,07	2,8

$d_m = 490,7 \mu\text{m}$

SABLE DE SEINE

Maille (mm)	di (mm)	xi (%)	xi/di
2			
1	1,5	0	0
0,5	0,75	1,3	1,73
0,315	0,4075	27,18	66,7
0,2	0,2575	56,99	221,32
0,1	0,15	14,03	93,53
0	0,05	0,45	9

$d_m = 255 \mu\text{m}$

SABLE FIN

Maille (mm)	di (mm)	xi (%)	xi/di
1			
0,5	0,75	0	0
0,25	0,375	0,05	0,133
0,1	0,175	78,1	446,29
0,05	0,075	20,9	278,67
0	0,025	0,9	36
$d_m = 131 \mu m$			

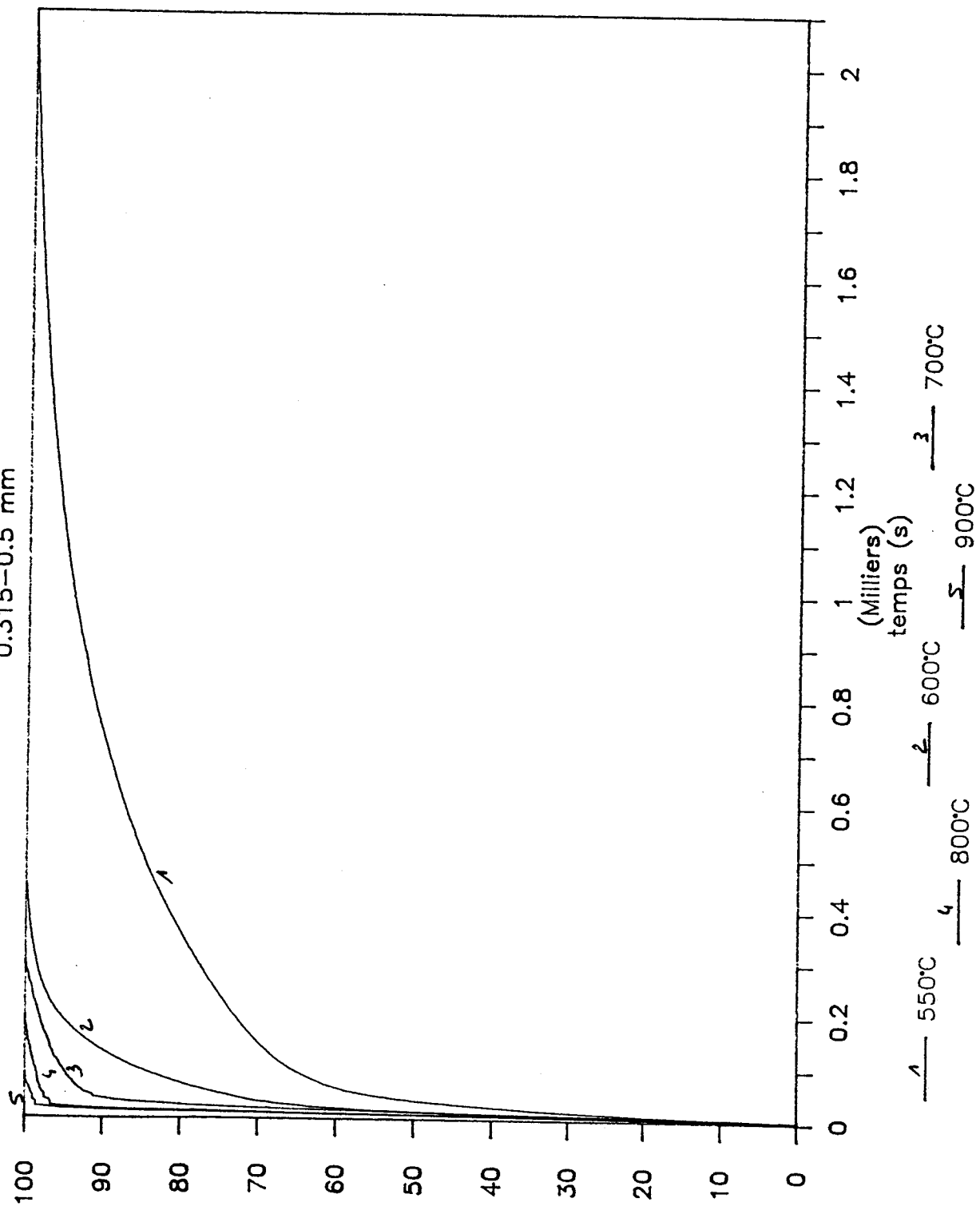
**ANNEXE 6 : INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR
LES COURBES DE CONVERSION :**

- Charbons bruts
- Charbons dévolatilisés à 950°C (mode I)
- Charbons dévolatilisés in-situ (mode II)

CHARBONS BRUTS

Flambant de Provence

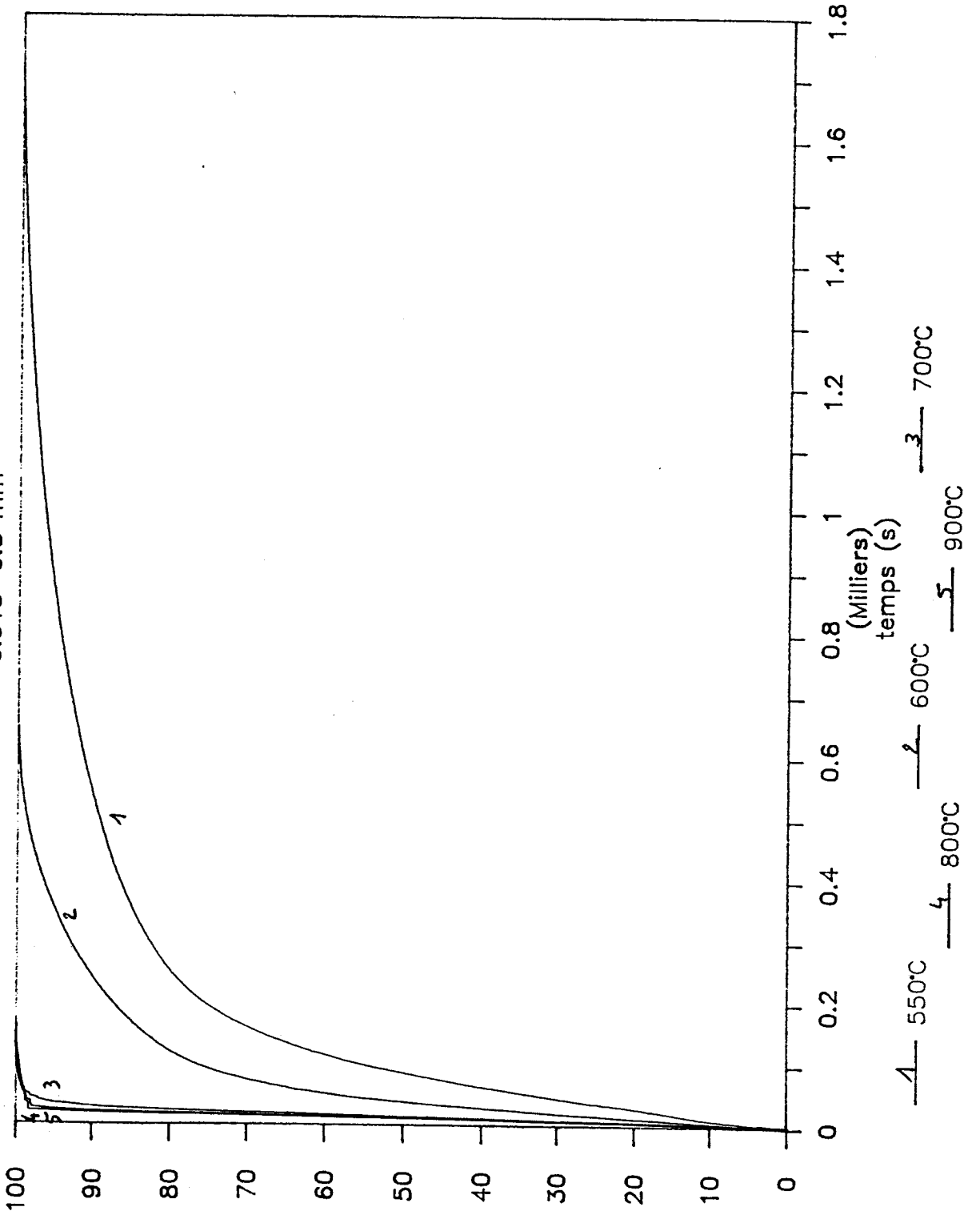
0.315-0.5 mm



% X

Ulan

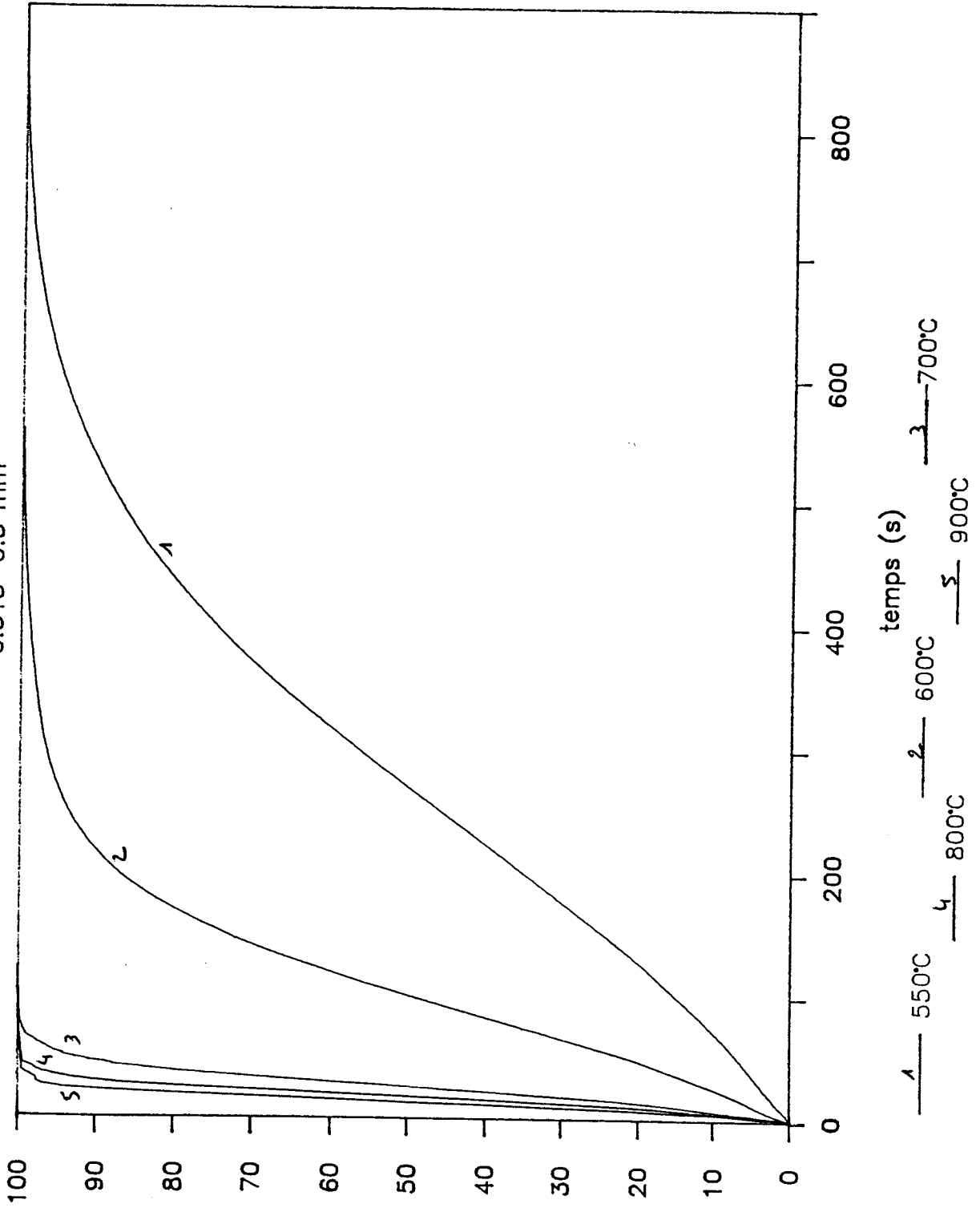
0.315-0.5 mm



X

1/4 Gras du Gard

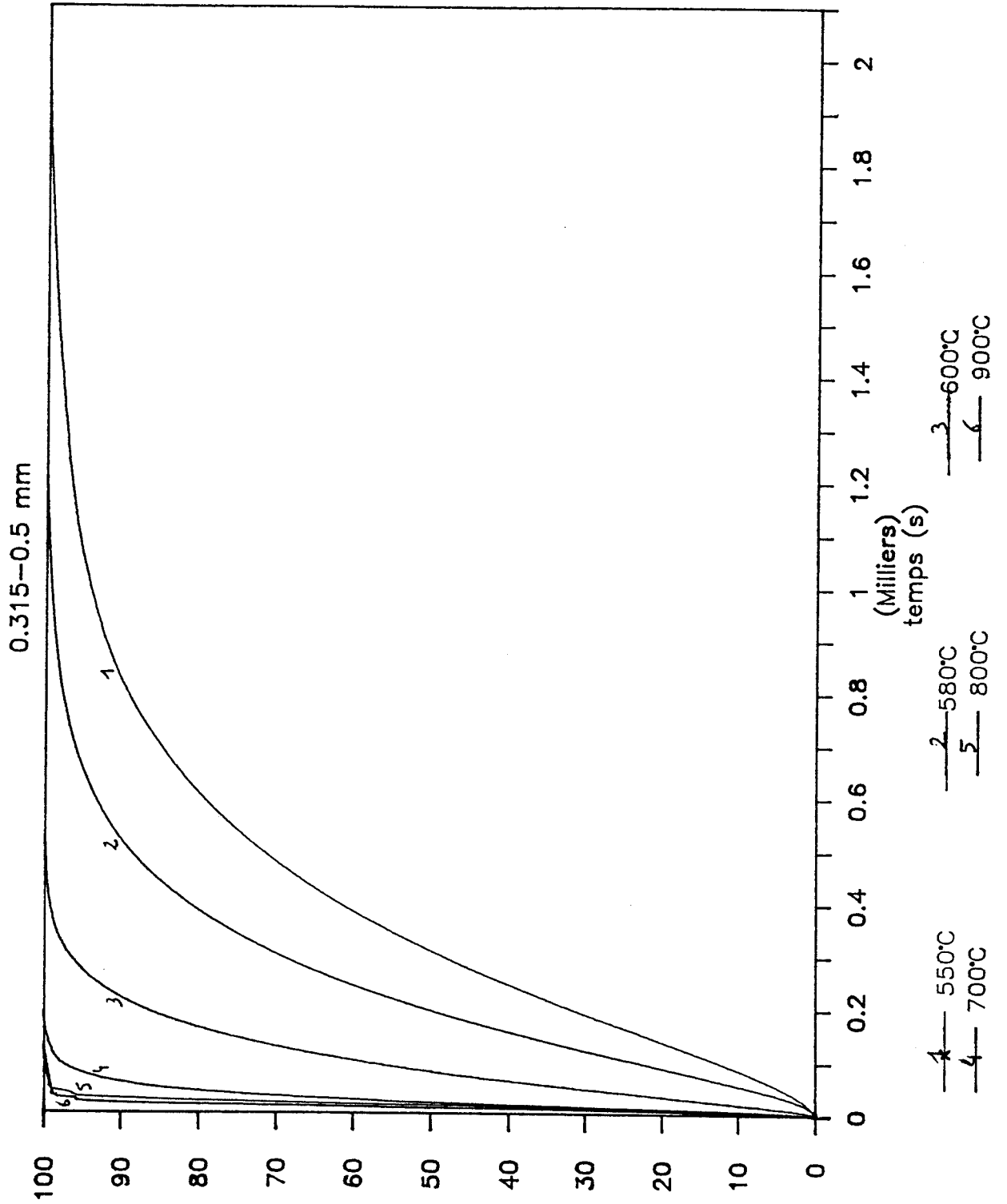
0.315-0.5 mm



% X

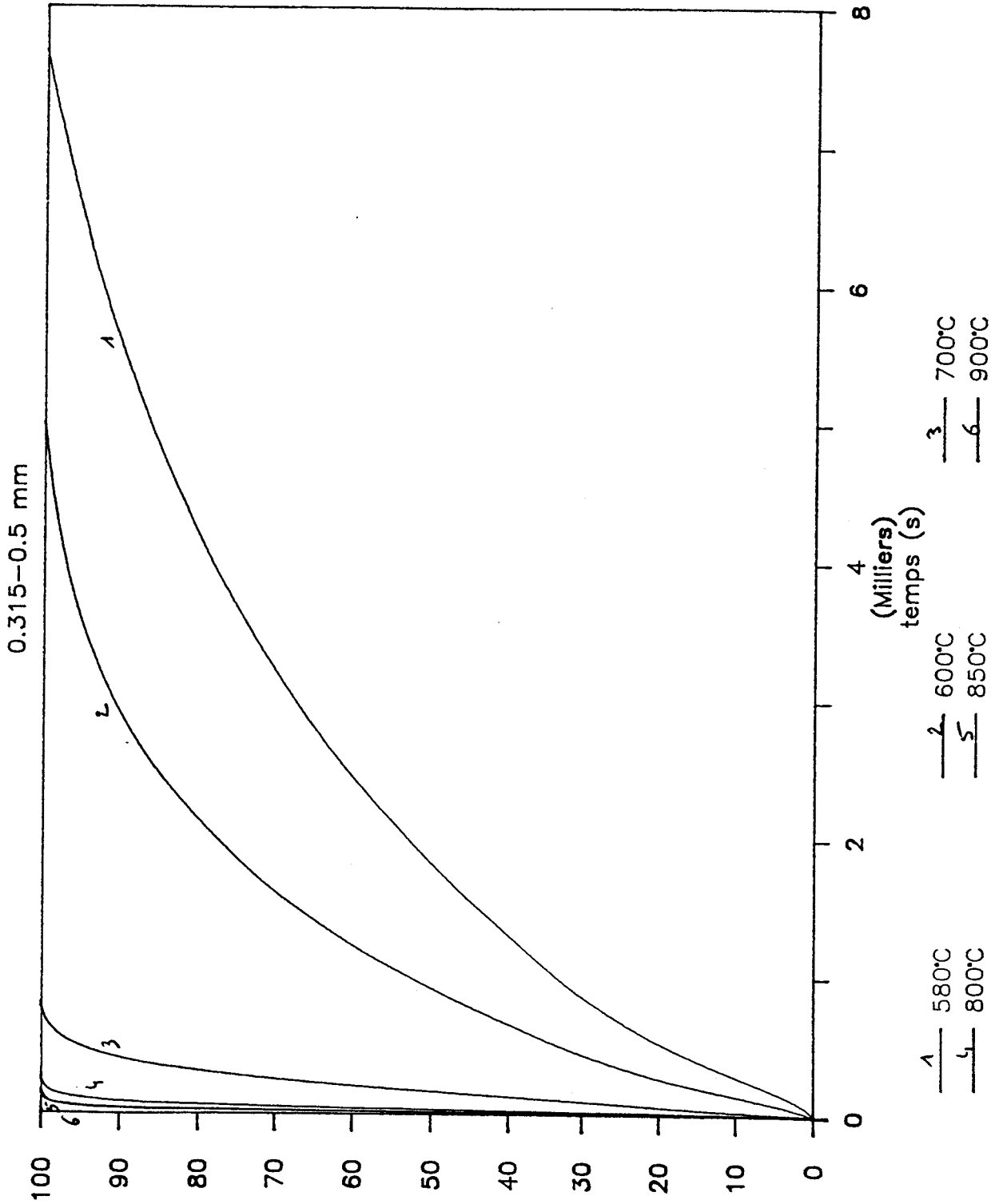
CHARBONS DEVOLATILISES A 950°C (MODE I)

F. de Provence dévolatilisé à 950°C





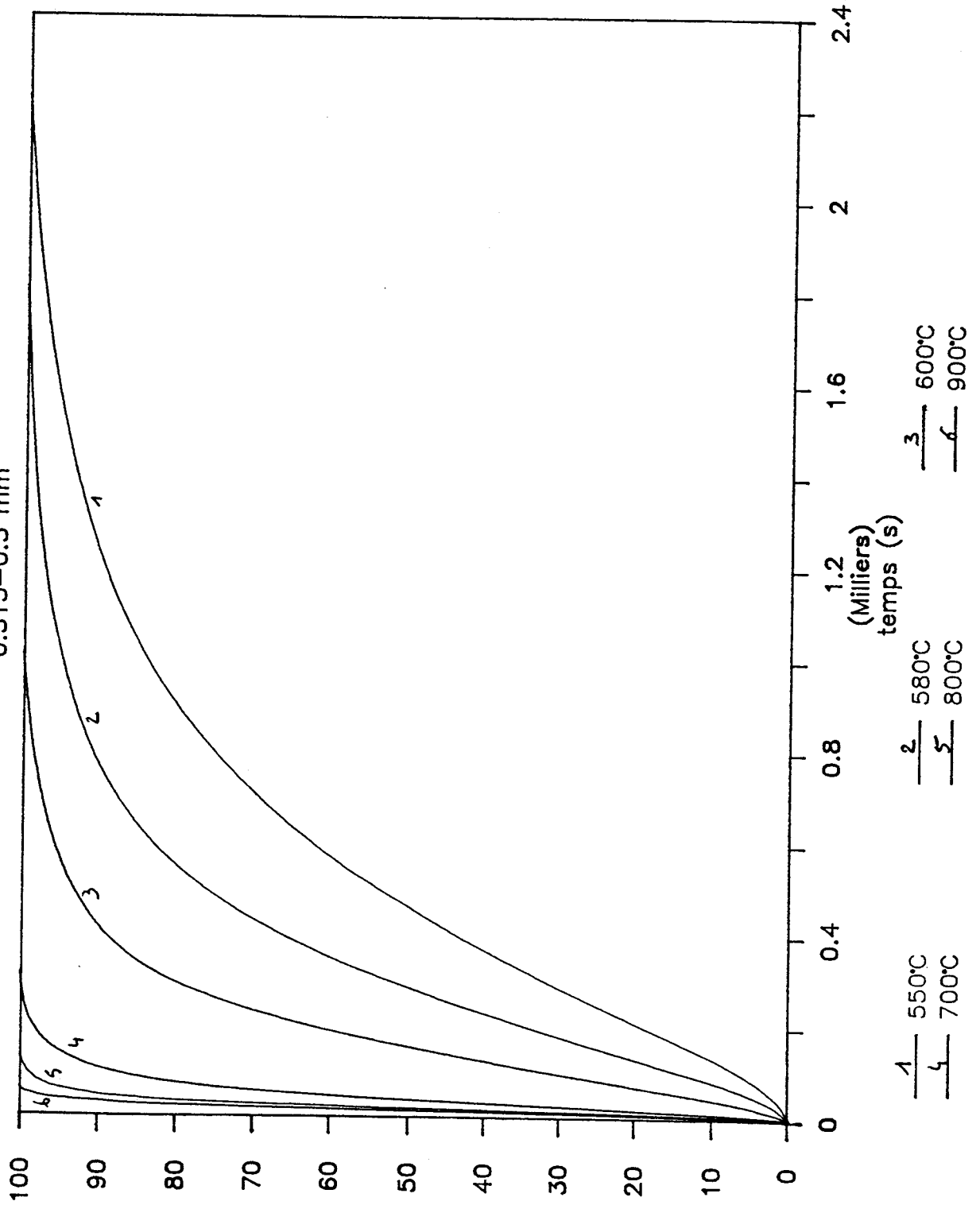
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C



N° X

Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm

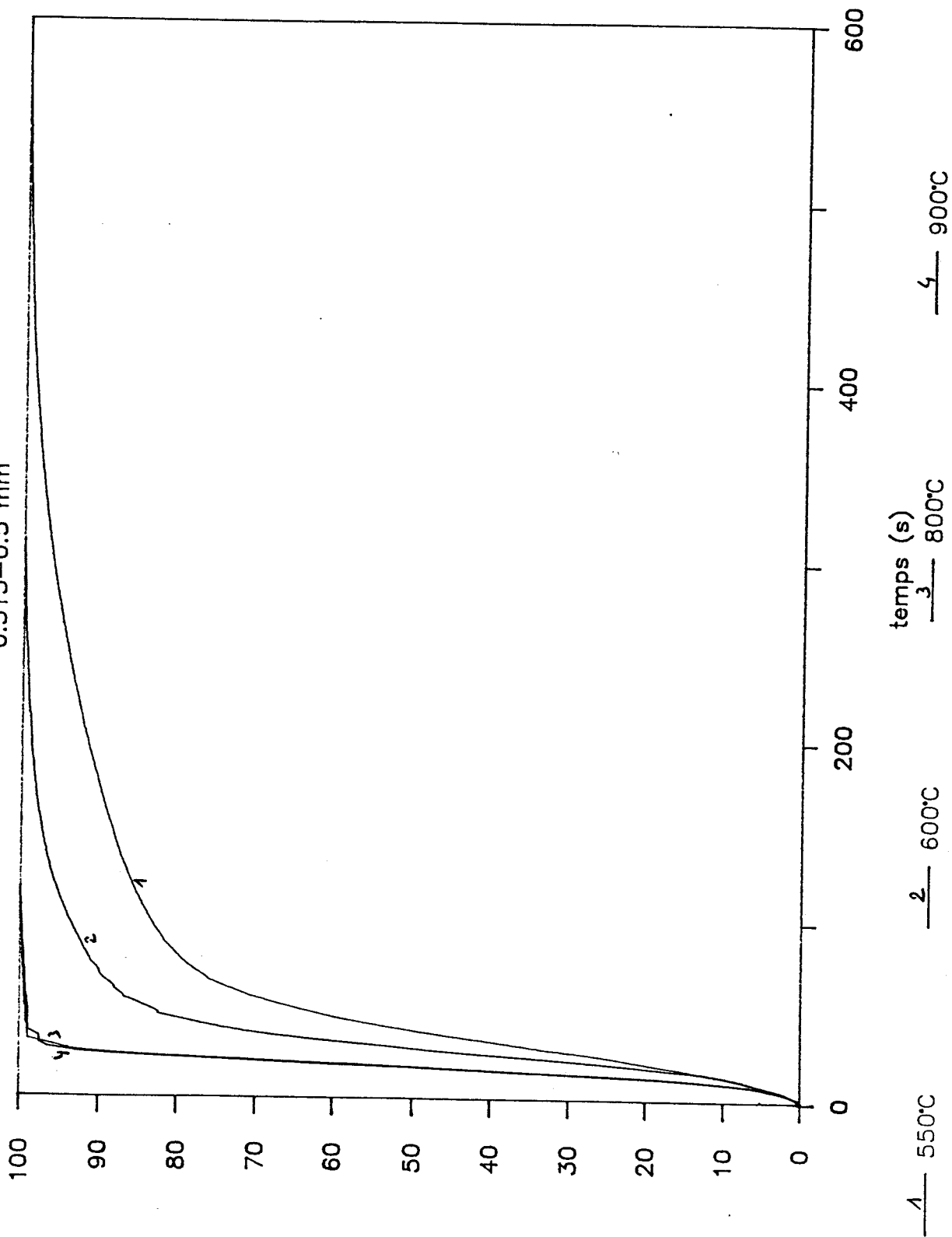


% X

CHARBONS DEVOLATILISES IN-SITU (MODE II)

F. de Provence dévolatilisé in-situ

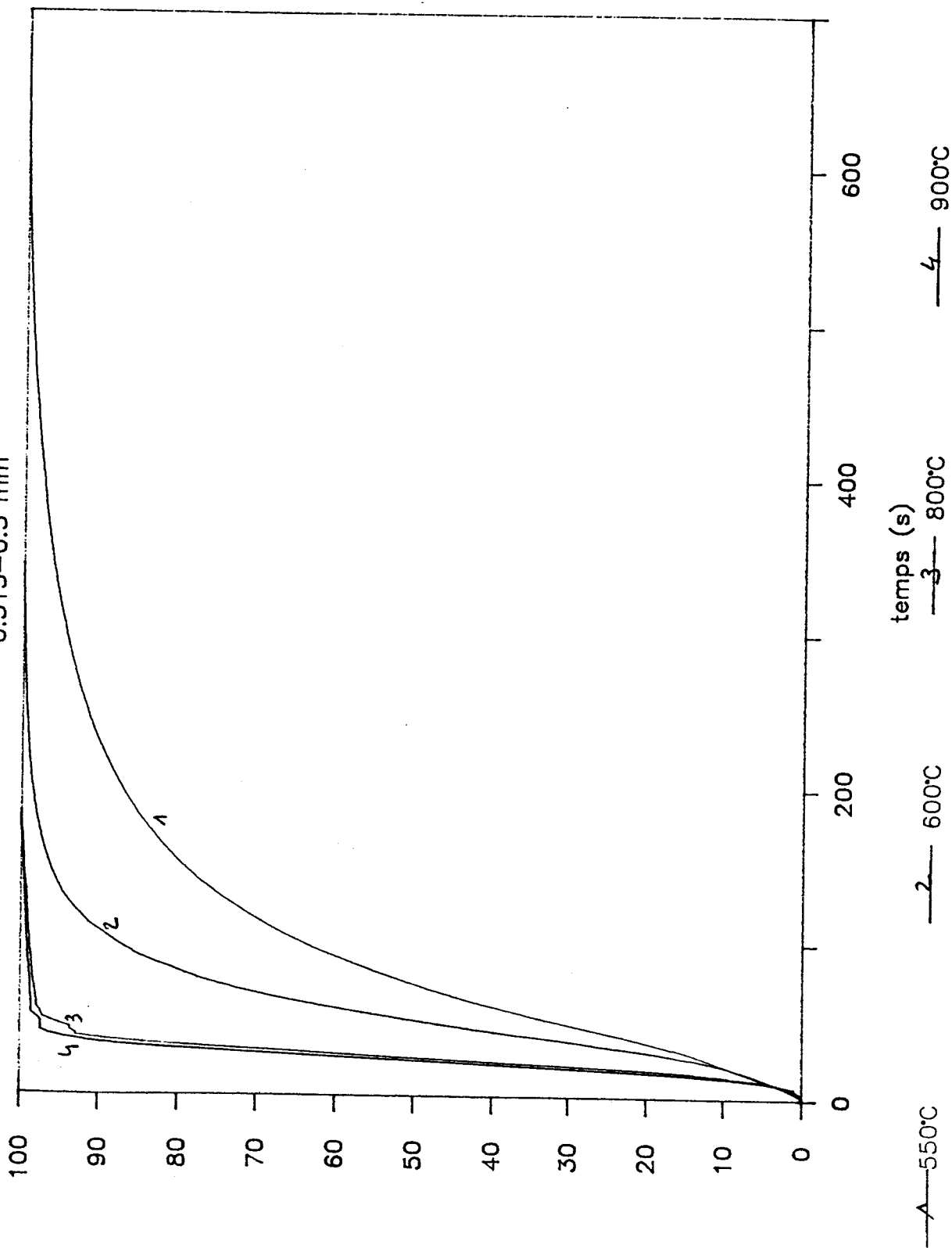
0.315-0.5 mm



% X

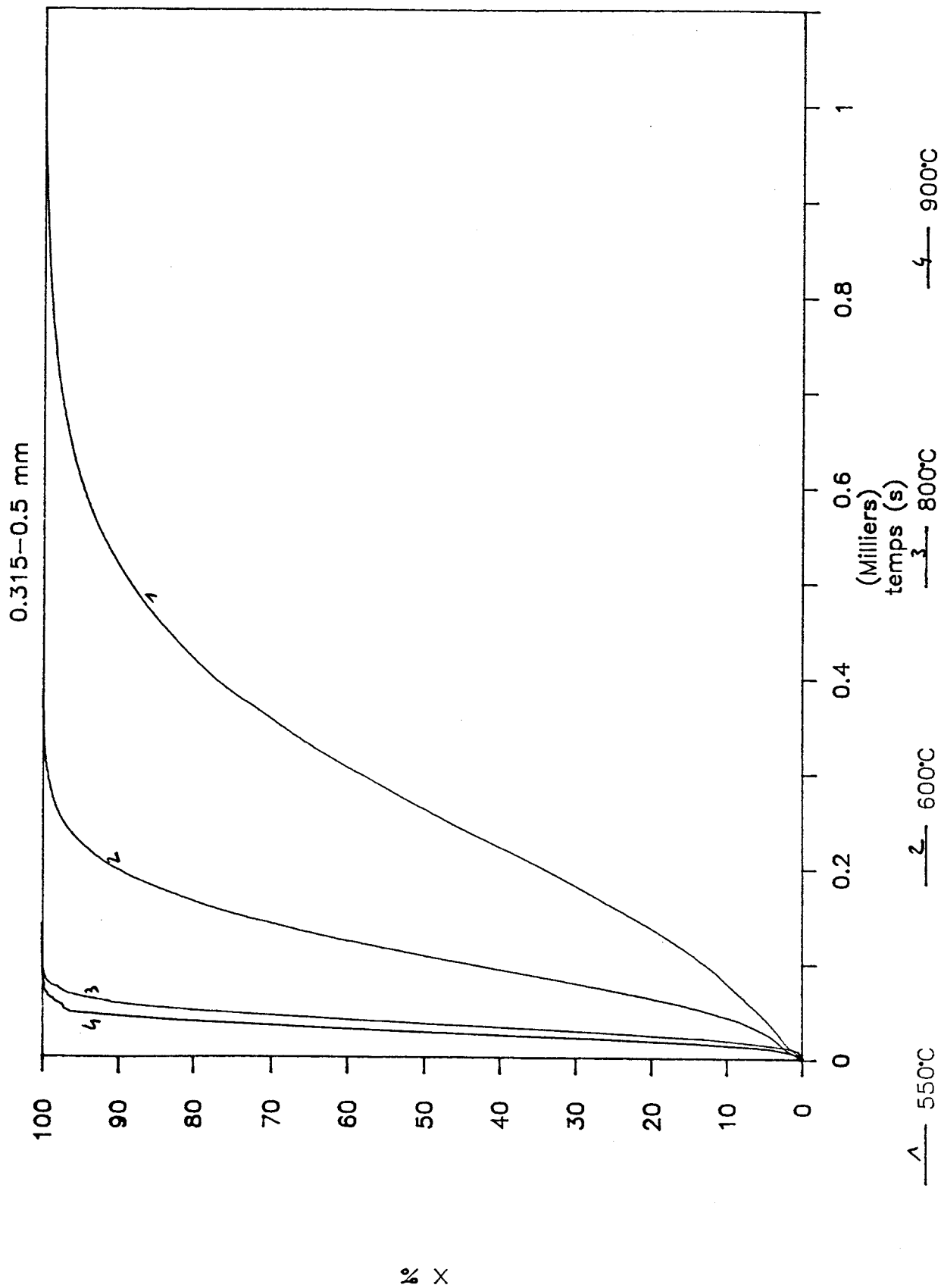
Ulan dévolatilisé in-situ

0.315-0.5 mm



% X

1/4 Gras du Gard dévolatilisé in-situ



% X

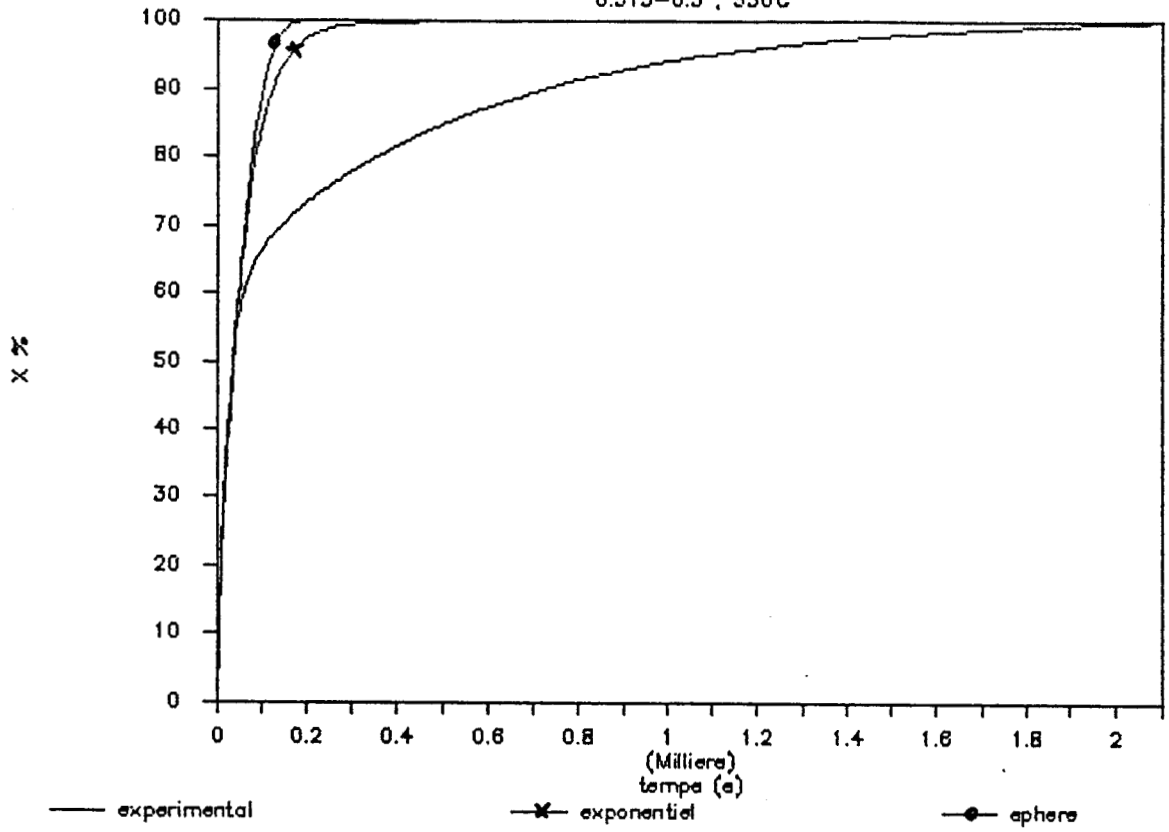
**ANNEXE 7 : COMPARAISON DES COURBES DE CONVERSION
EXPERIMENTALES ET DES COURBES DE
CONVERSION MODELISEES :**

- Charbons bruts
- Charbons dévolatilisés à 950°C (mode I)
- Charbons dévolatilisés in-situ (mode II)

CHARBONS BRUTS

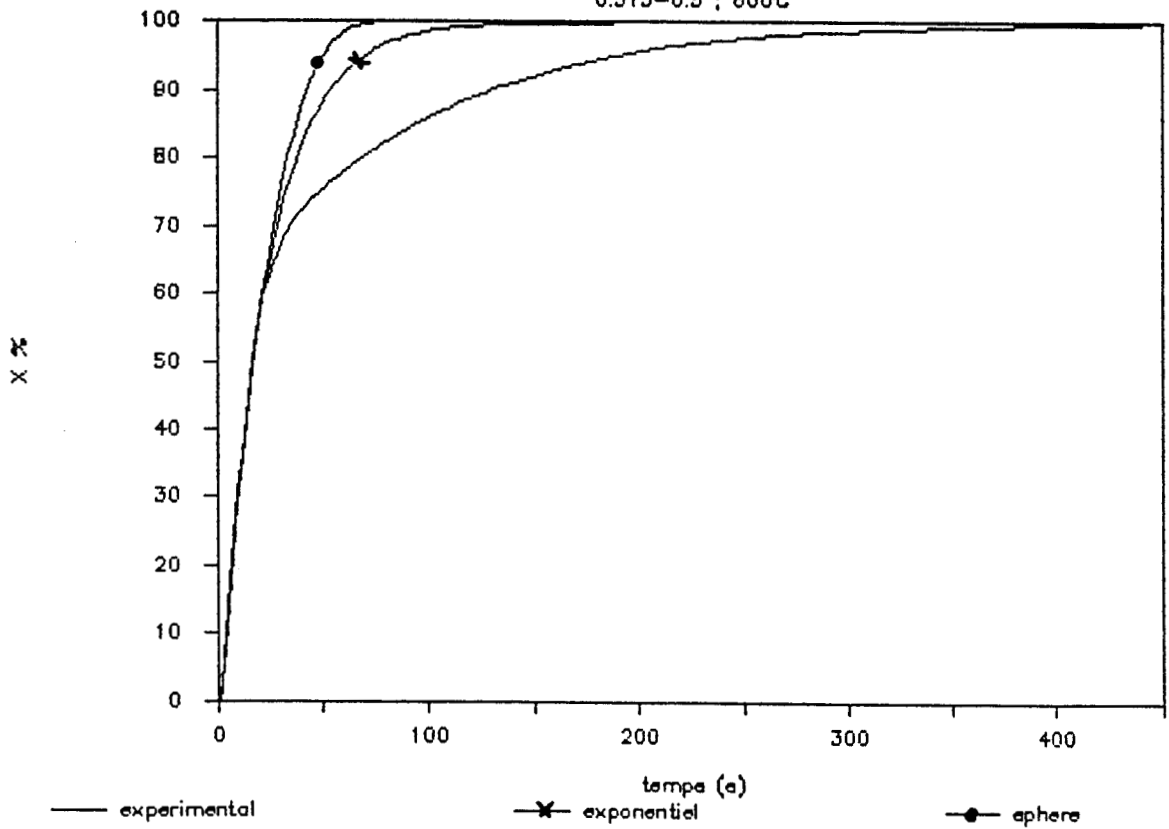
F. de Provence

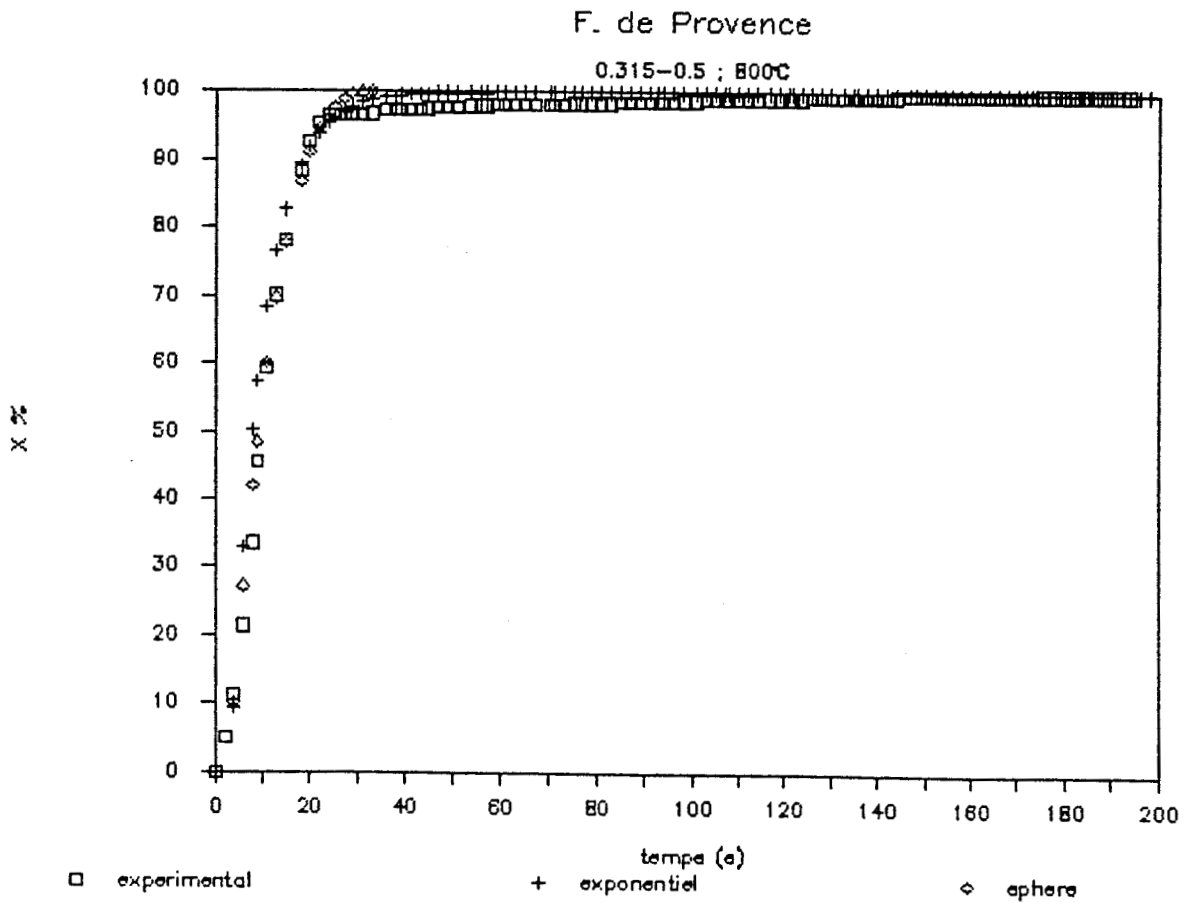
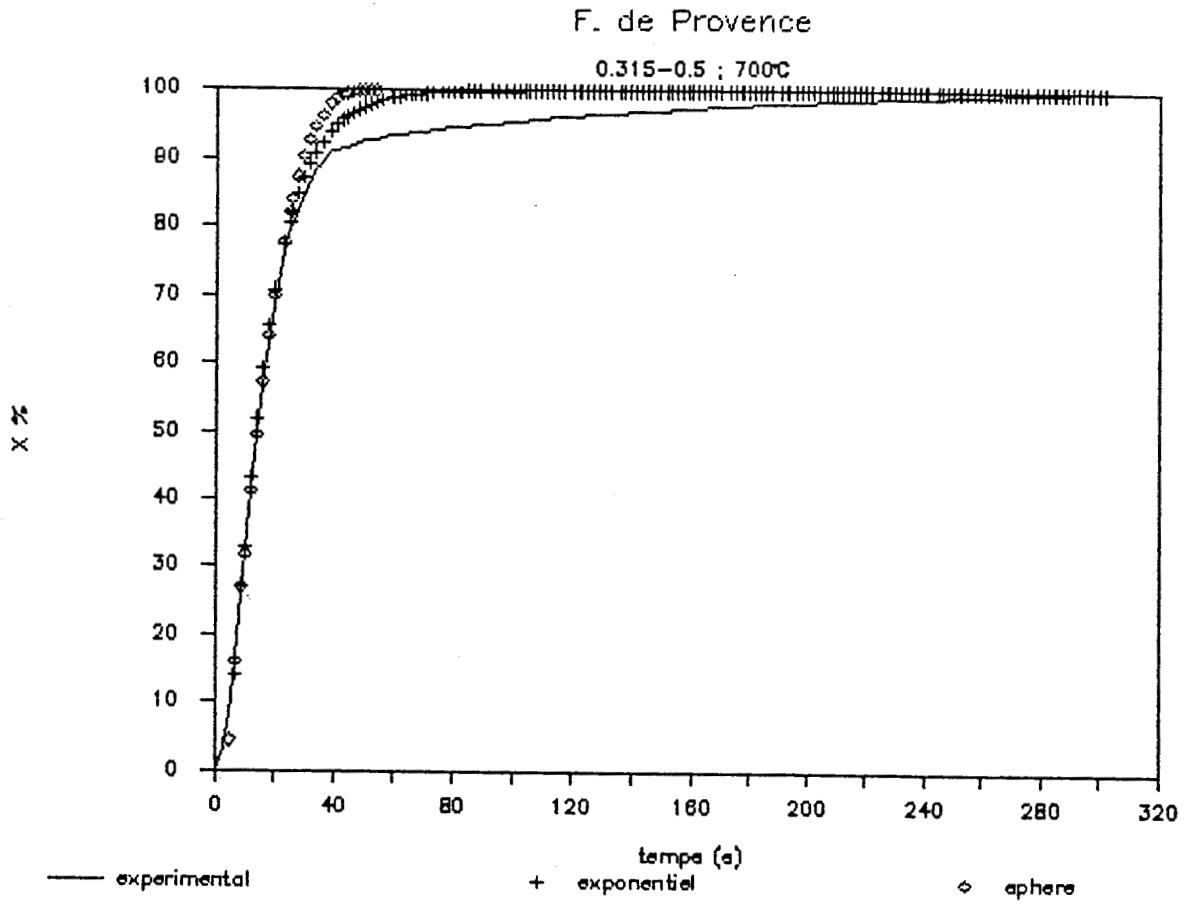
0.315-0.5 ; 550°C

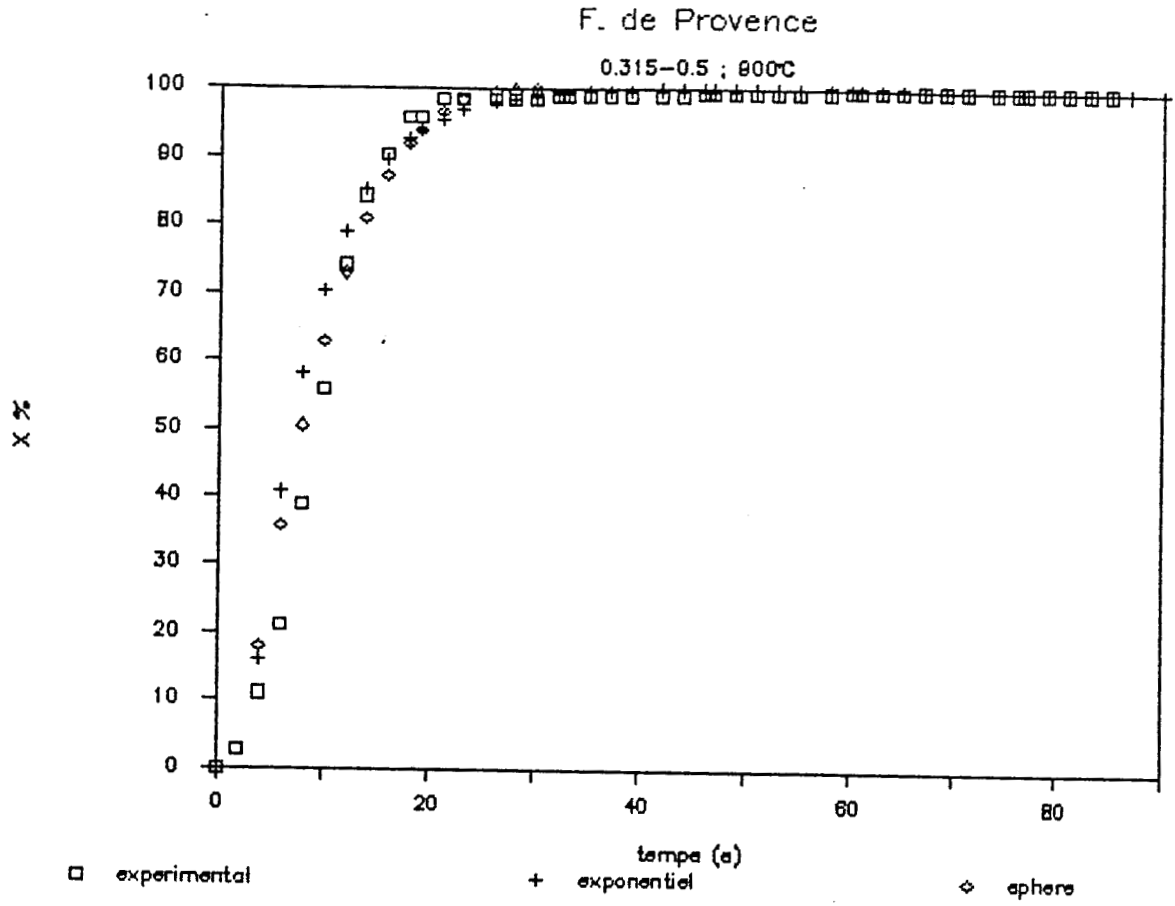


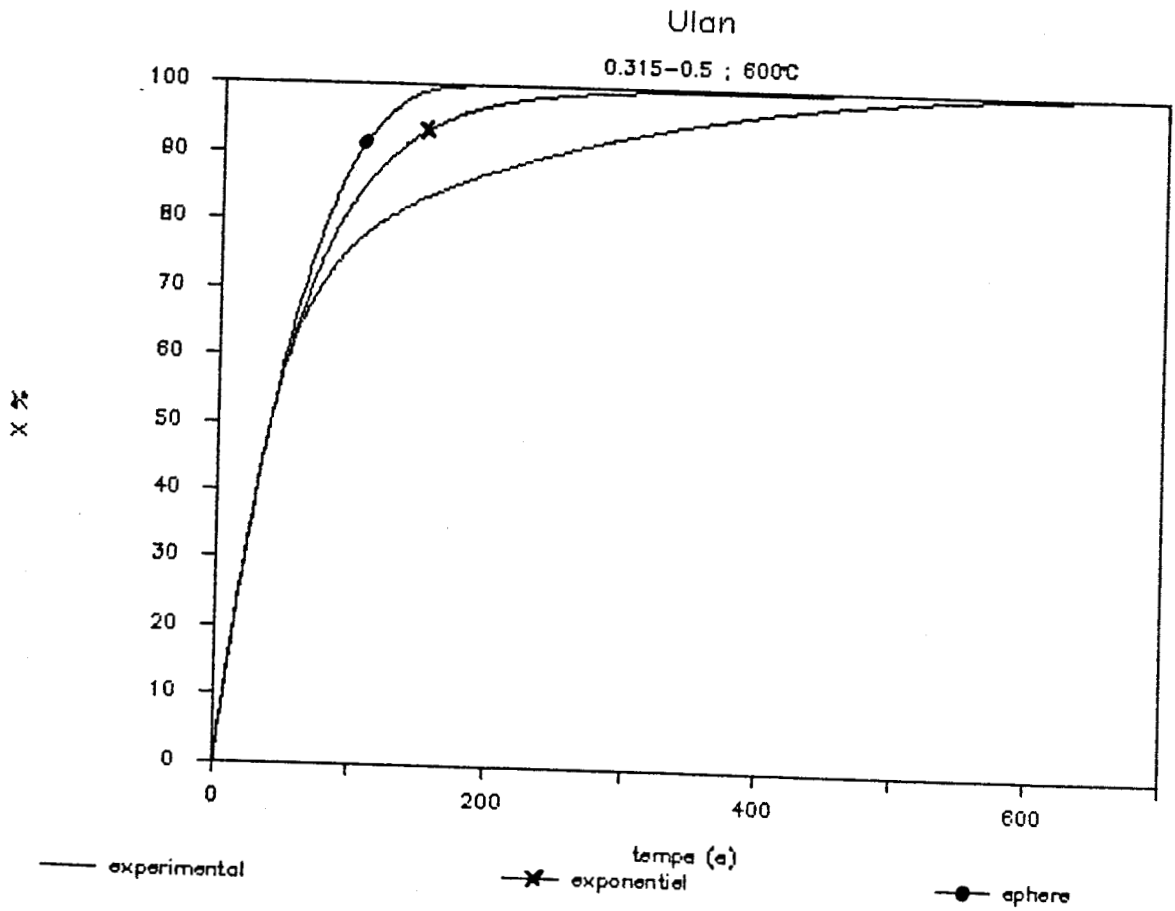
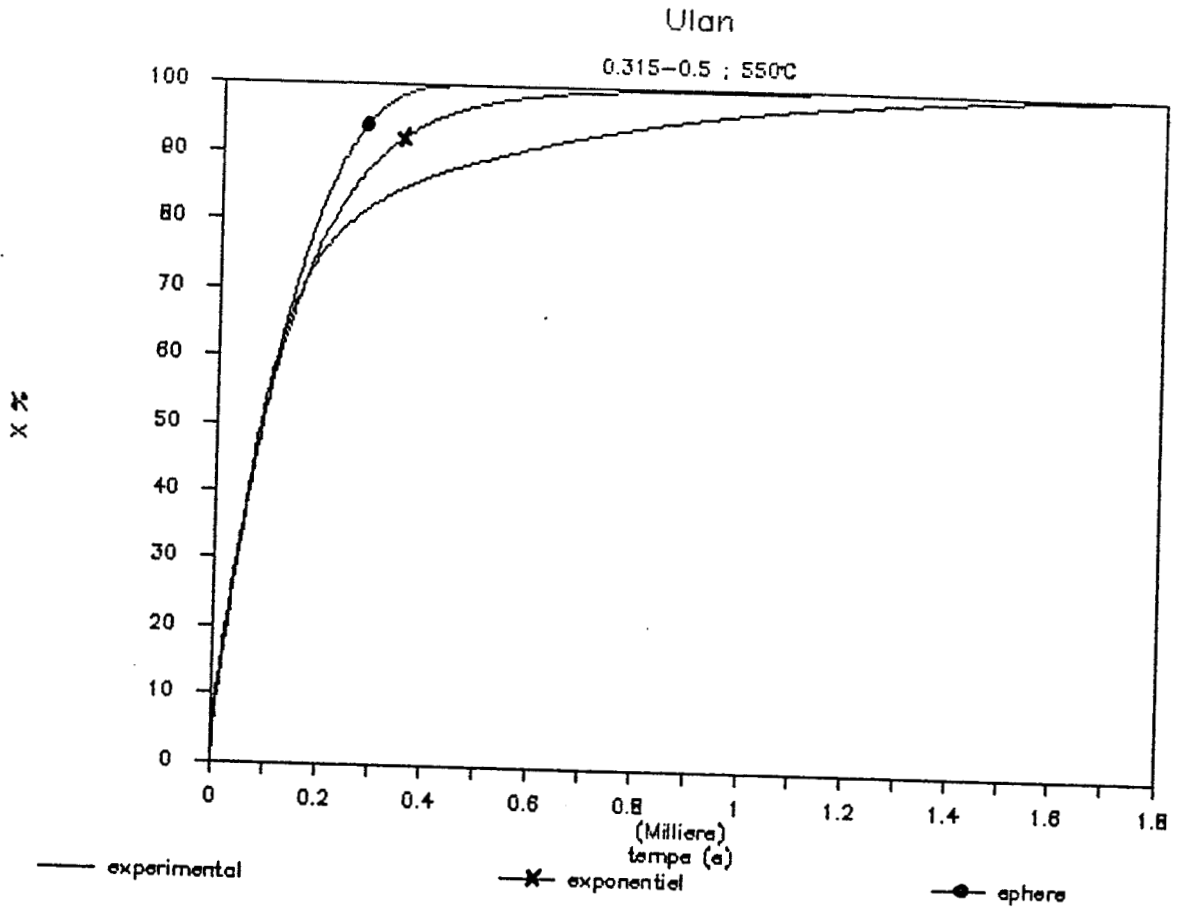
F. de Provence

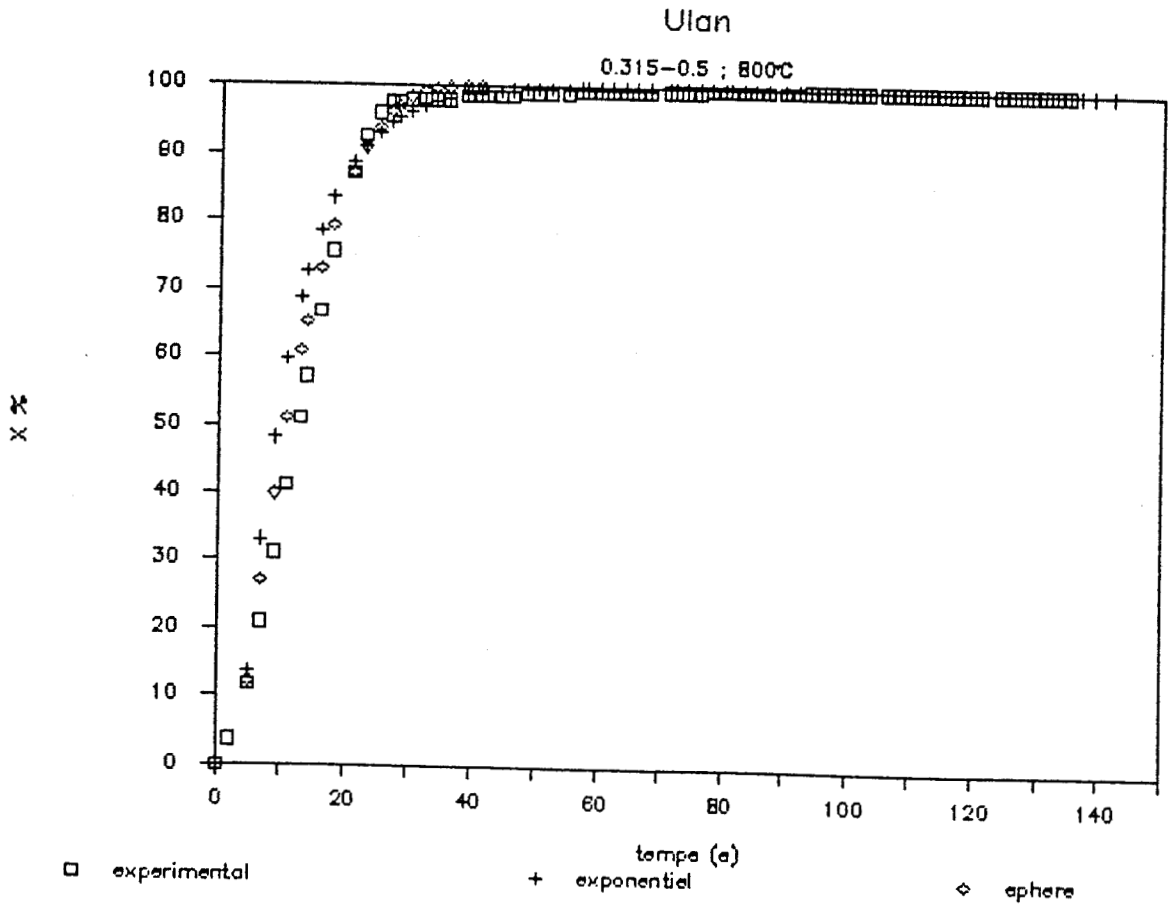
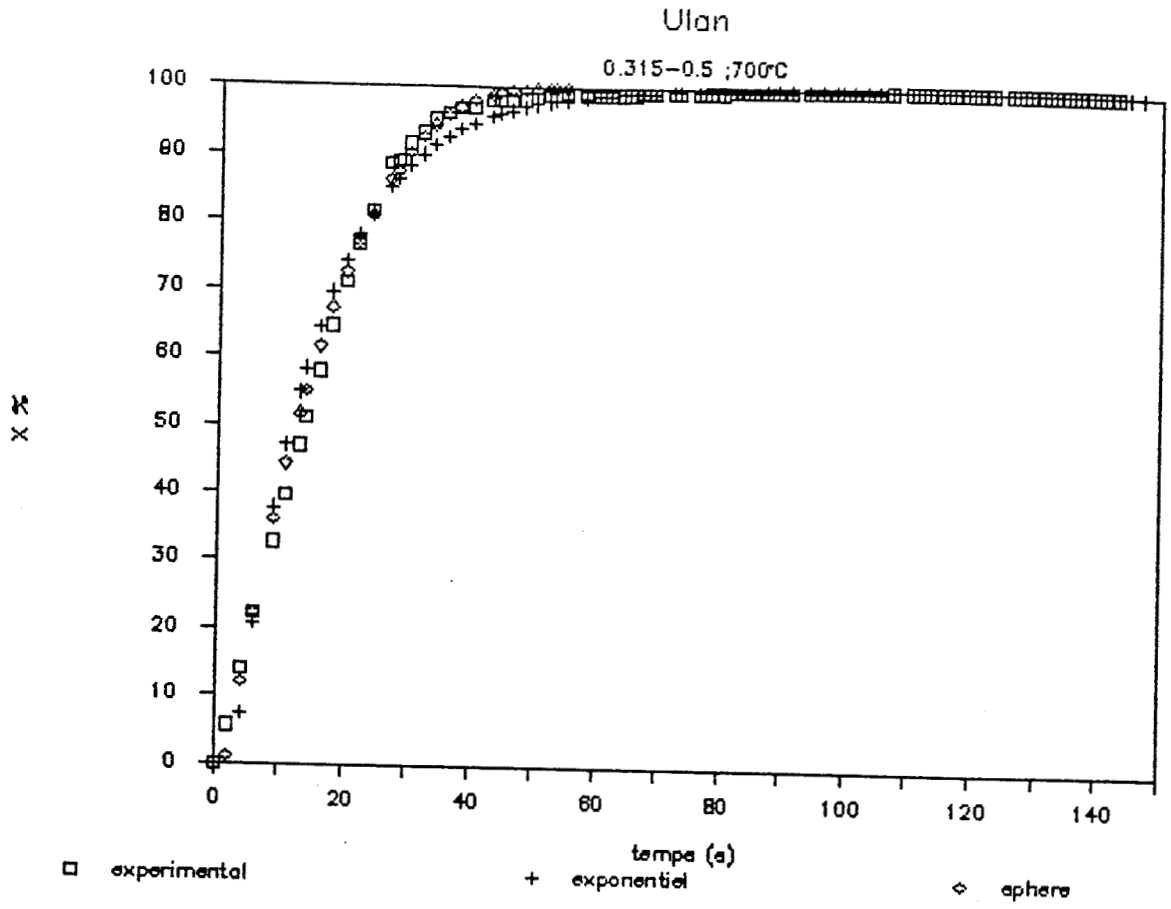
0.315-0.5 ; 600°C

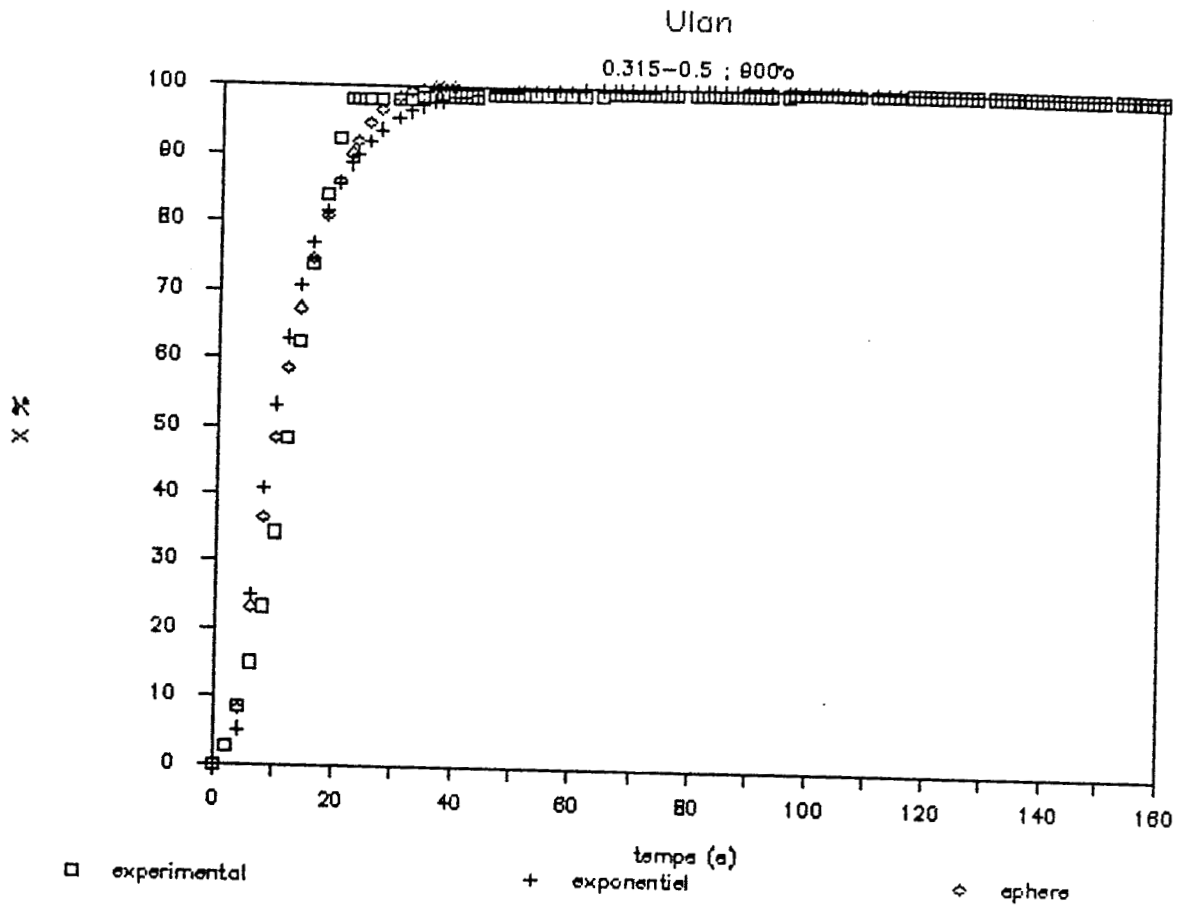


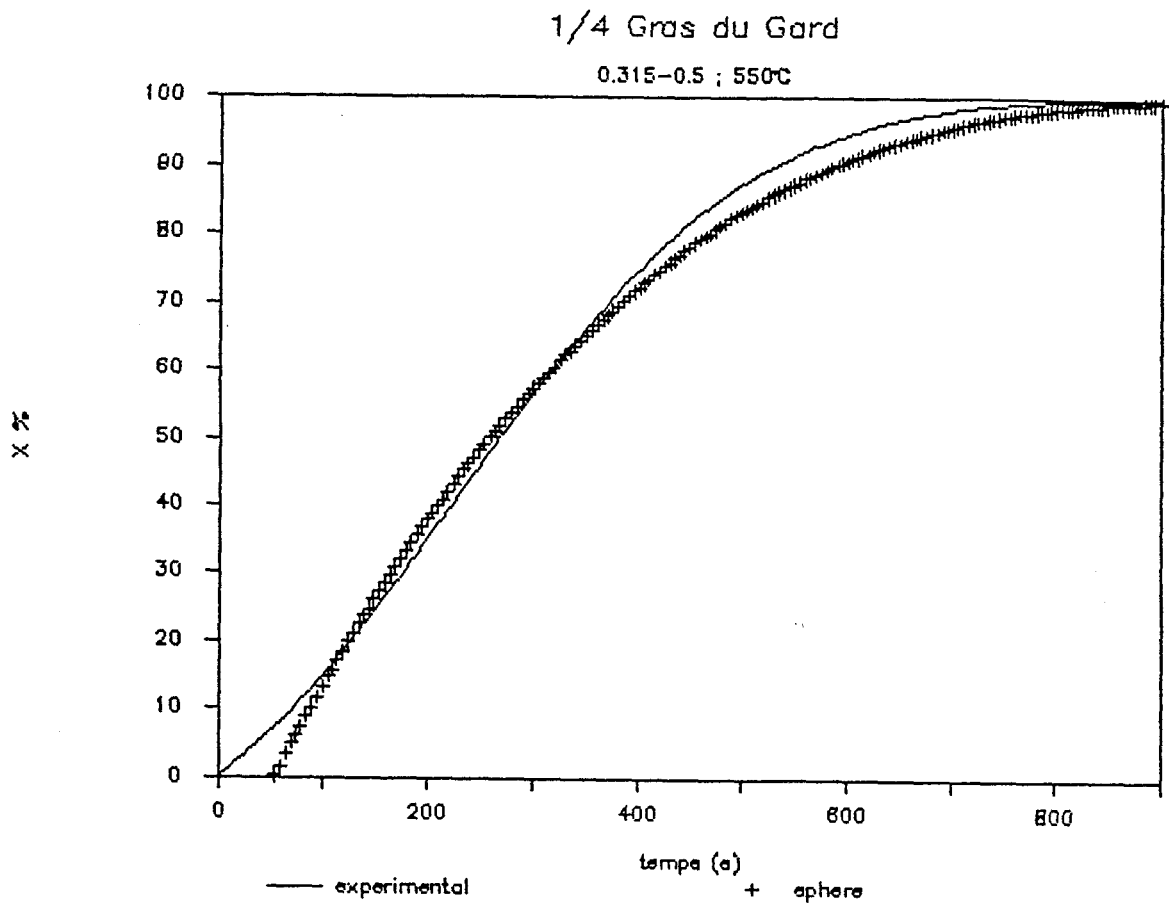






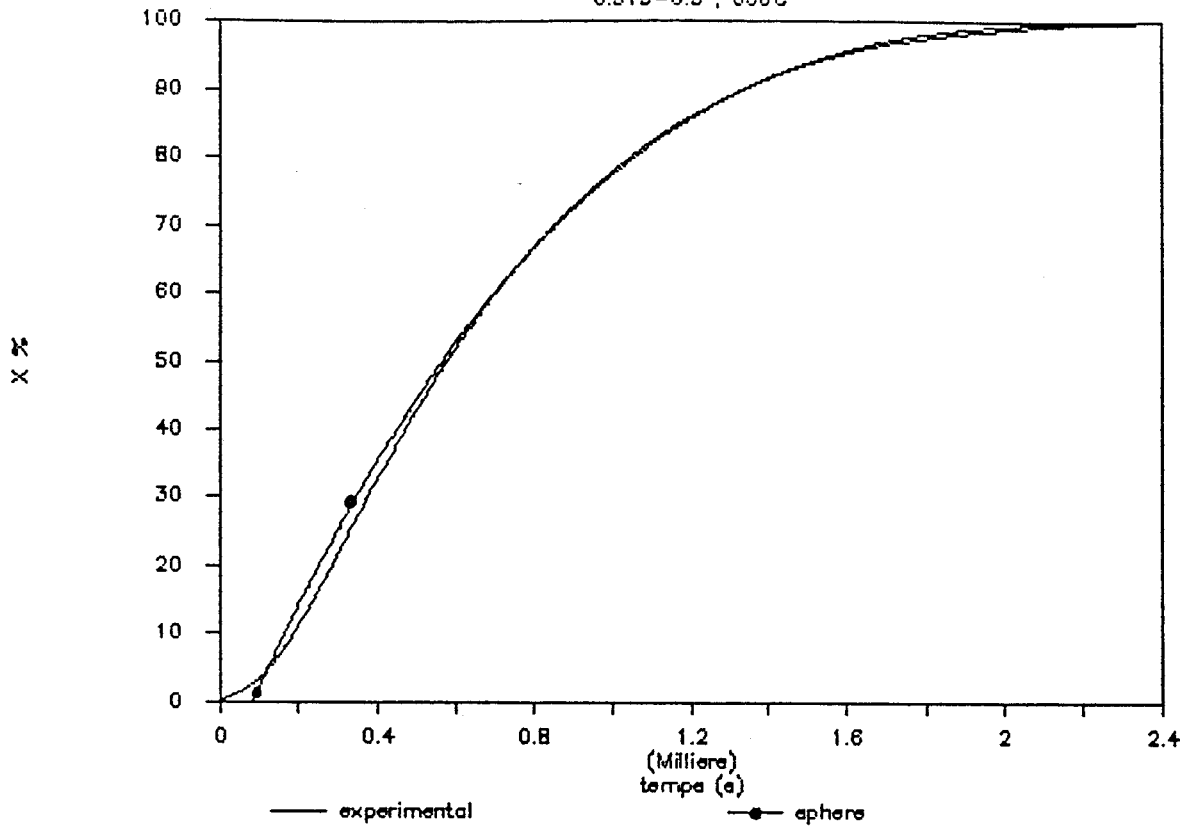






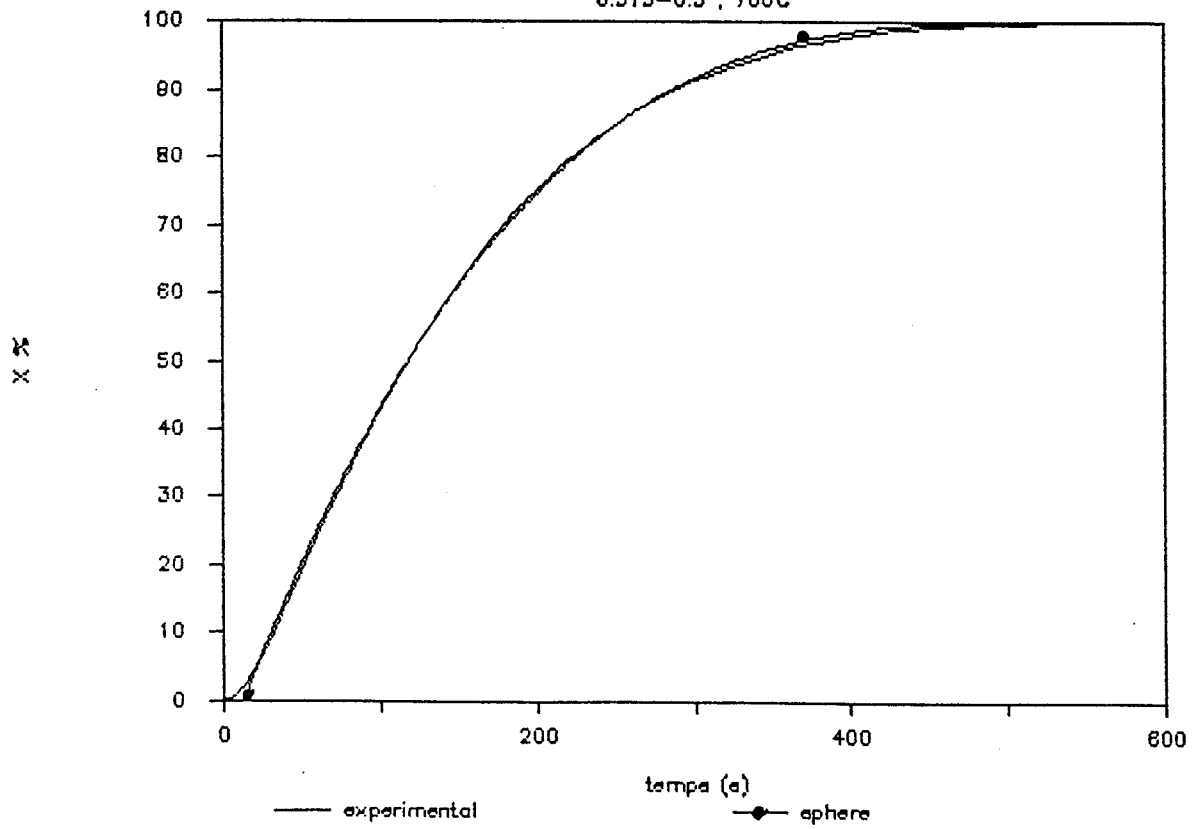
La Mure

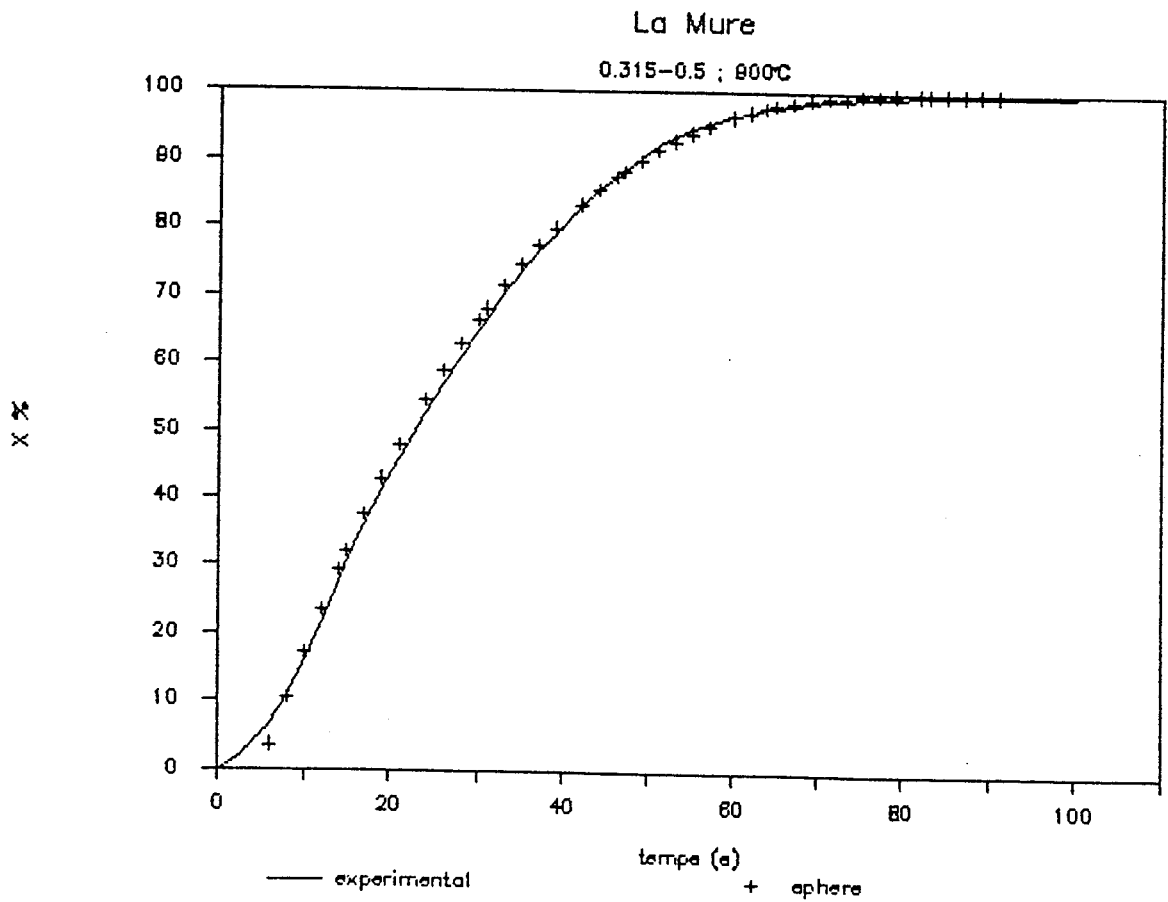
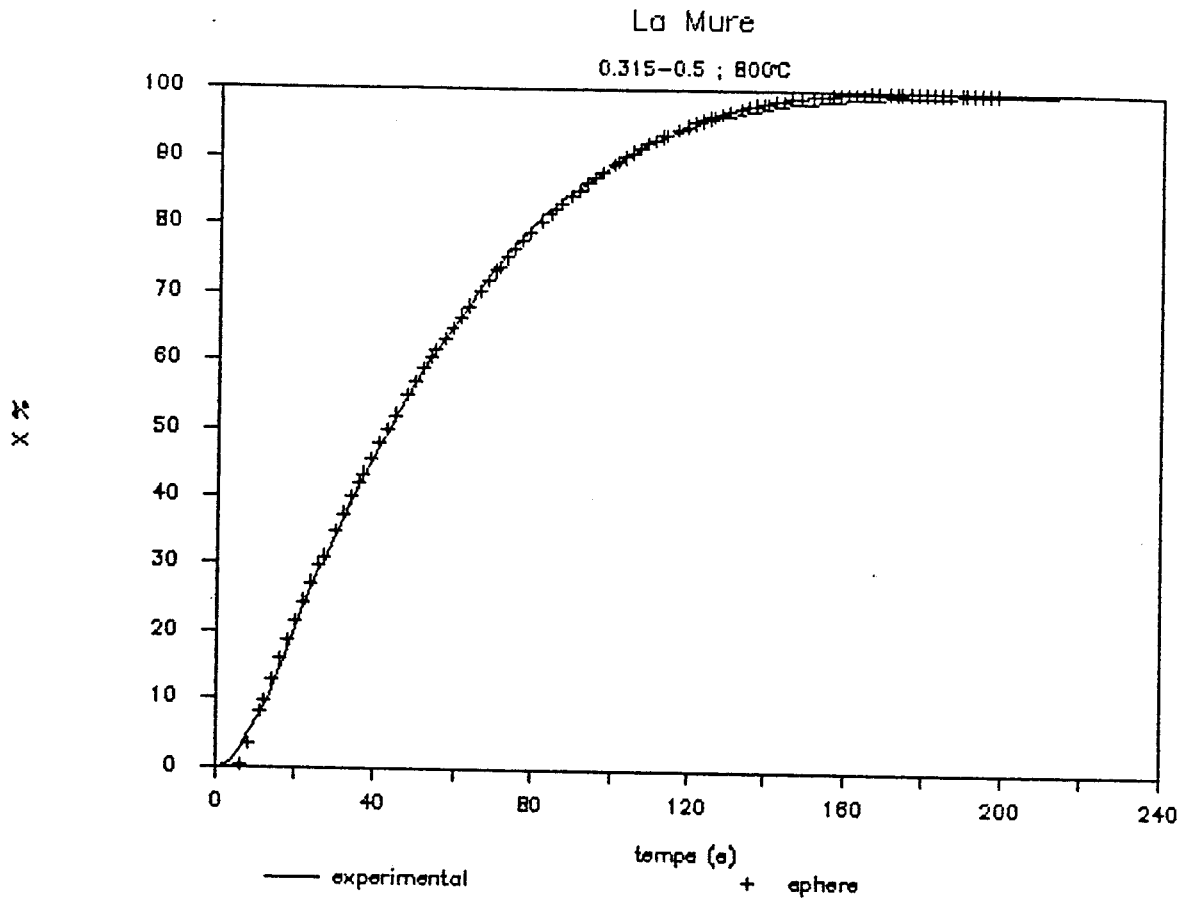
0.315-0.5 ; 600°C



La Mure

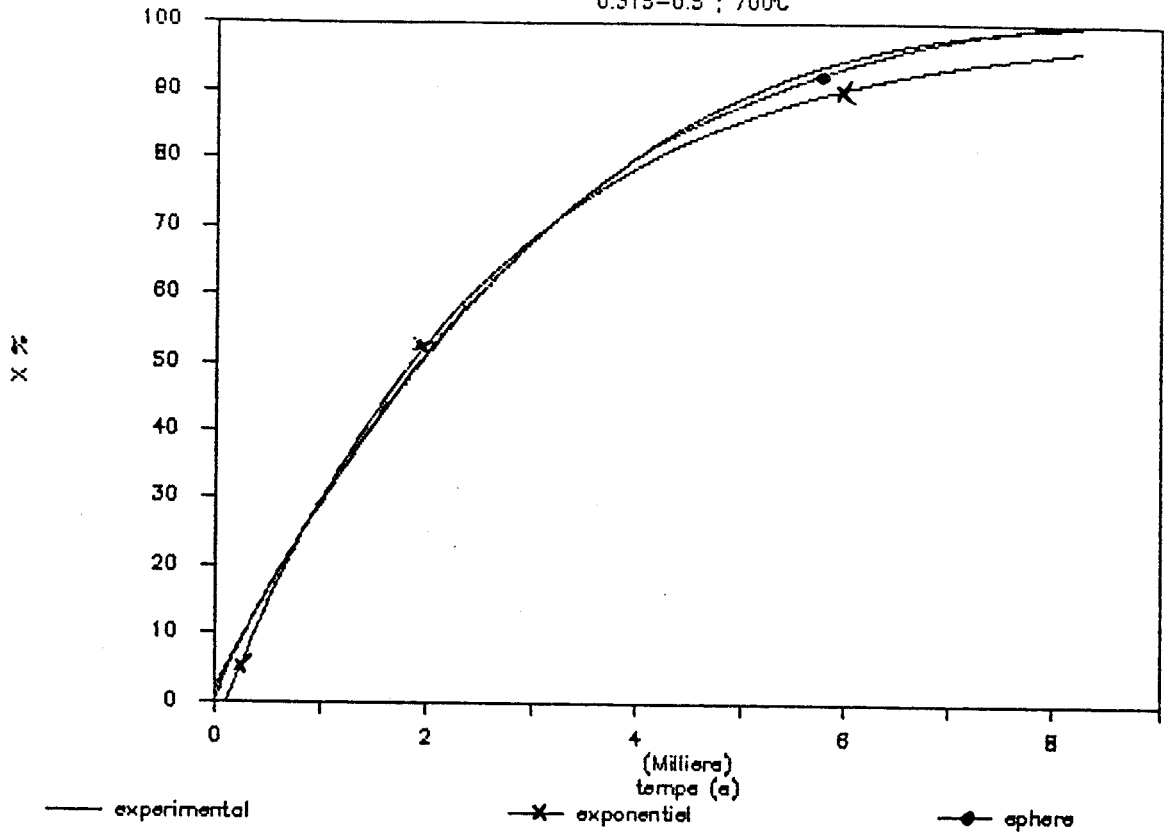
0.315-0.5 ; 700°C





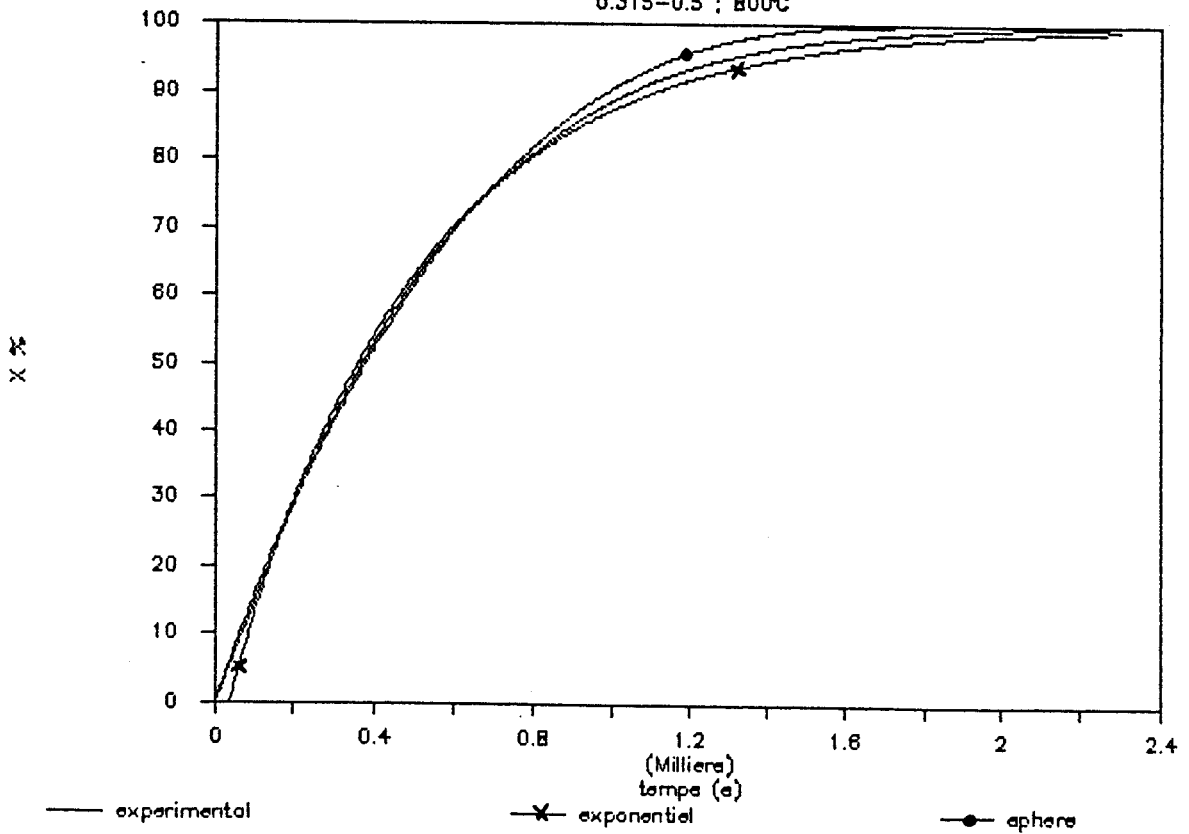
Graphite

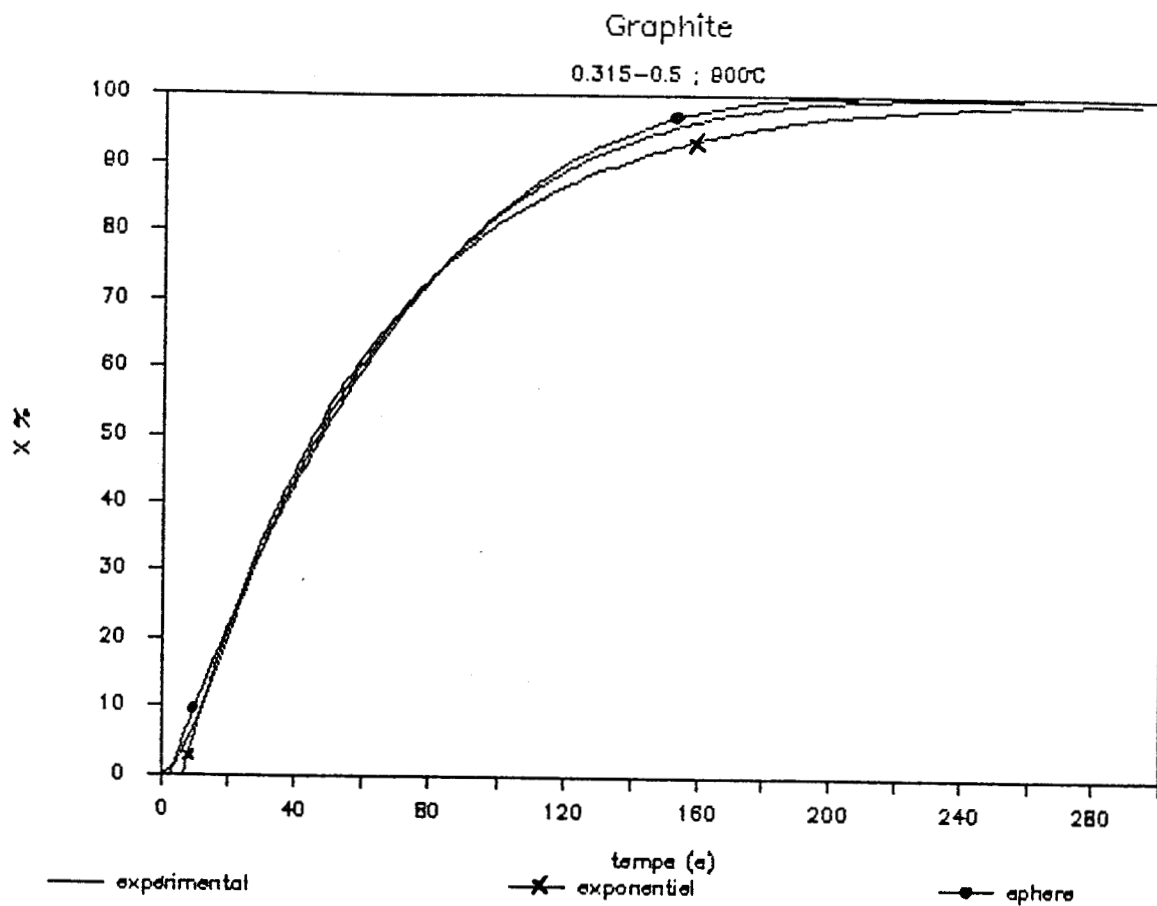
0.315-0.5 ; 700C



Graphite

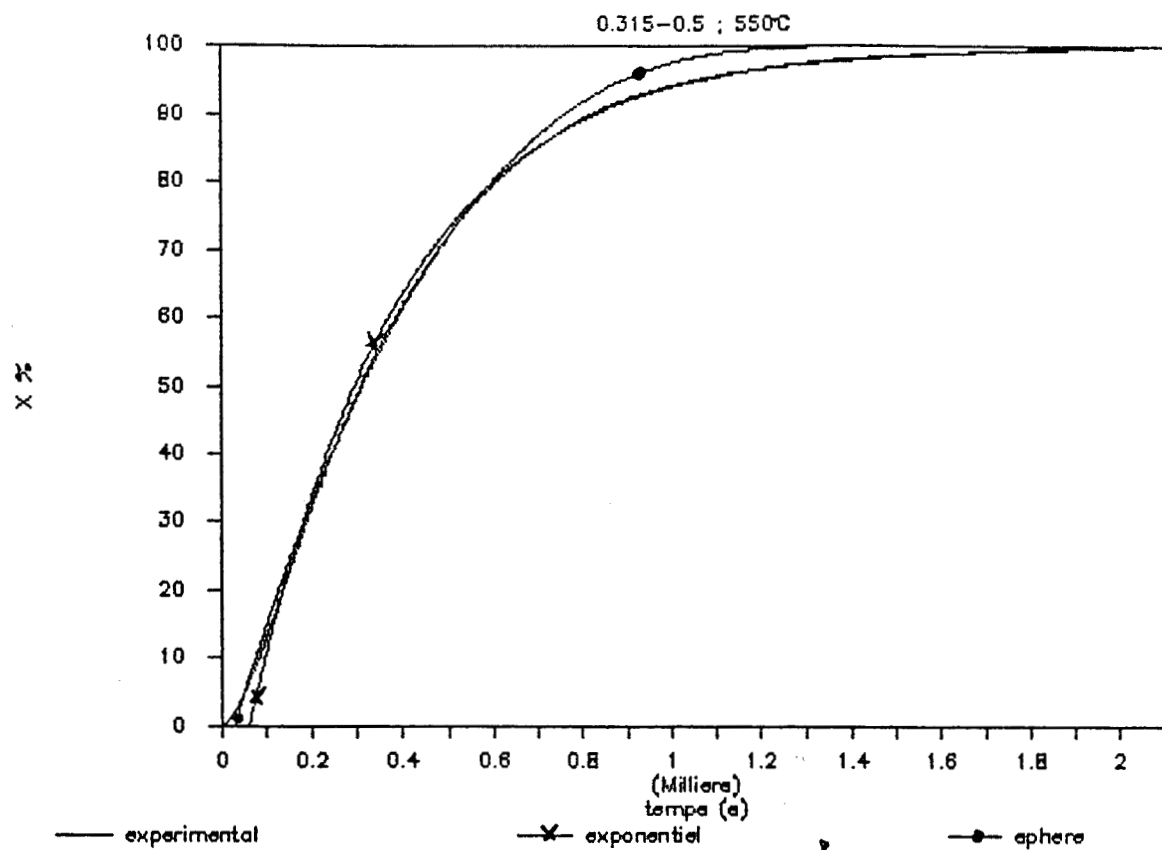
0.315-0.5 ; 800C



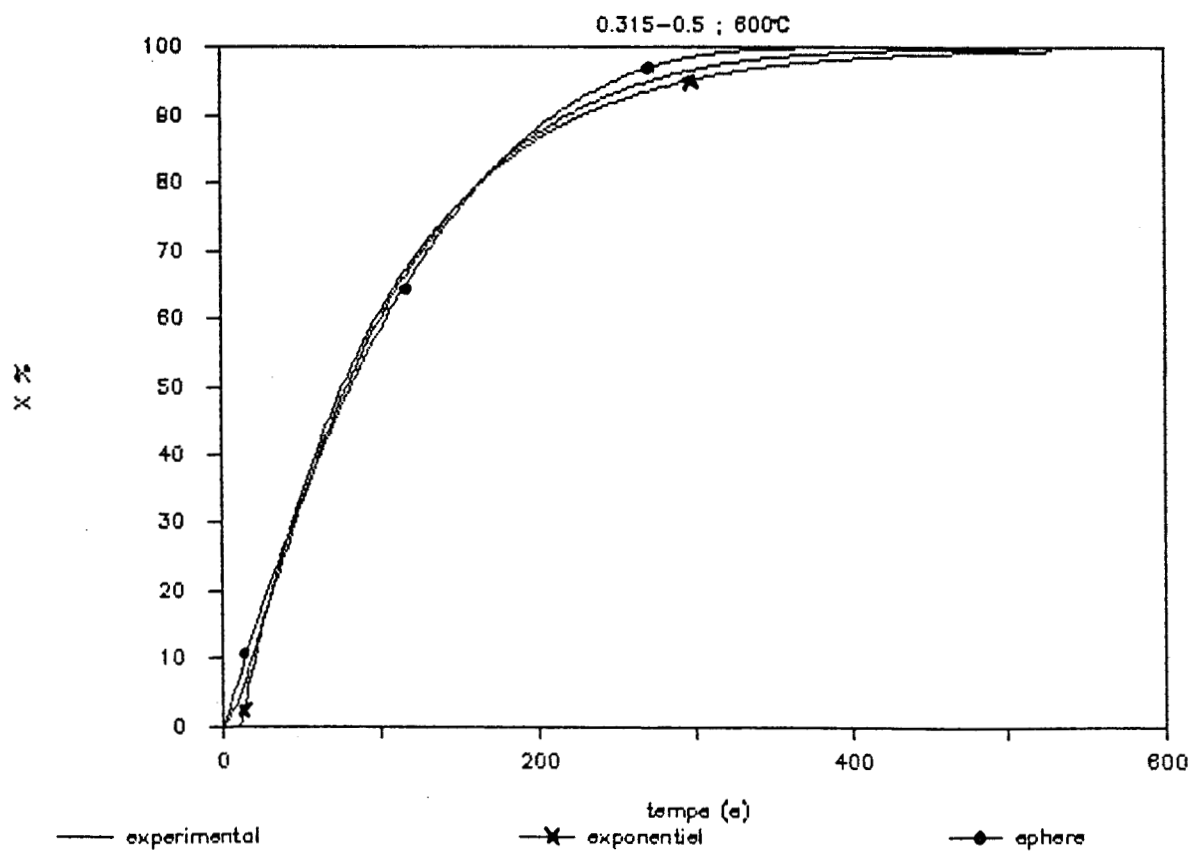


CHARBONS DEVOLATILISES A 950°C (MODE I)

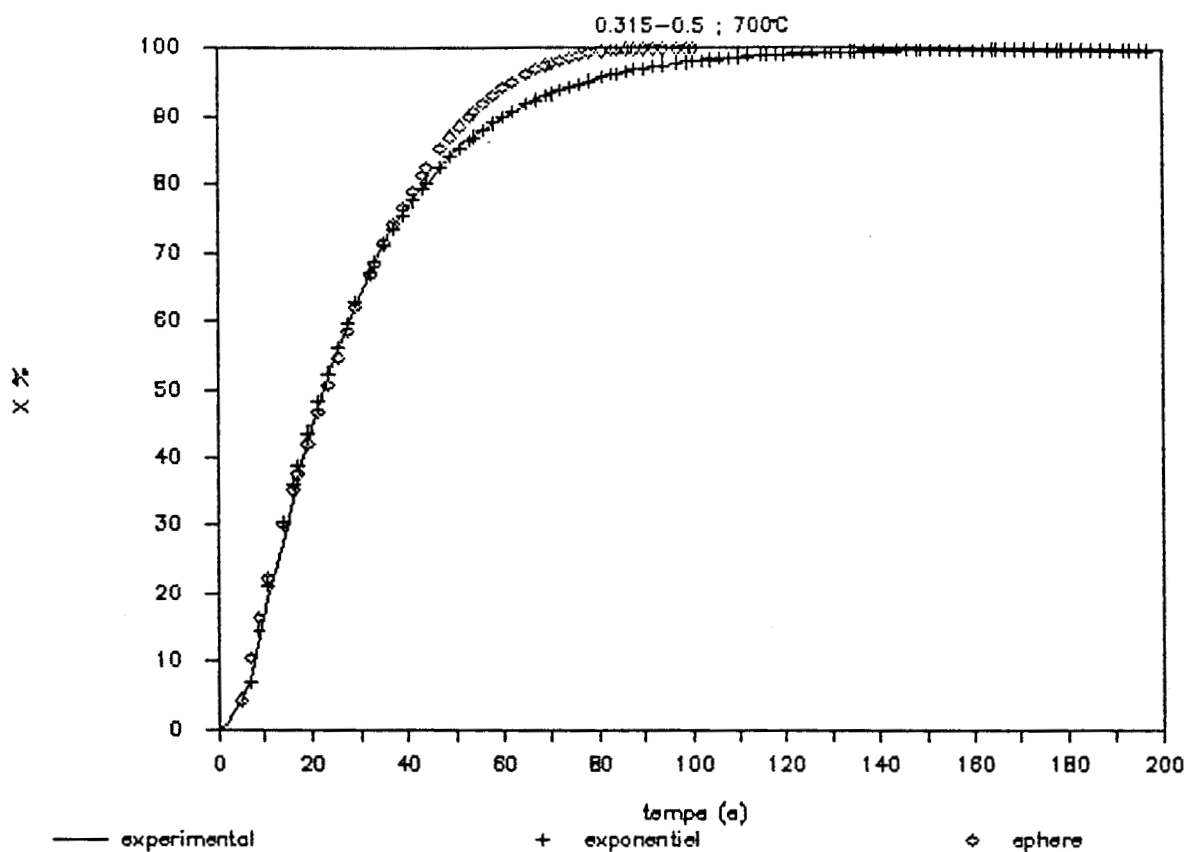
F. de Provence dévolatilisé à 950°C



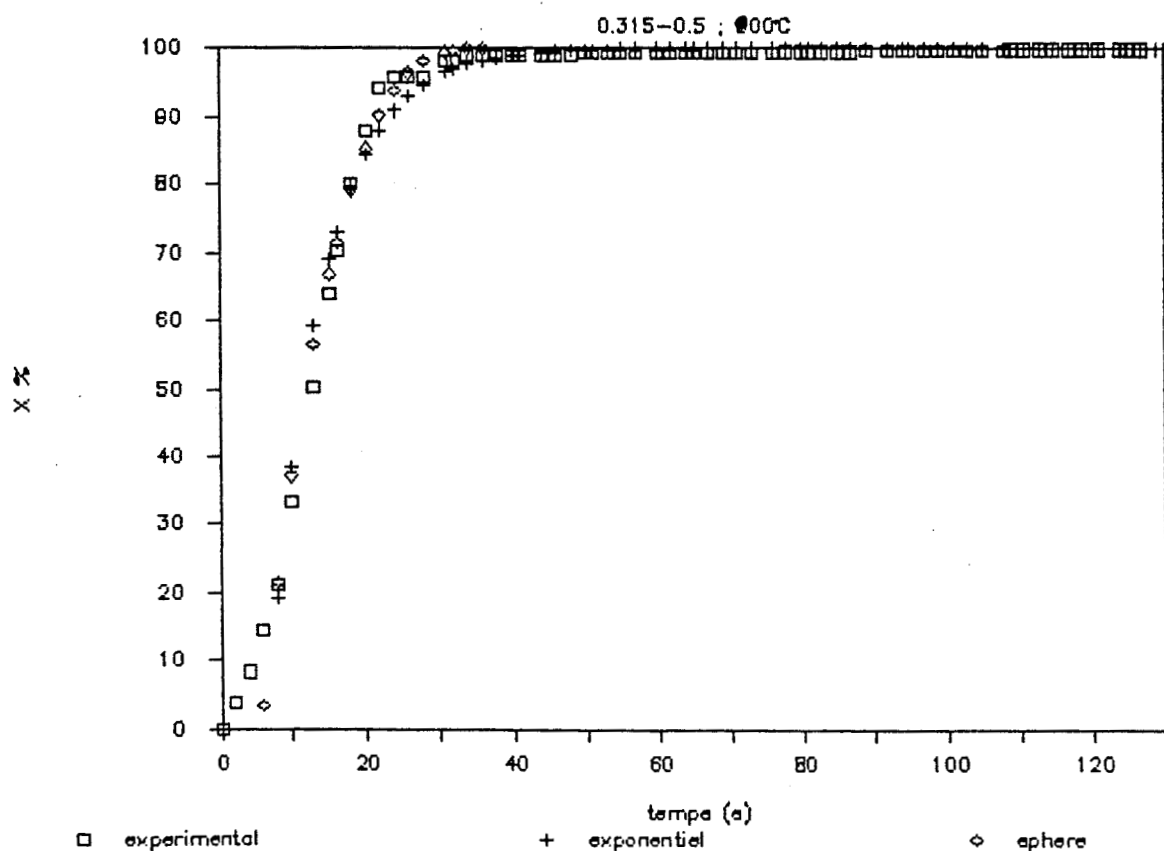
F. de Provence dévolatilisé à 950°C



F. de Provence dévolatilisé à 950°C

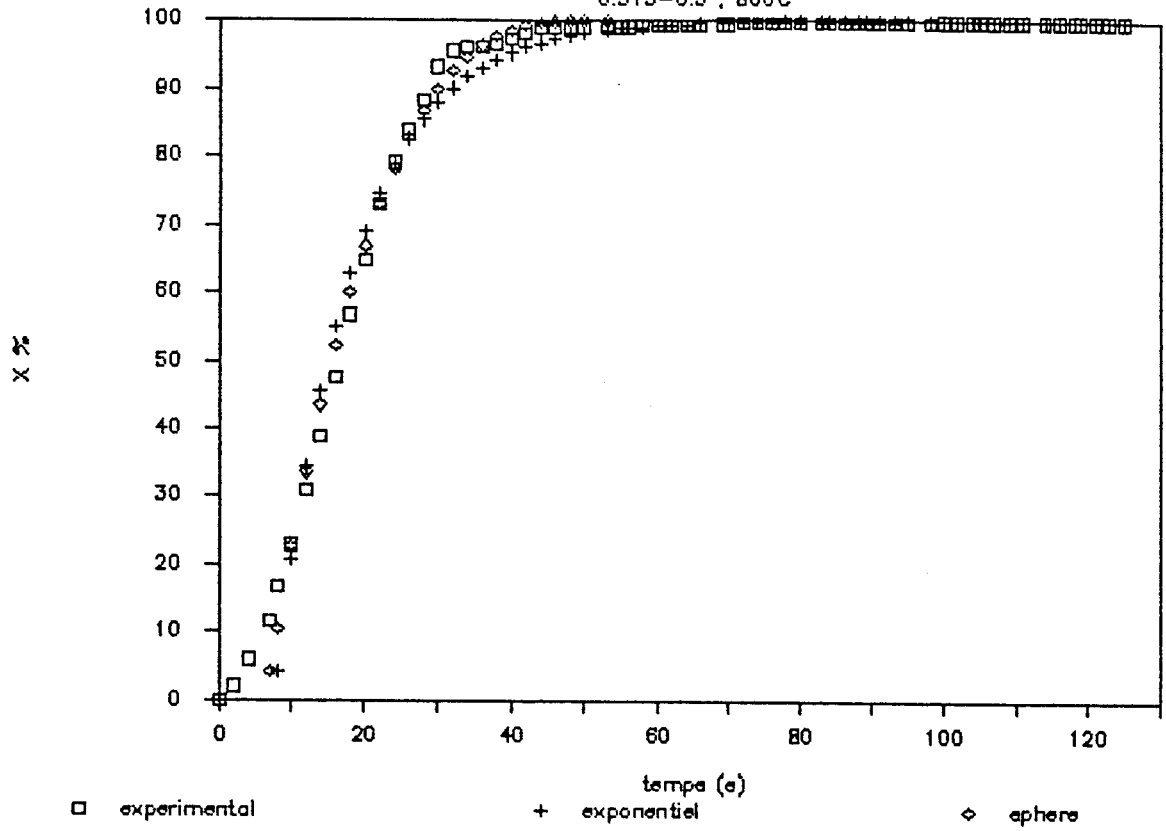


F. de Provence dévolatilisé à 950°C



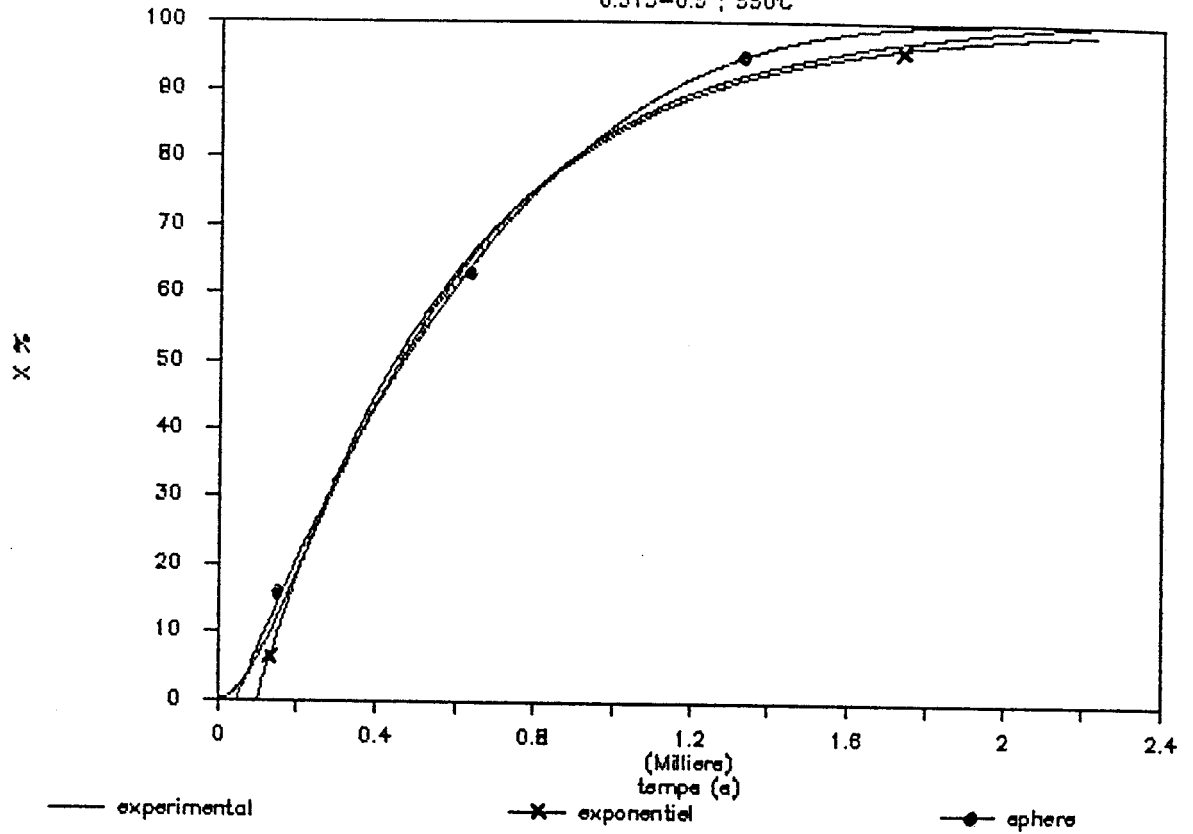
F. de Provence dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°C



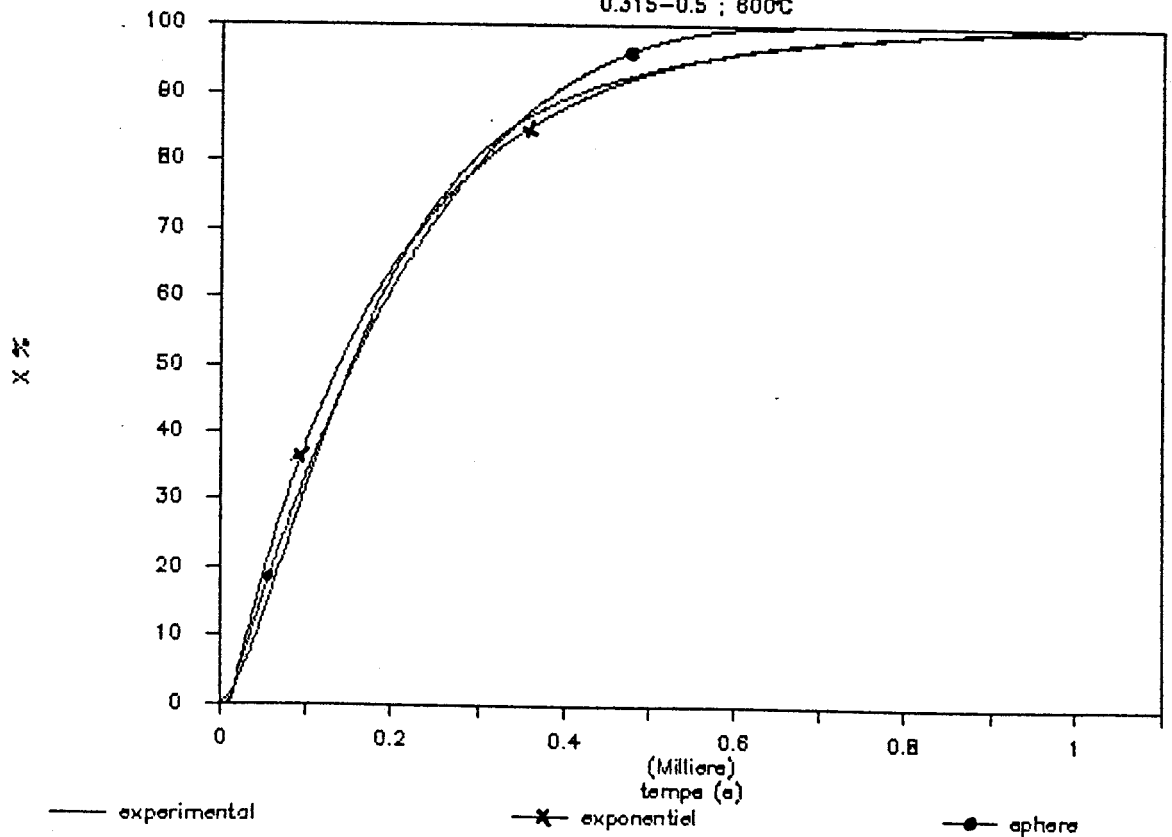
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 550°C



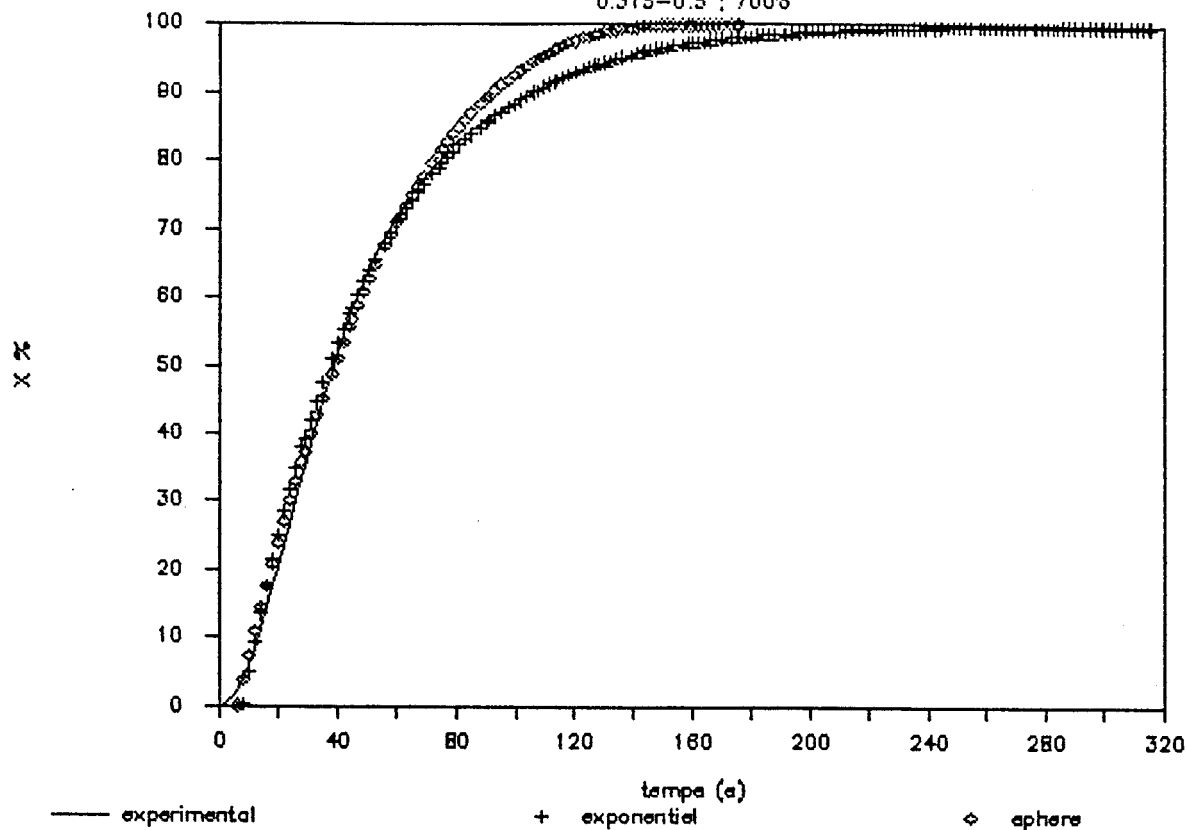
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 600°C



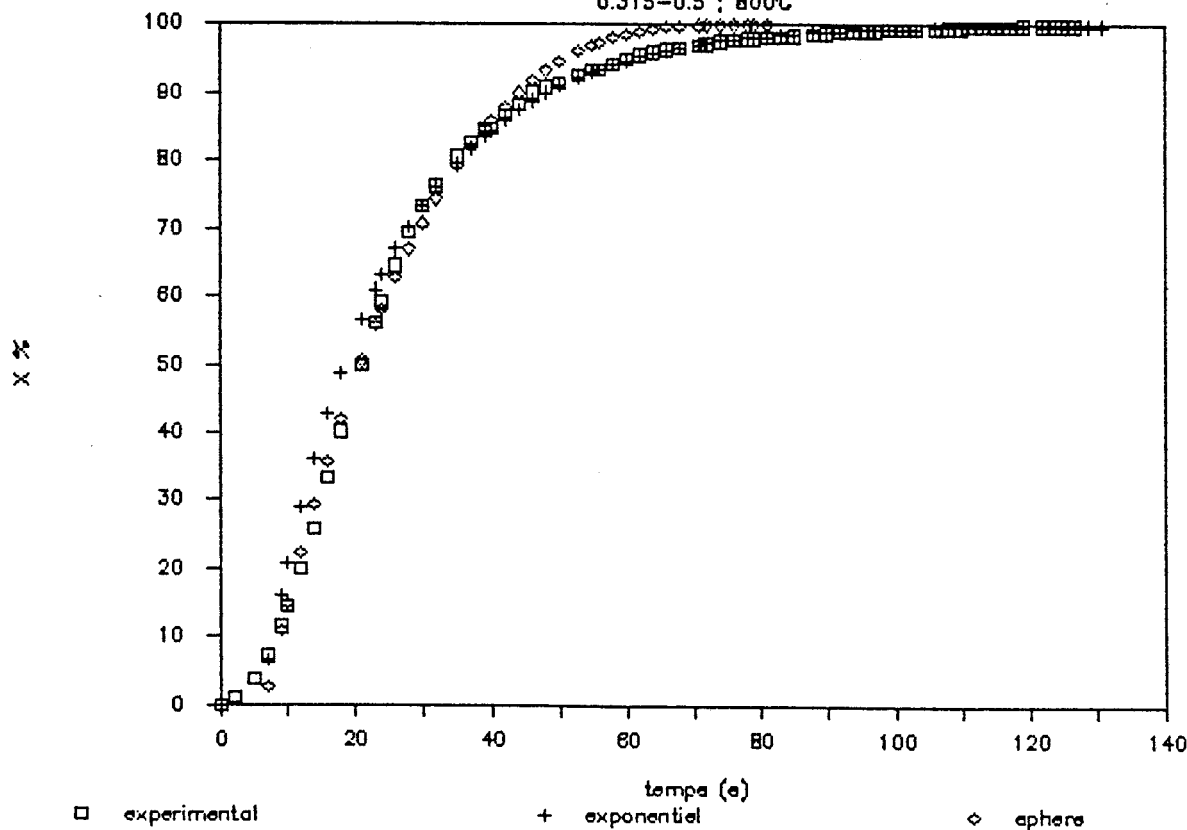
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 700°



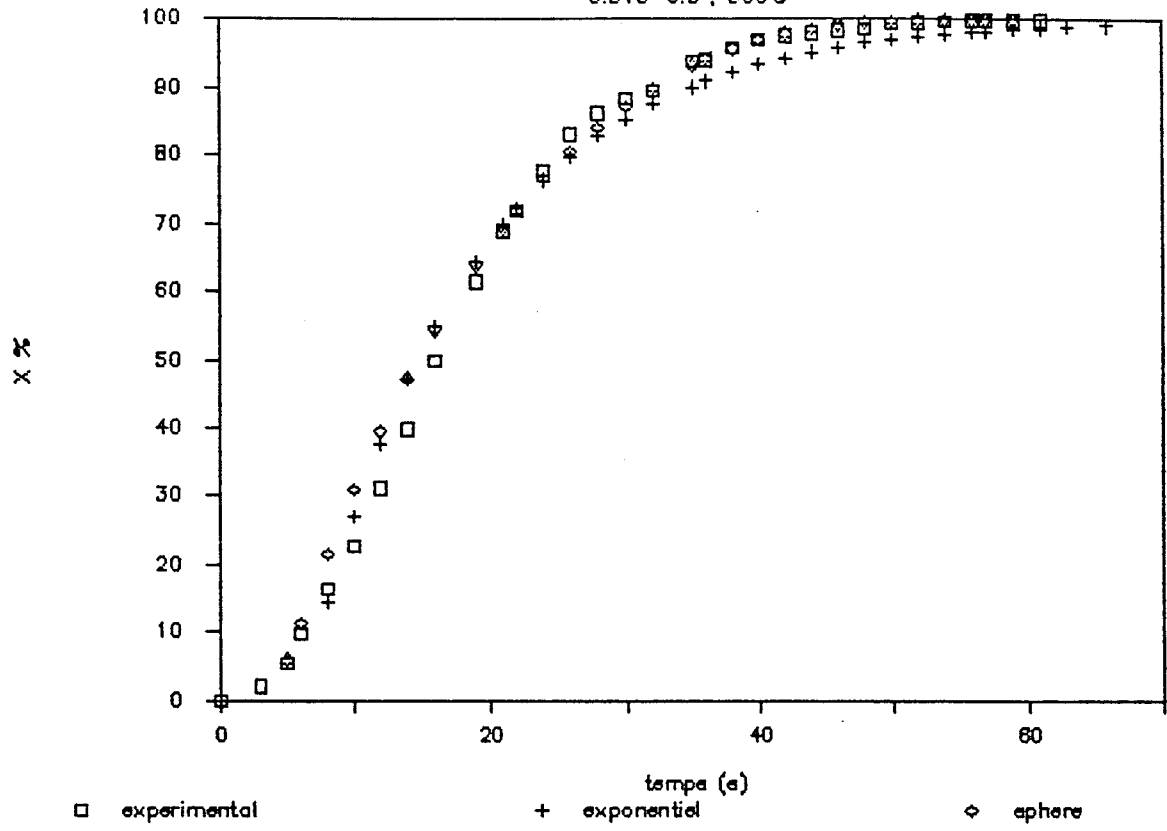
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°



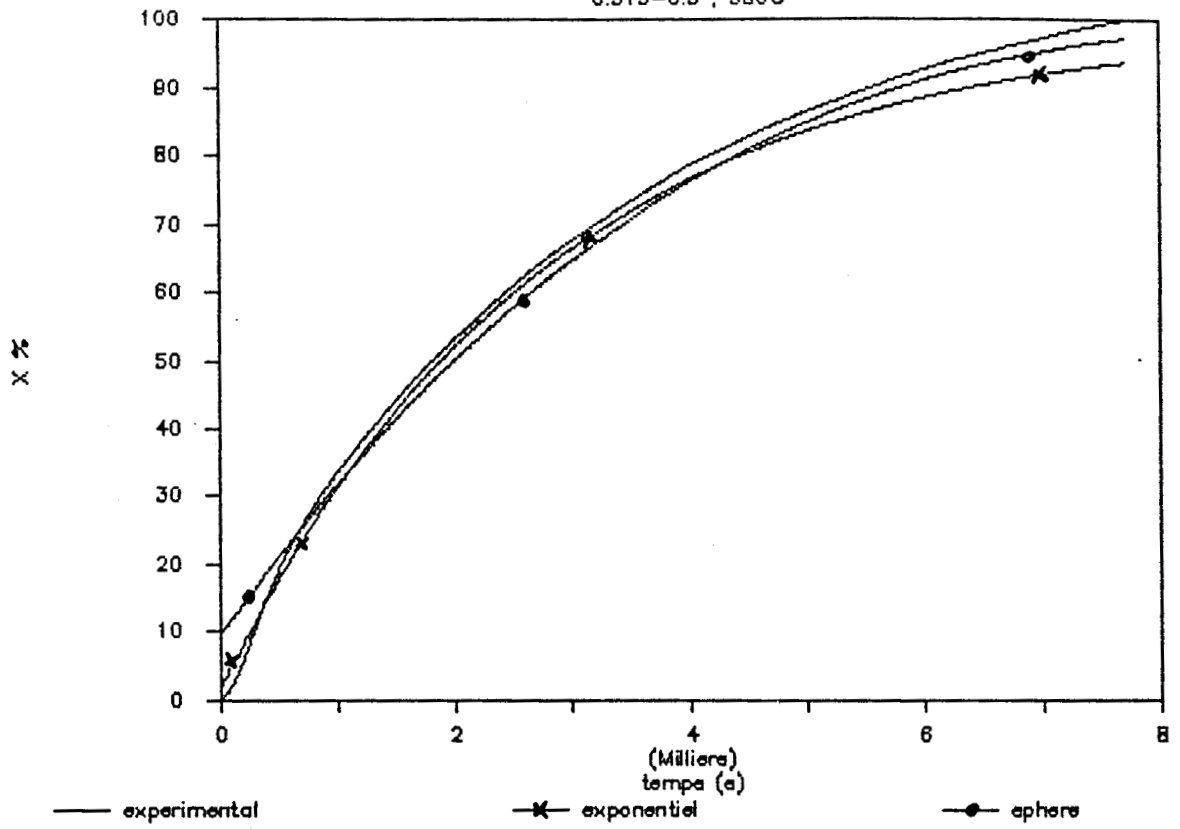
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 200°C



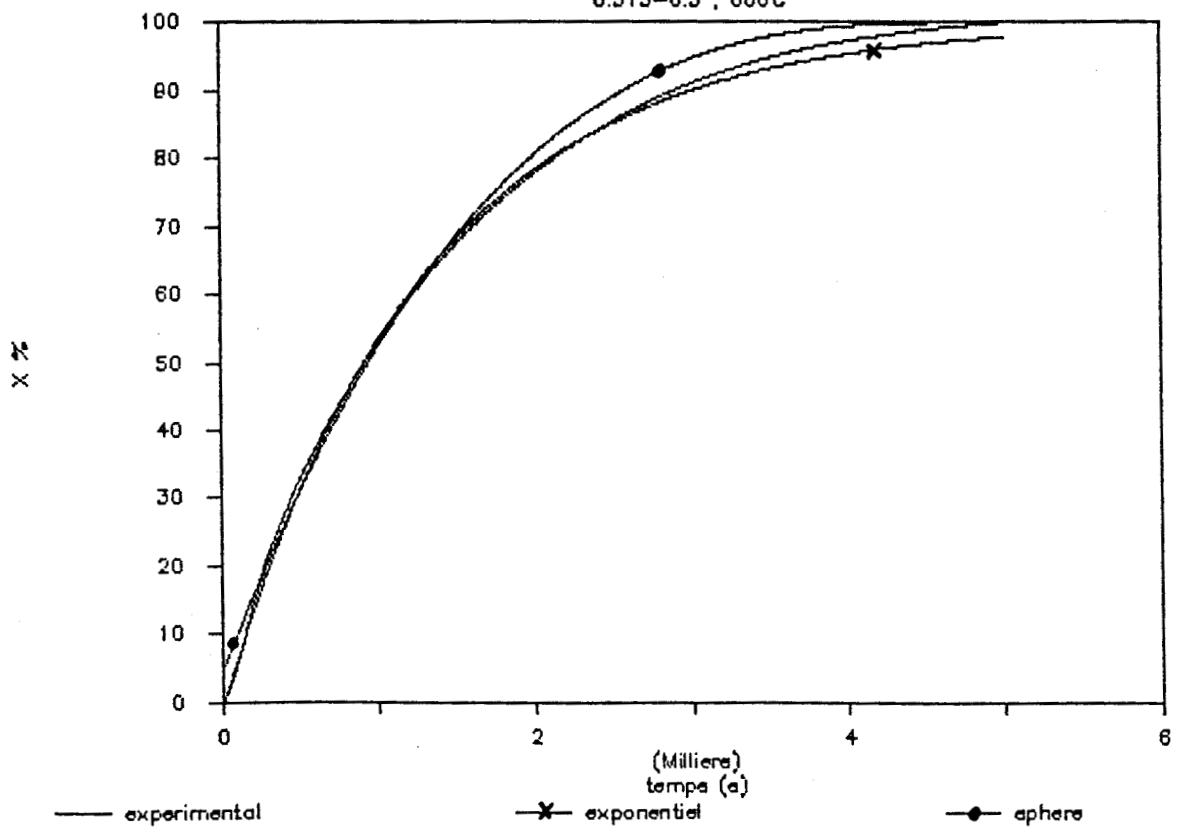
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 580°C



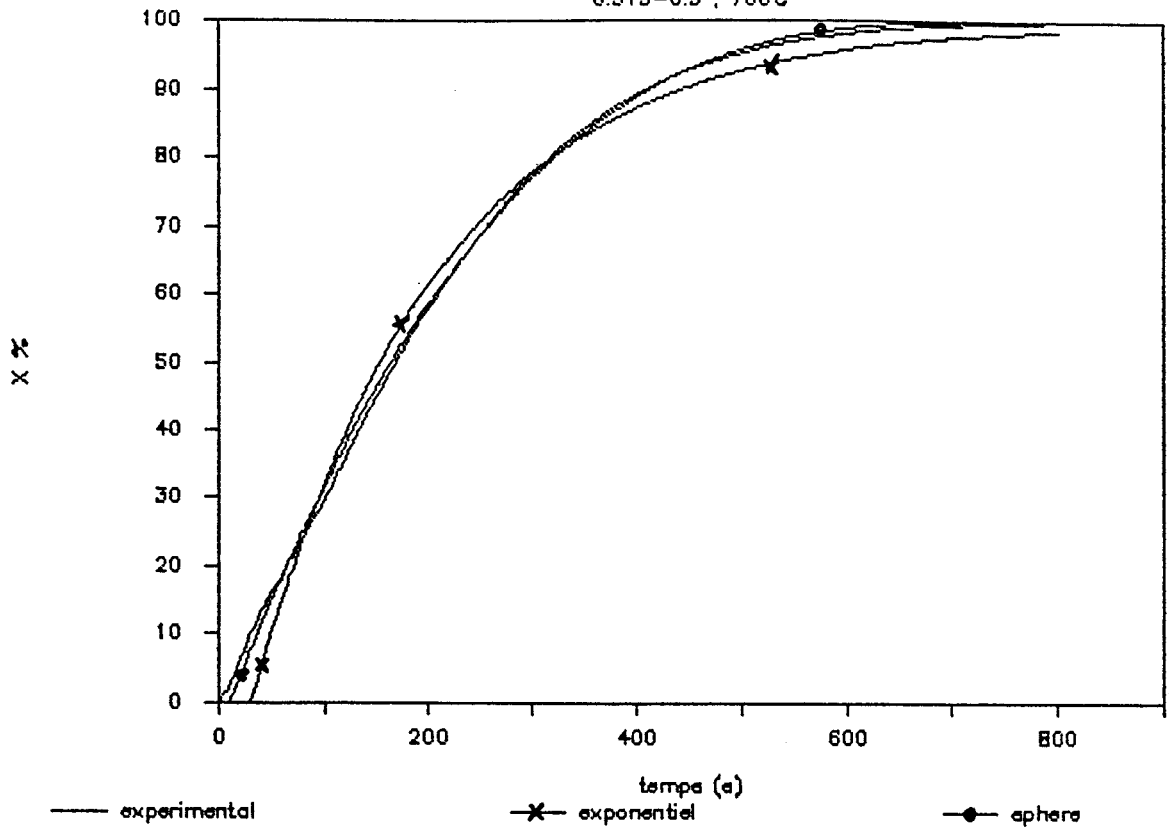
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 600°C



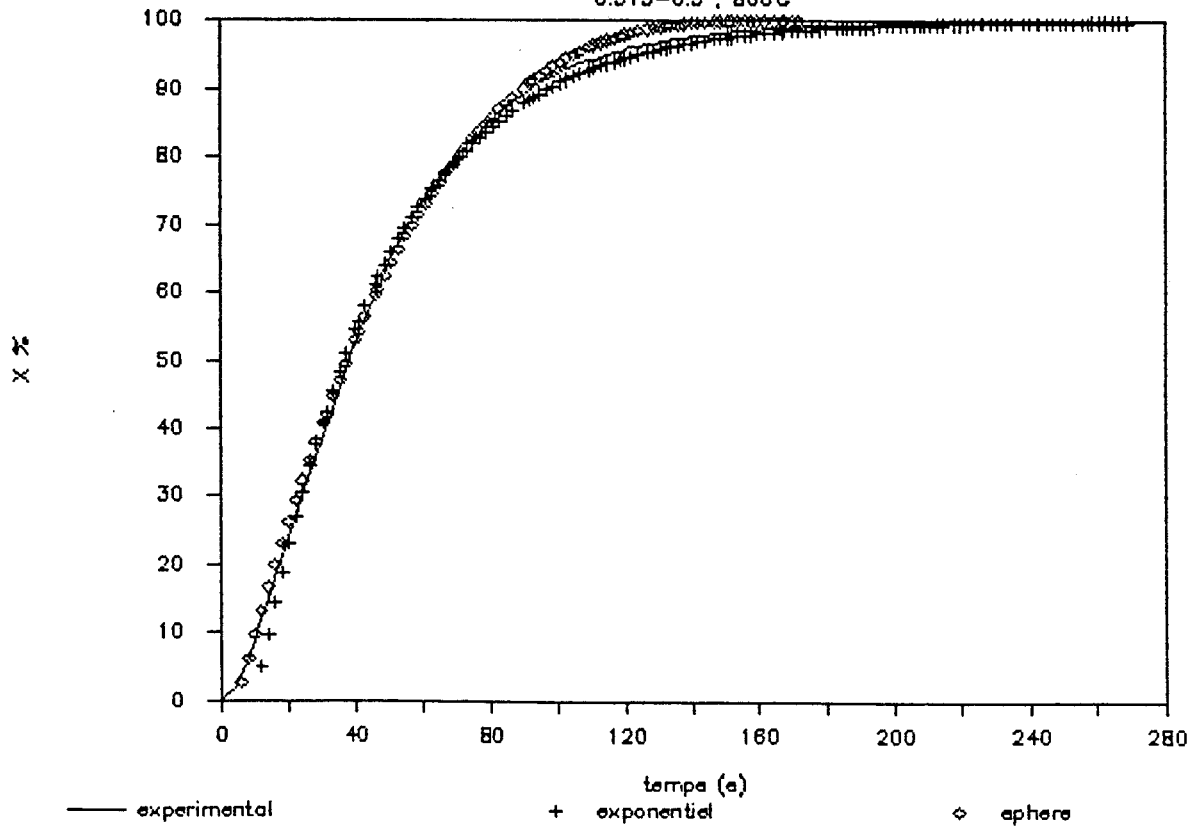
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 700°C



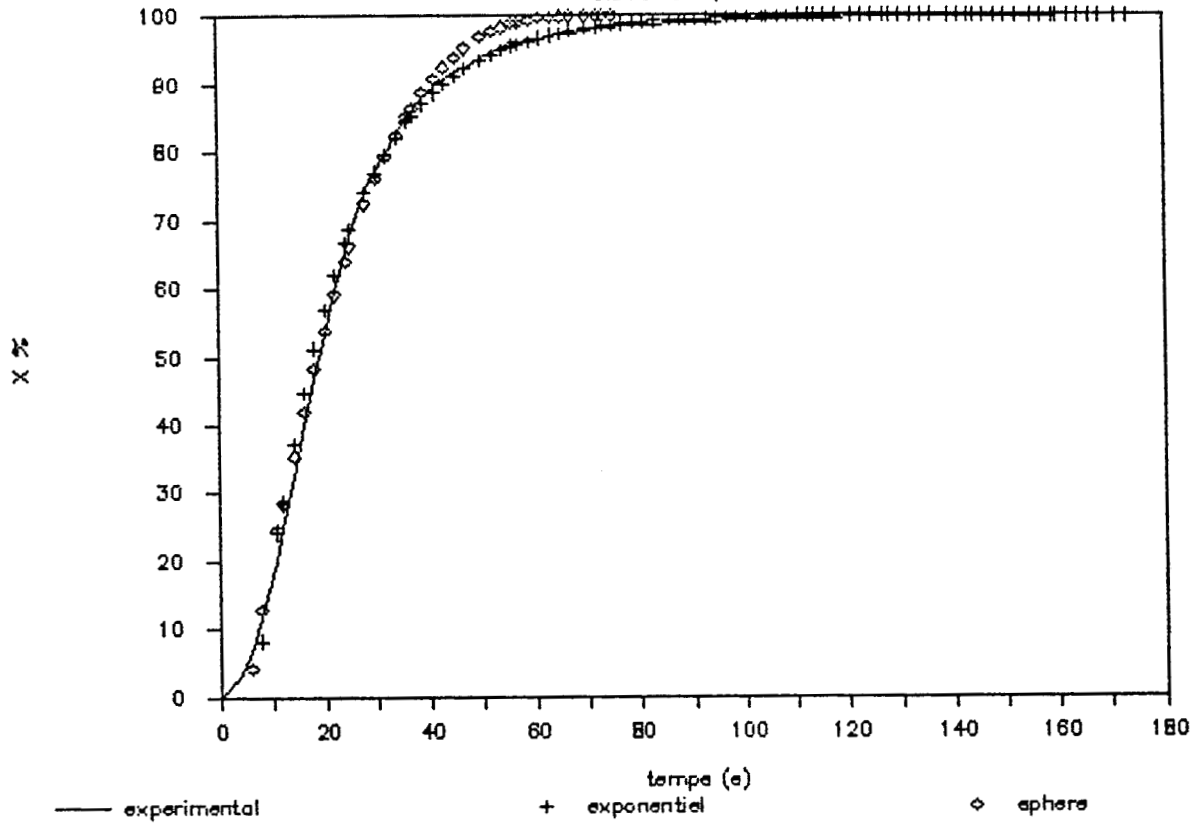
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°C



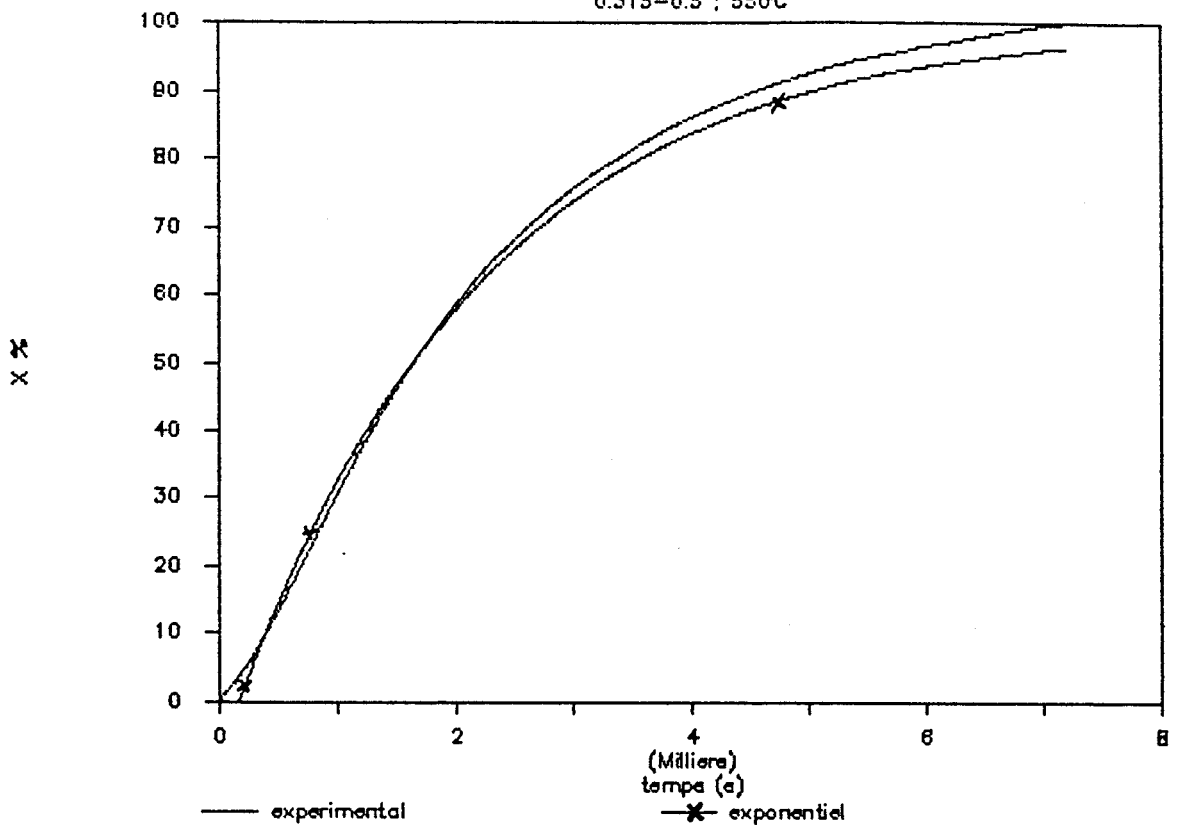
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°C



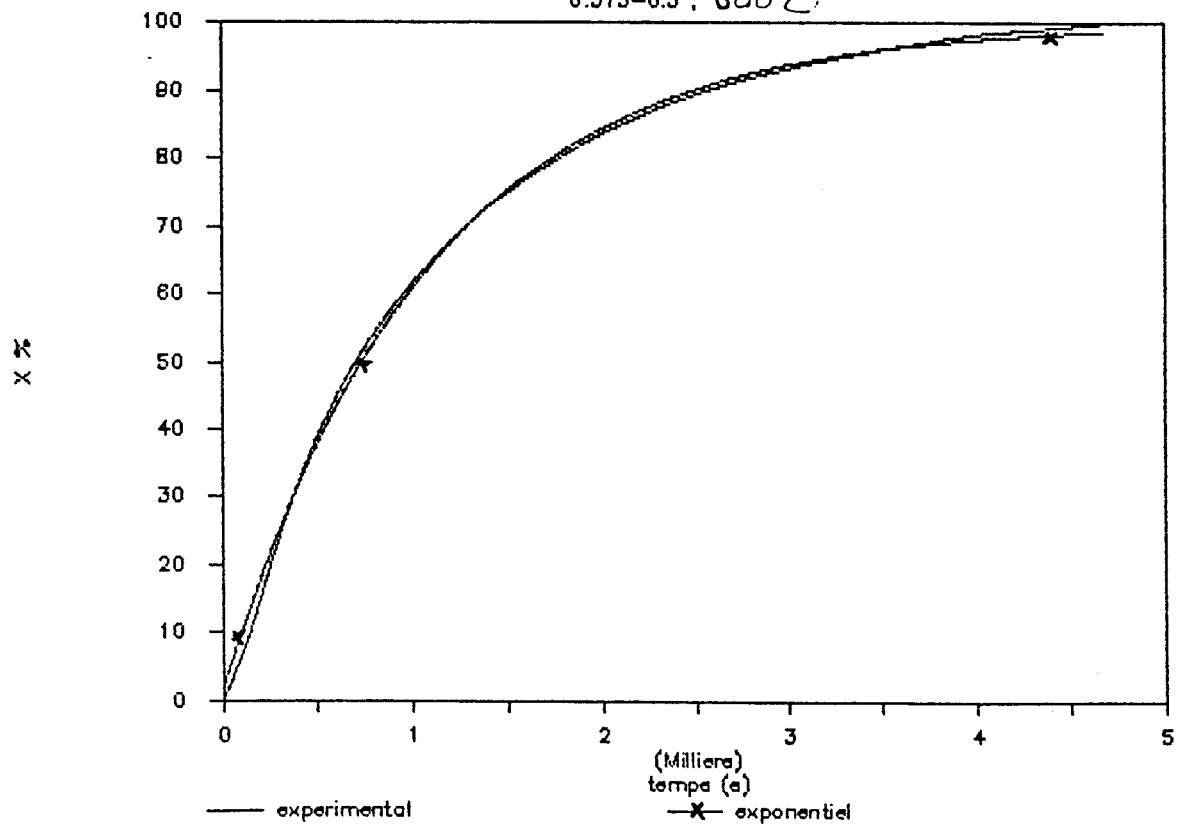
La Mure dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 550°C



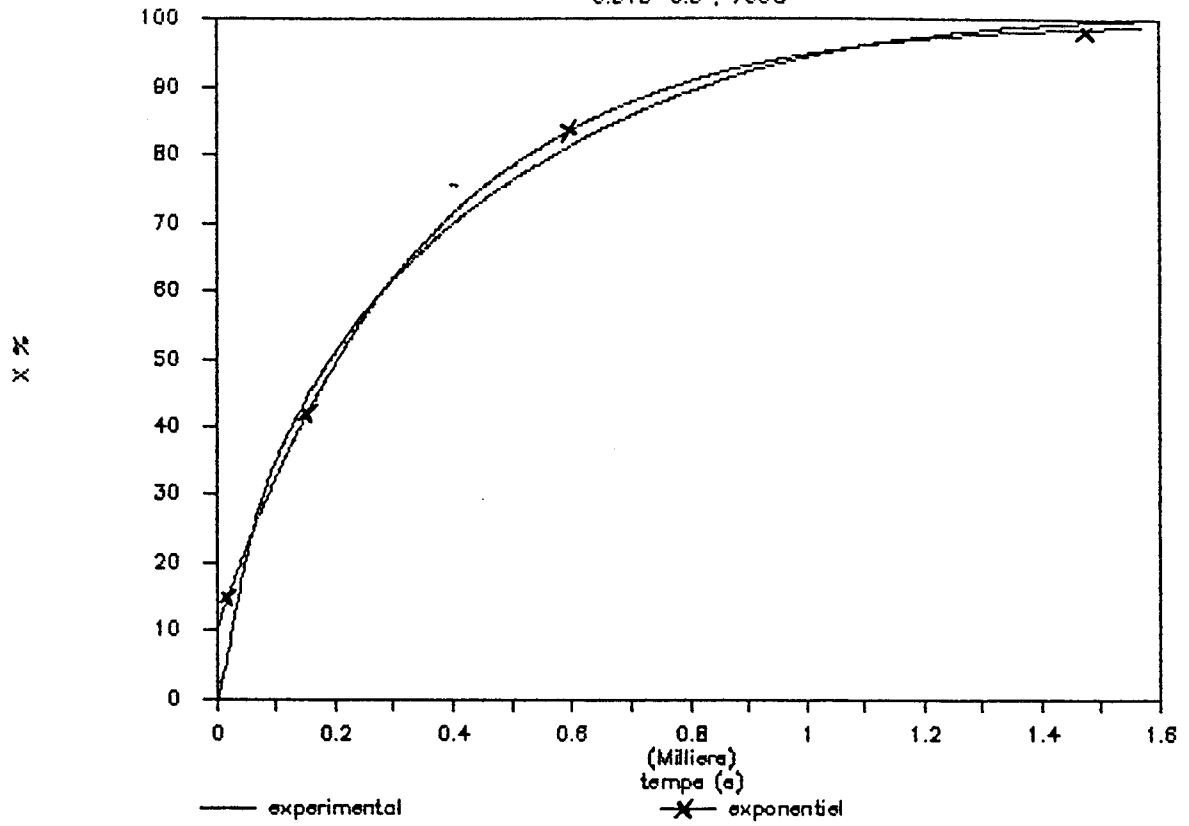
La Mure dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 600°C



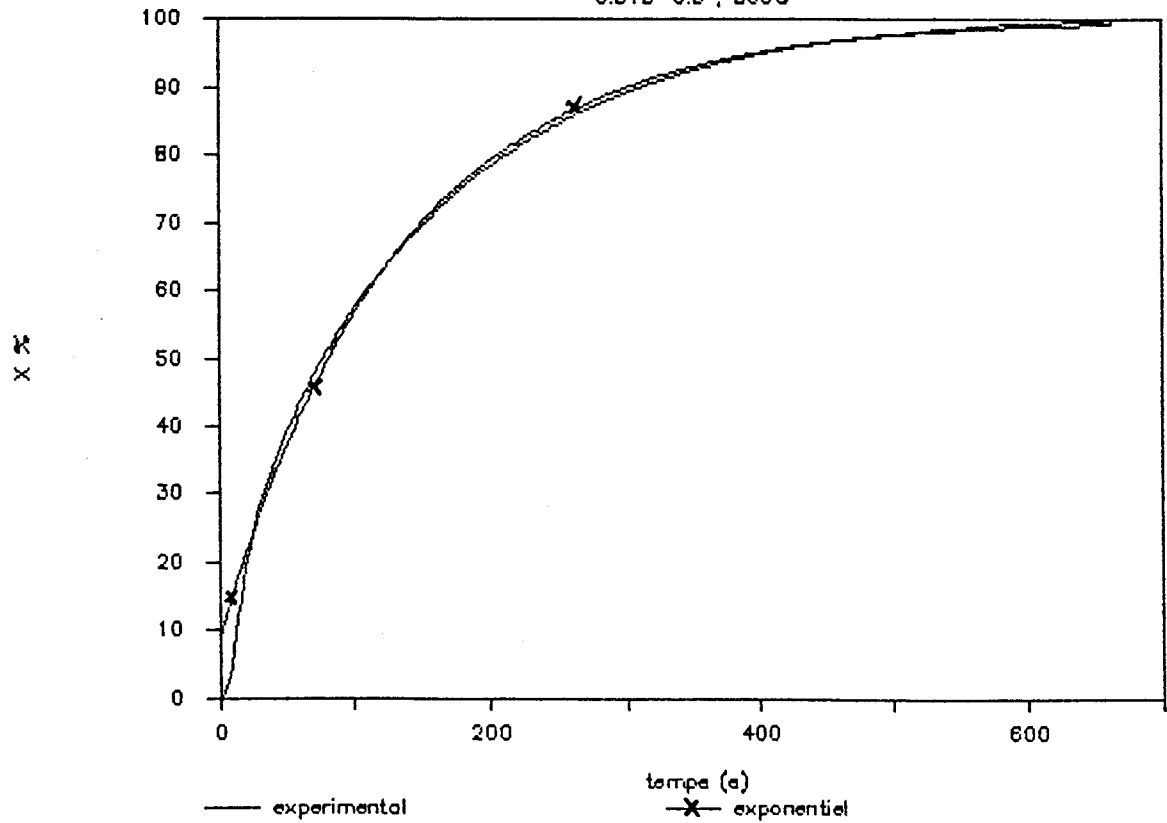
La Mure dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 700°C



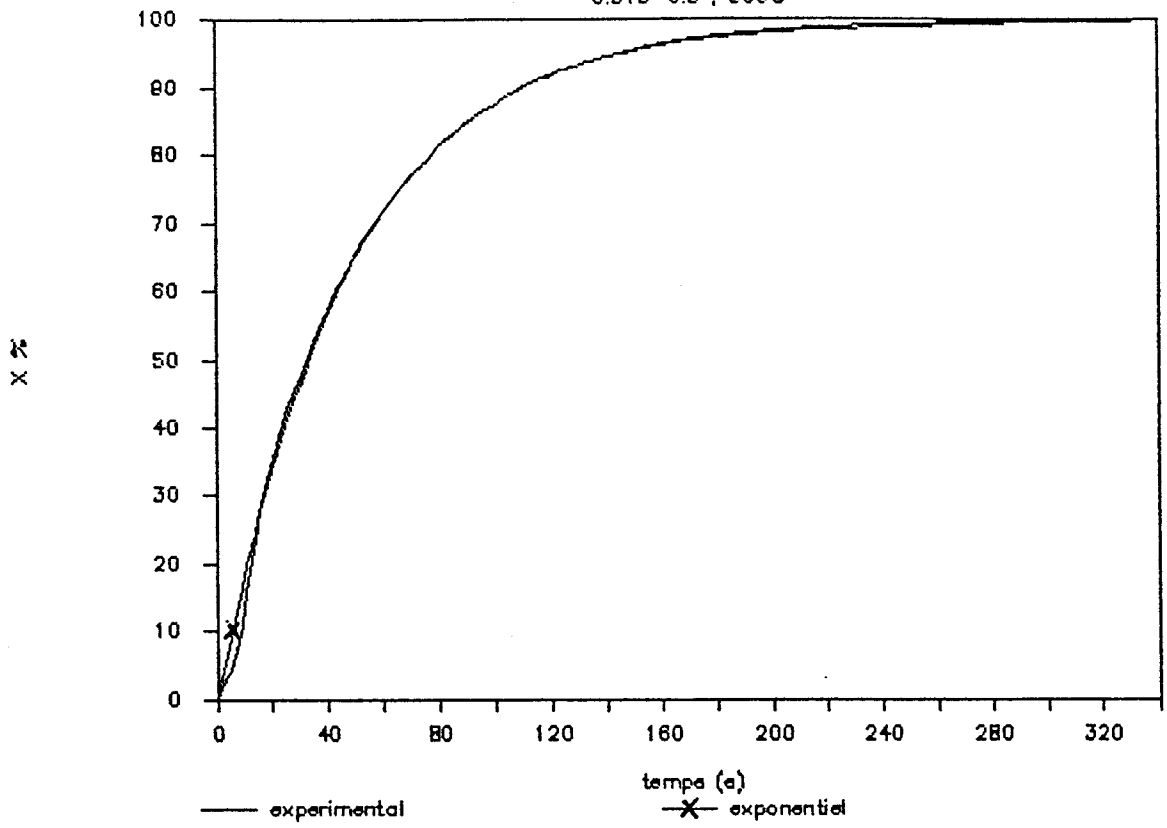
La Mure dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°C



La Mure dévolatilisé à 950°C

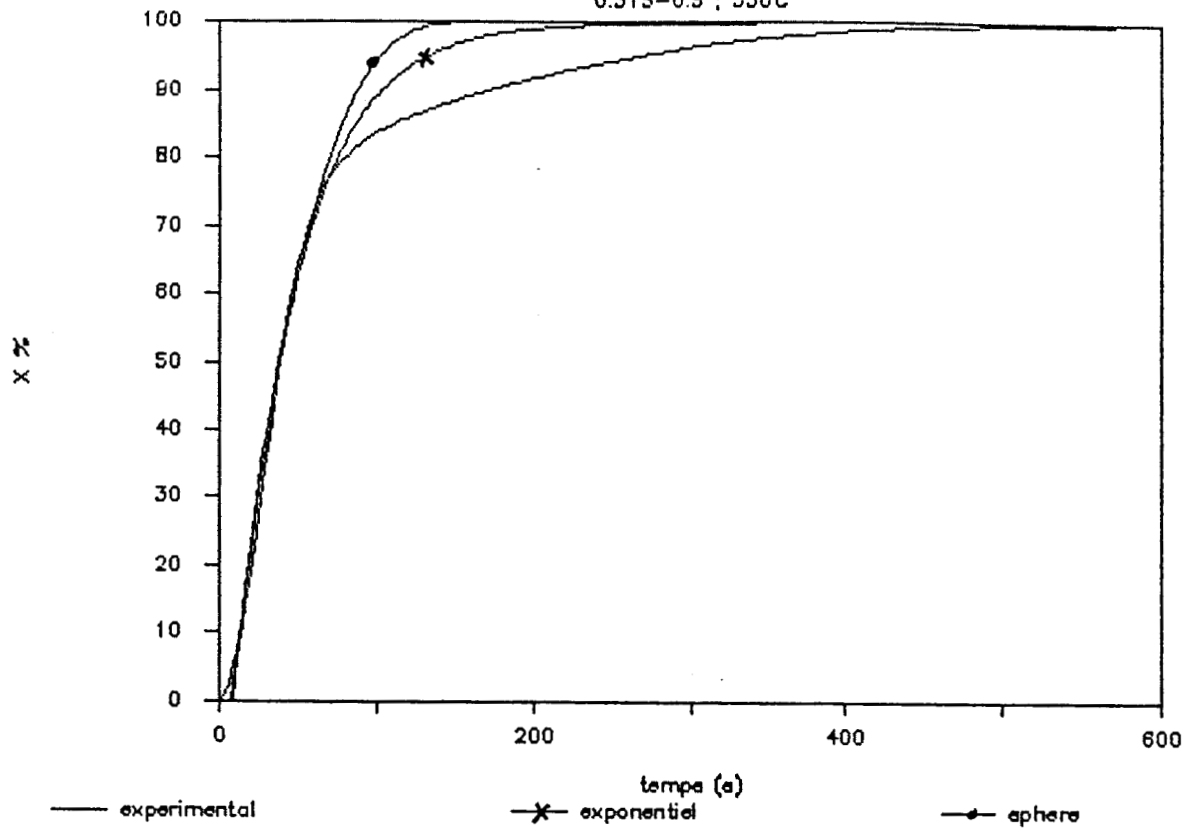
0.315-0.5 ; 800°C



CHARBONS DEVOLATILISES IN-SITU (MODE II)

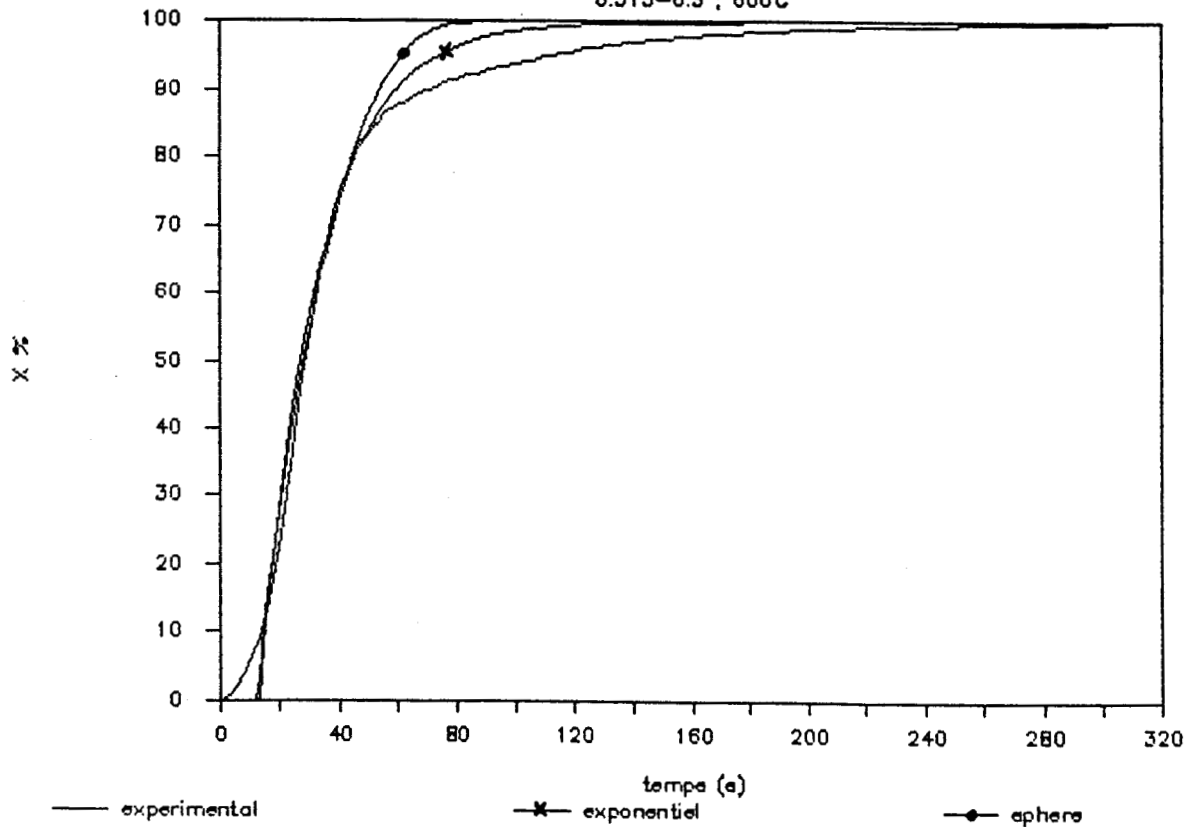
F. de Provence dévolatilisé in-situ

0.315-0.5 ; 550C

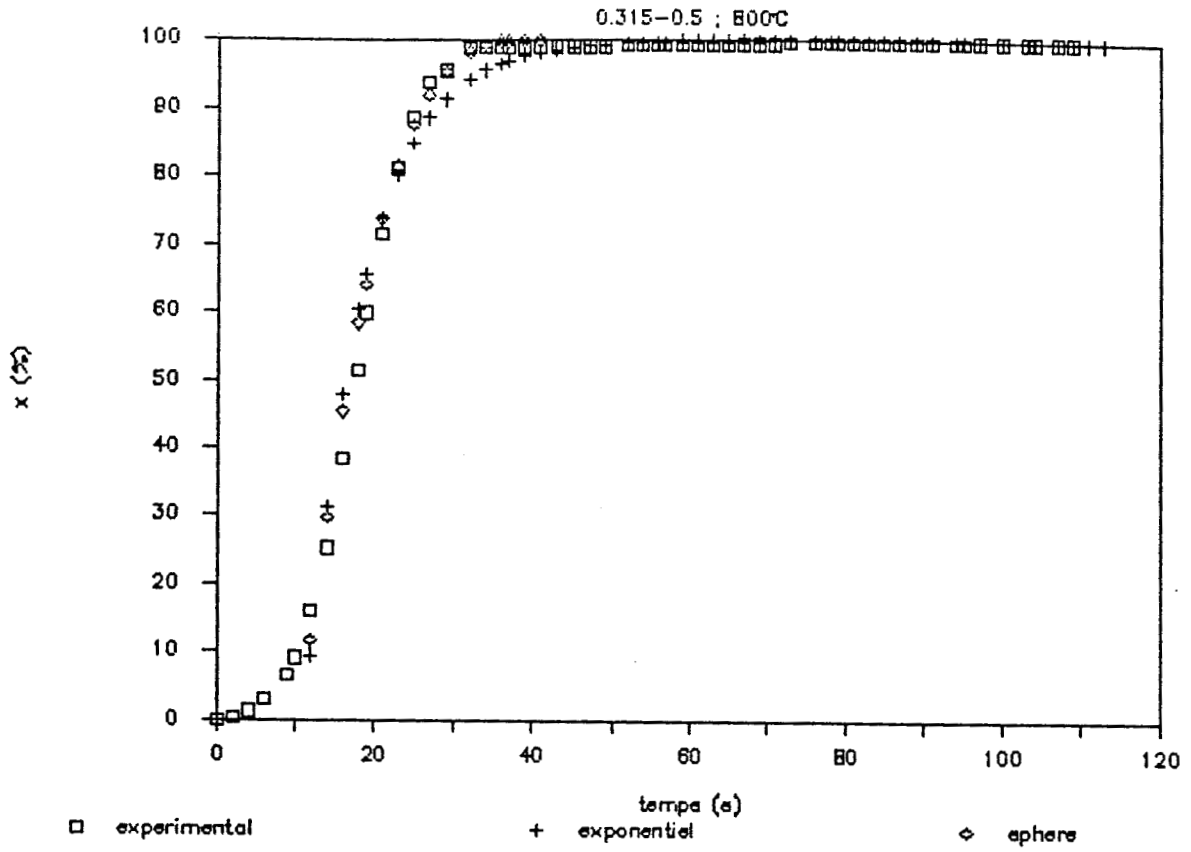


F. de Provence dévolatilisé in-situ

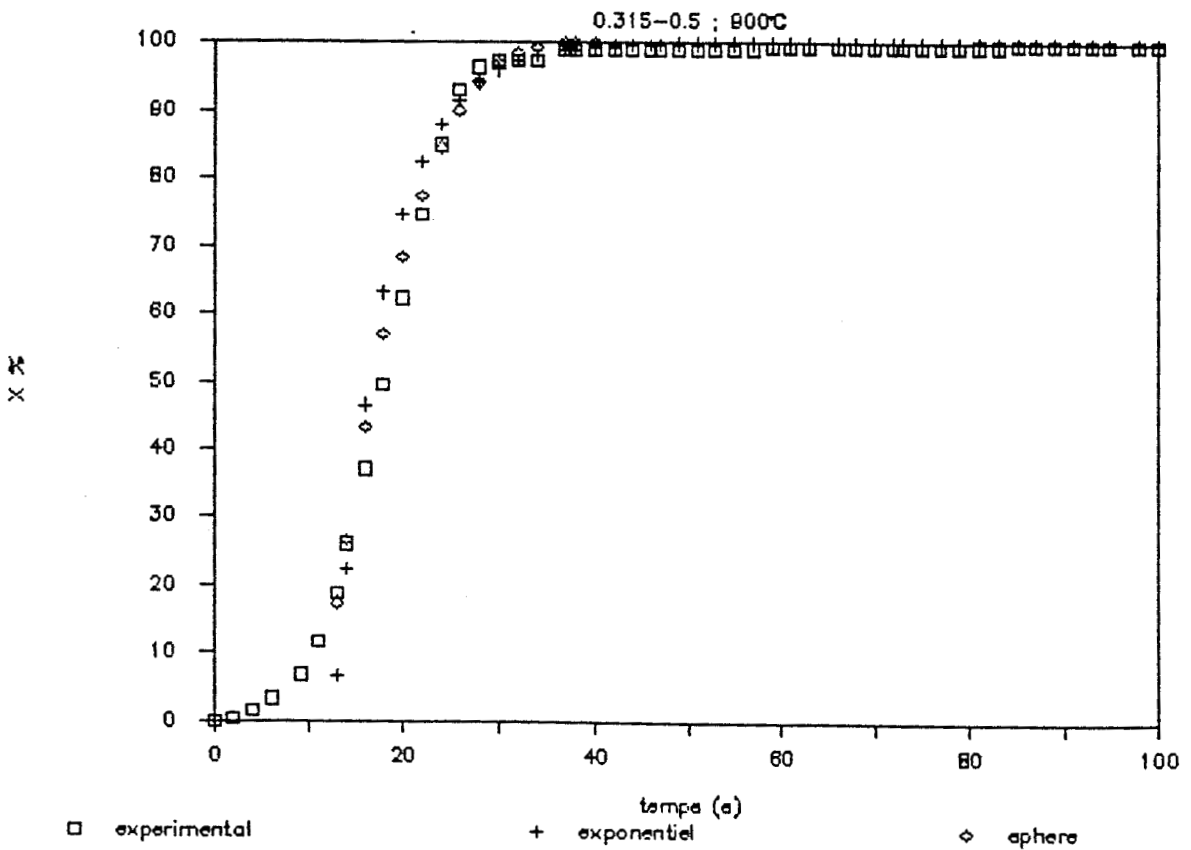
0.315-0.5 ; 600C



F. de Provence dévolatilisé in-situ

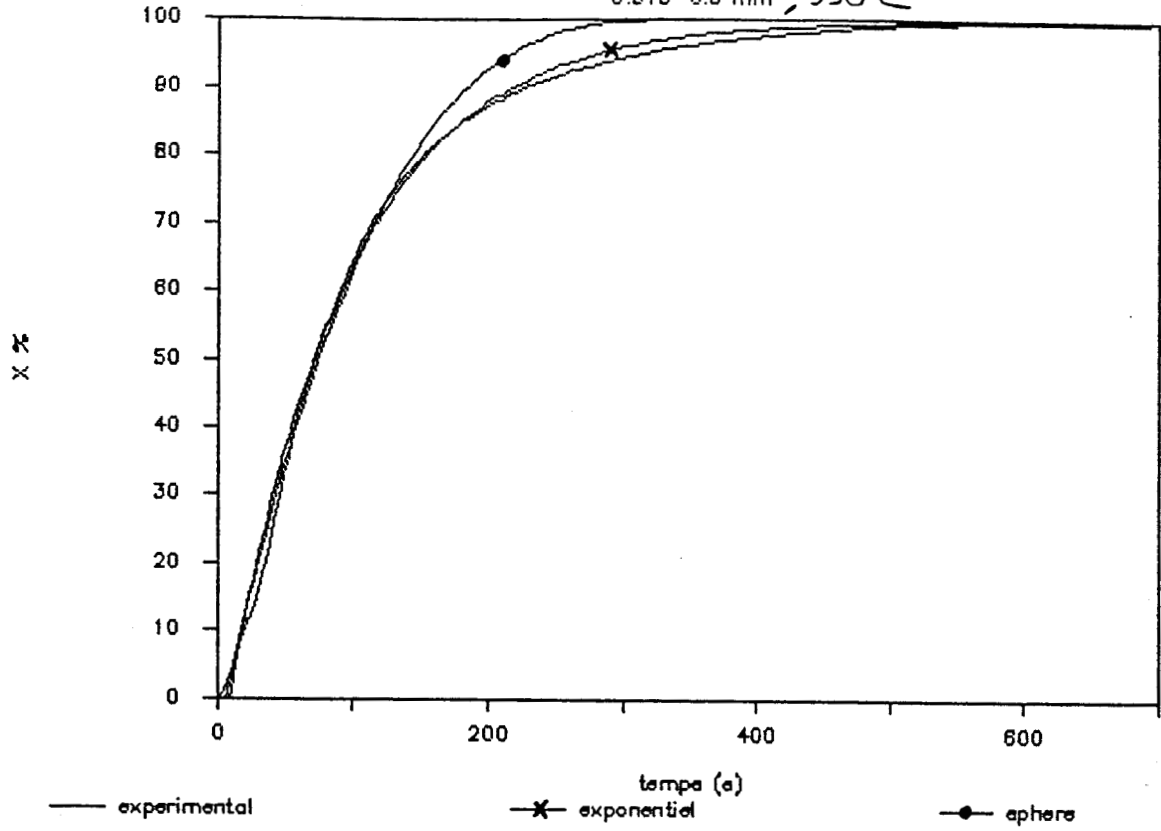


F. de Provence dévolatilisé in-situ



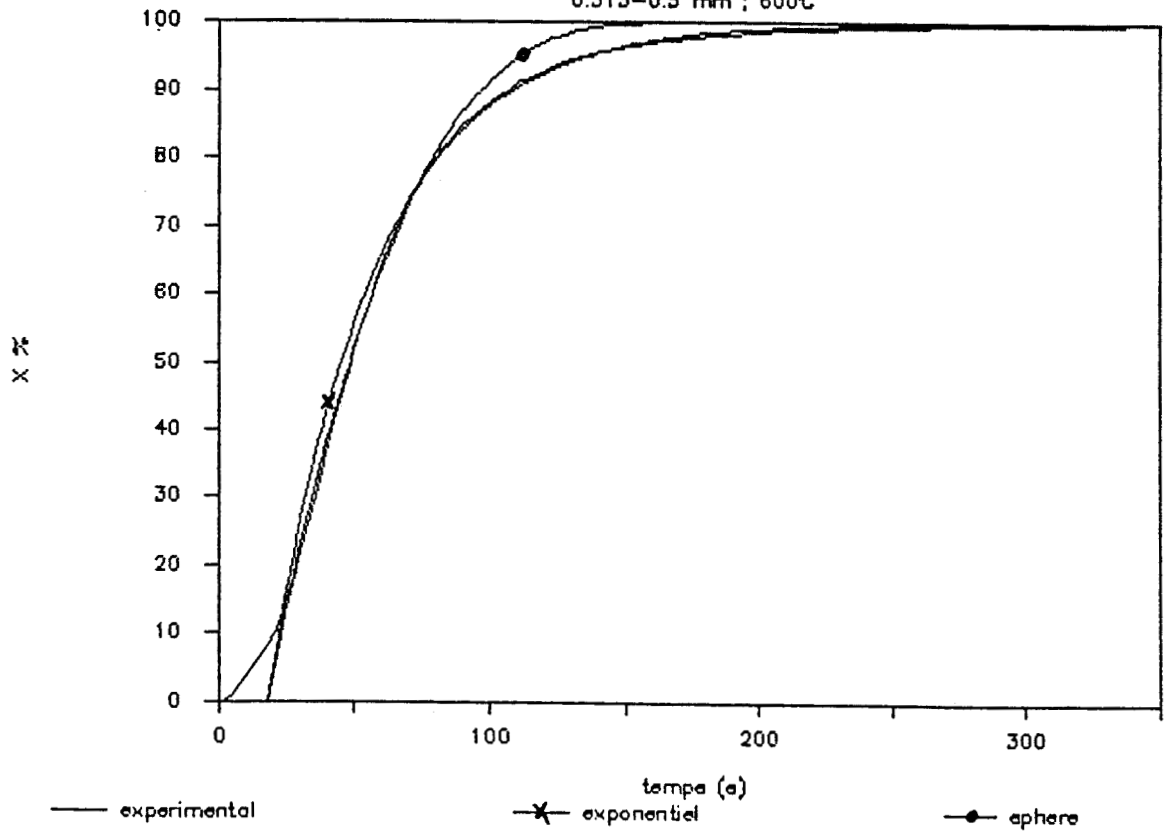
Ulan dévolatilisé in-situ

0.315-0.5 mm, 550°C

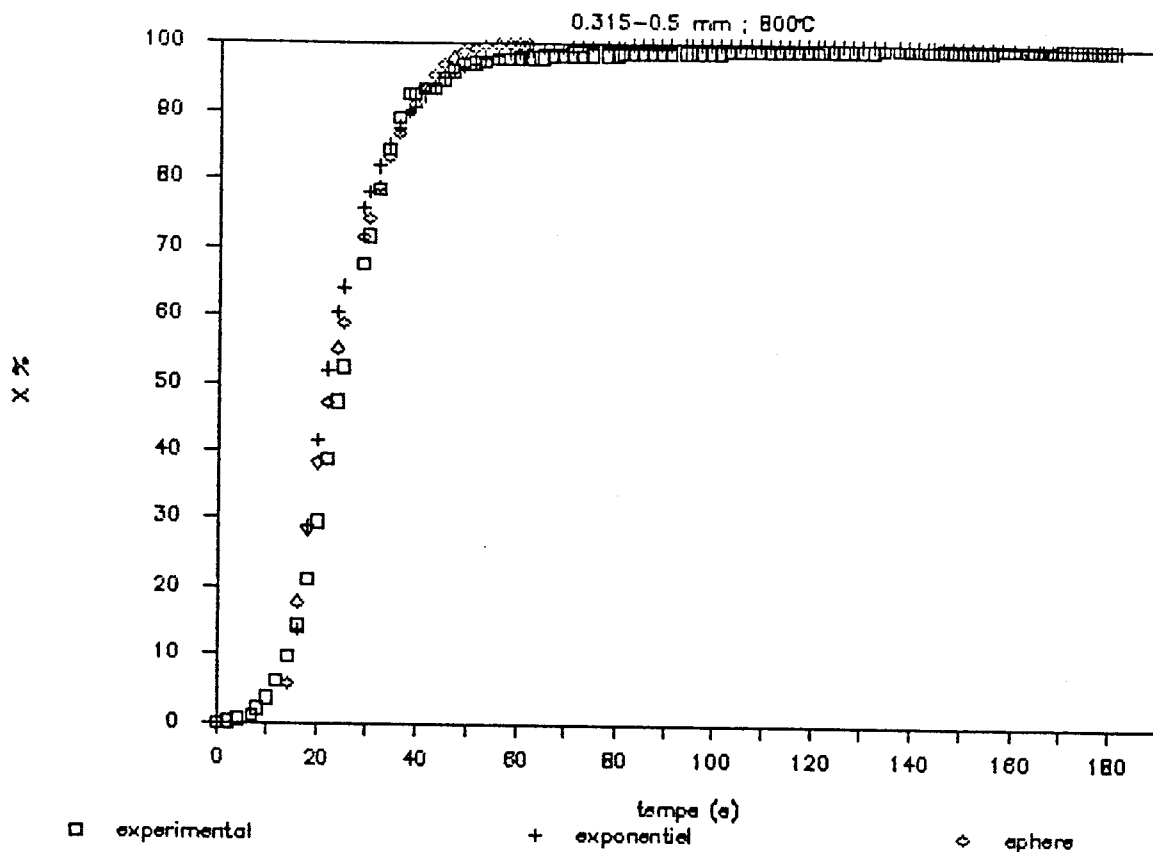


Ulan dévolatilisé in-situ

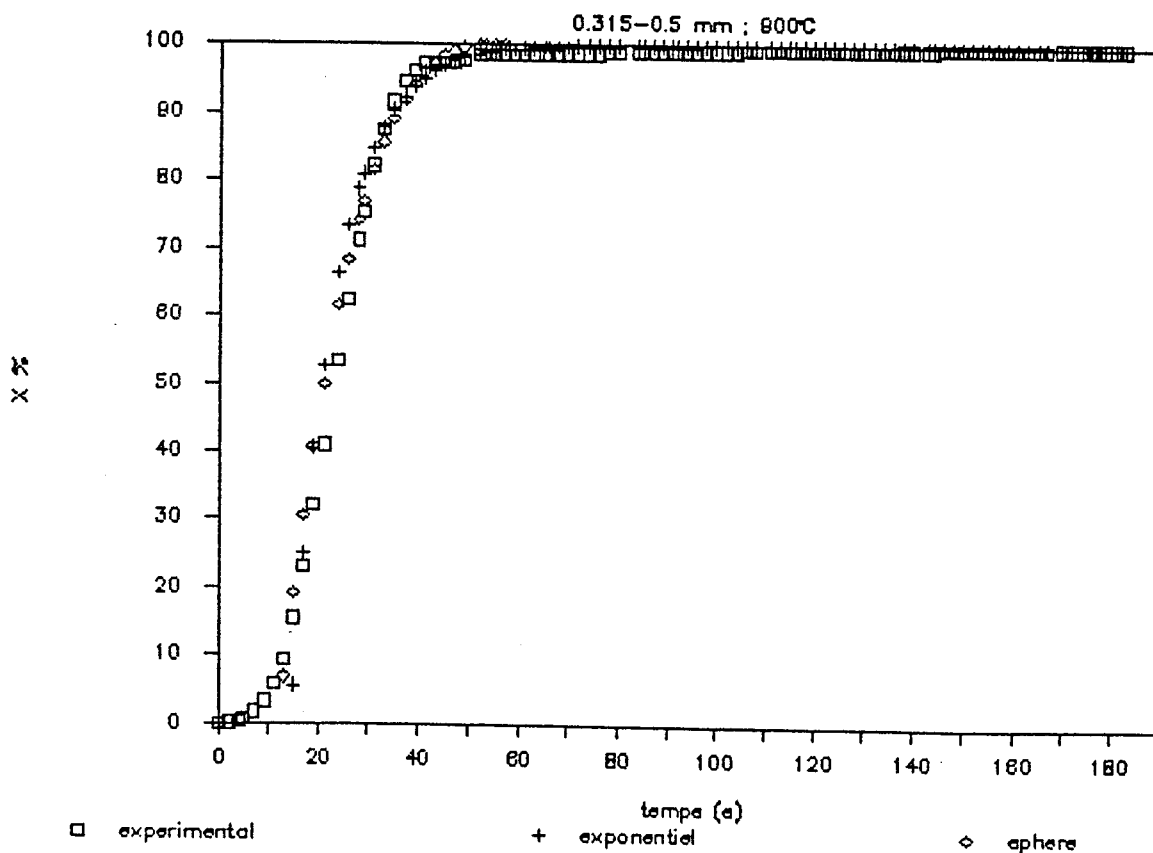
0.315-0.5 mm ; 600°C



Ulan dévolatilisé in-situ

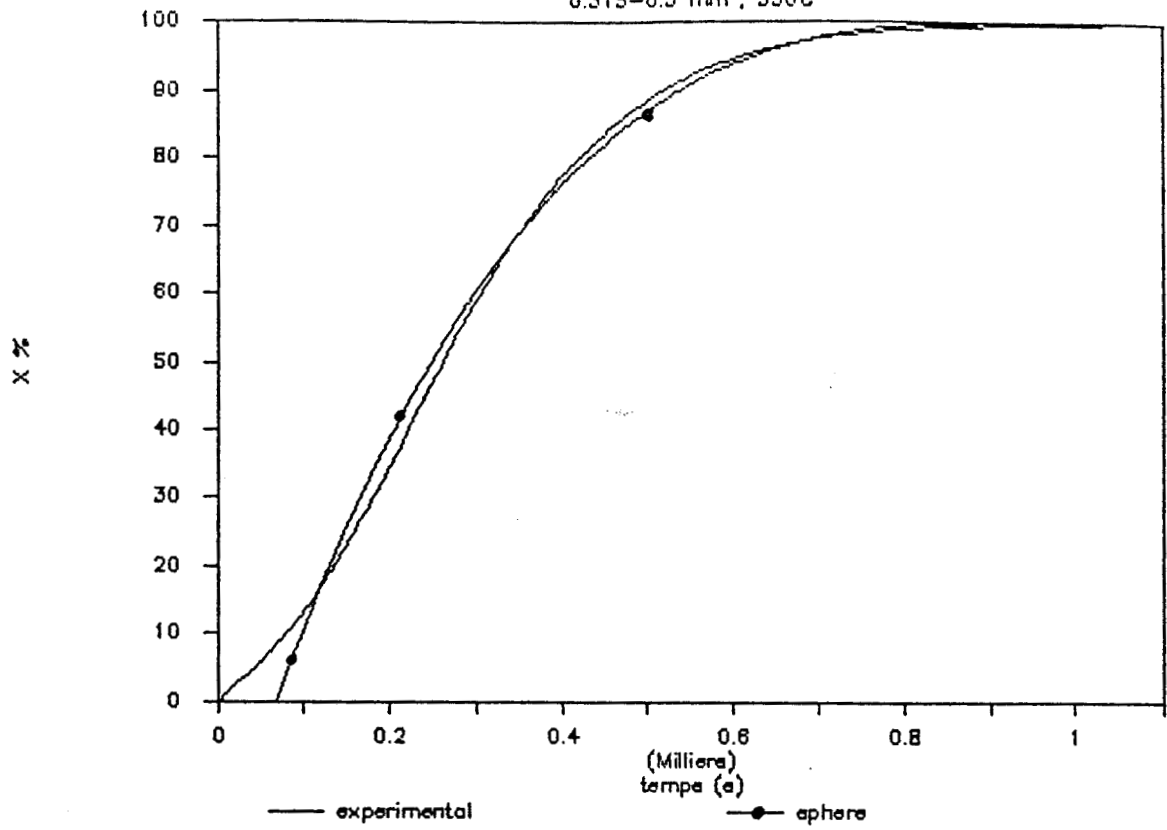


Ulan dévolatilisé in-situ



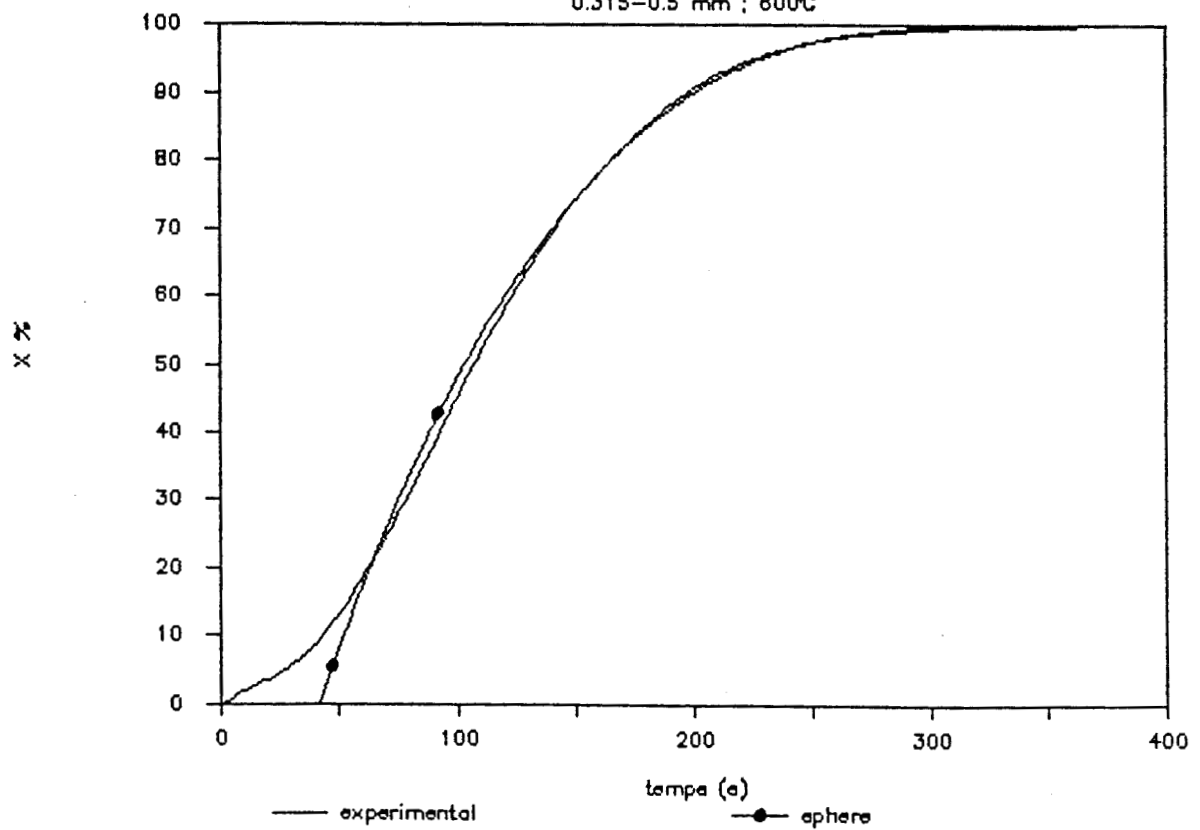
1/4 Gras⁻²³⁶⁻ du Gard devolatilisé in-situ

0.315-0.5 mm ; 550°C



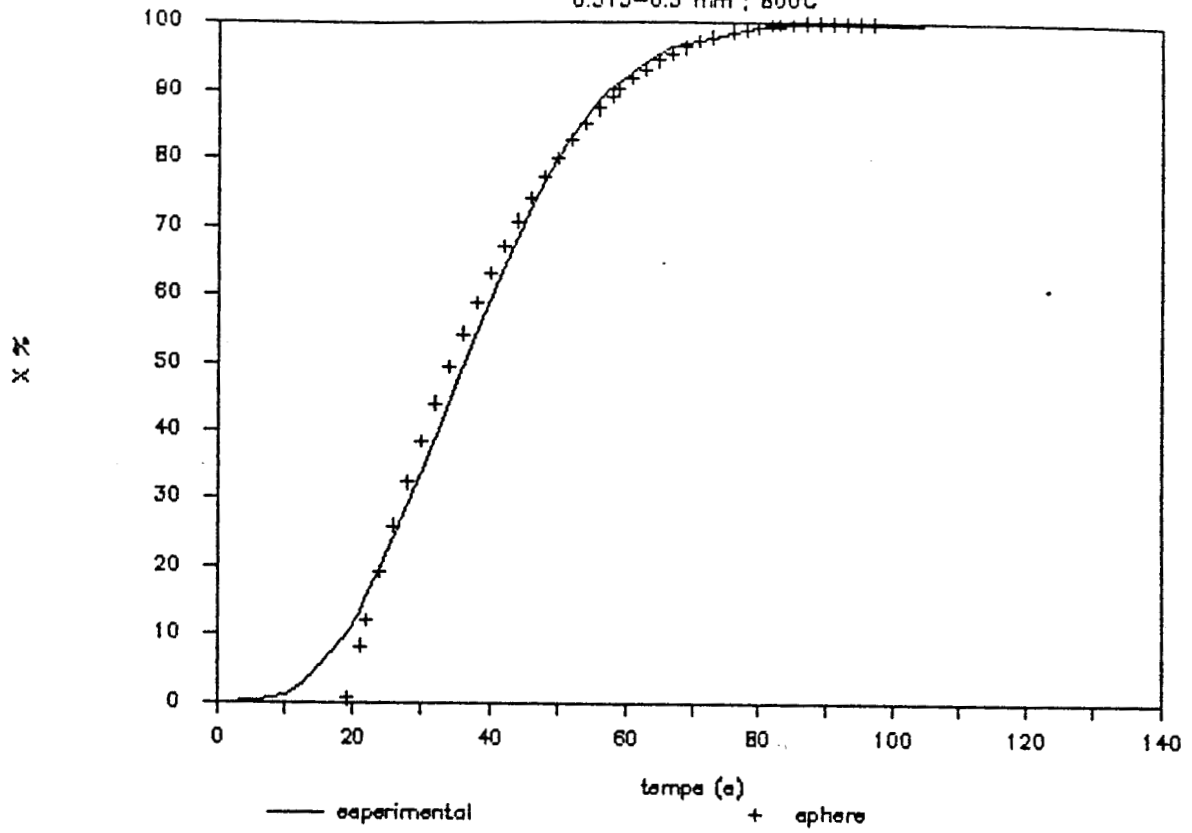
1/4 Gras du Gard devolatilisé in-situ

0.315-0.5 mm ; 800°C



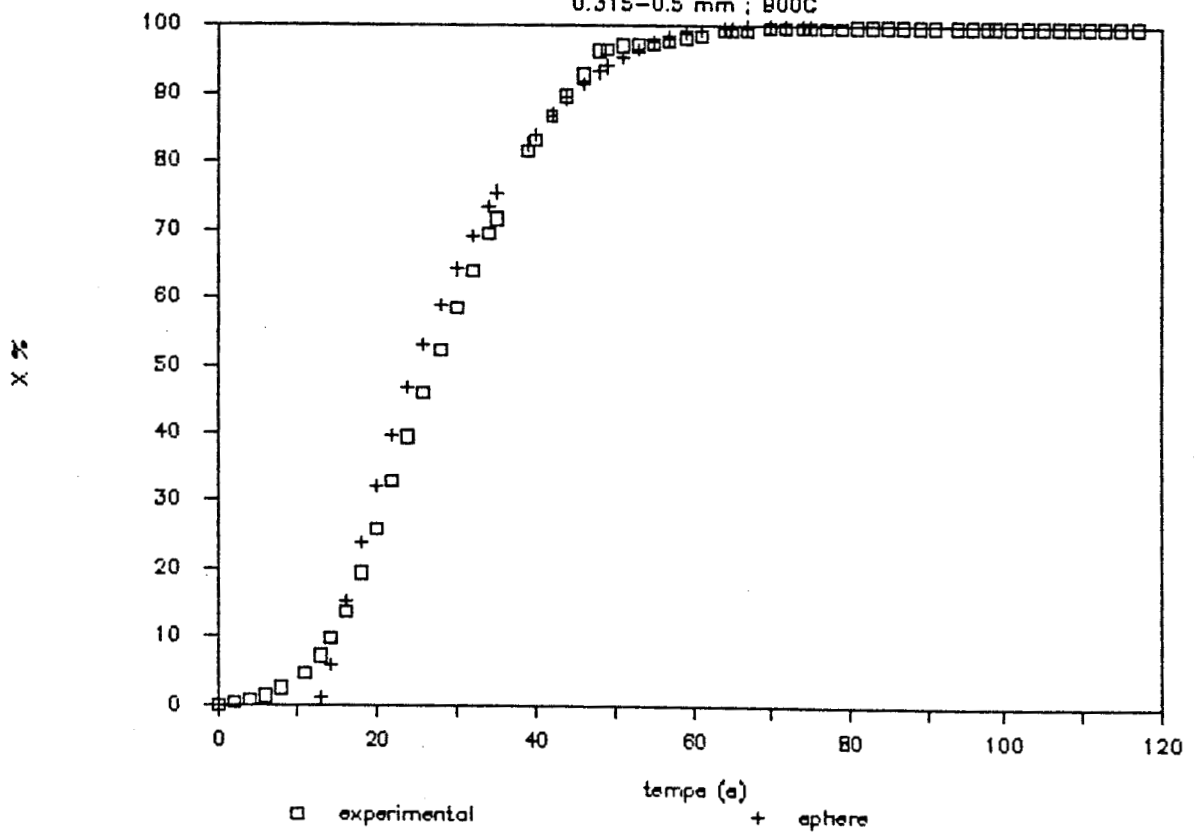
1/4 Gras du Gard dévolatilisé in-situ

0.315-0.5 mm ; 800C



1/4 Gras du Gard dévolatilisé in-situ

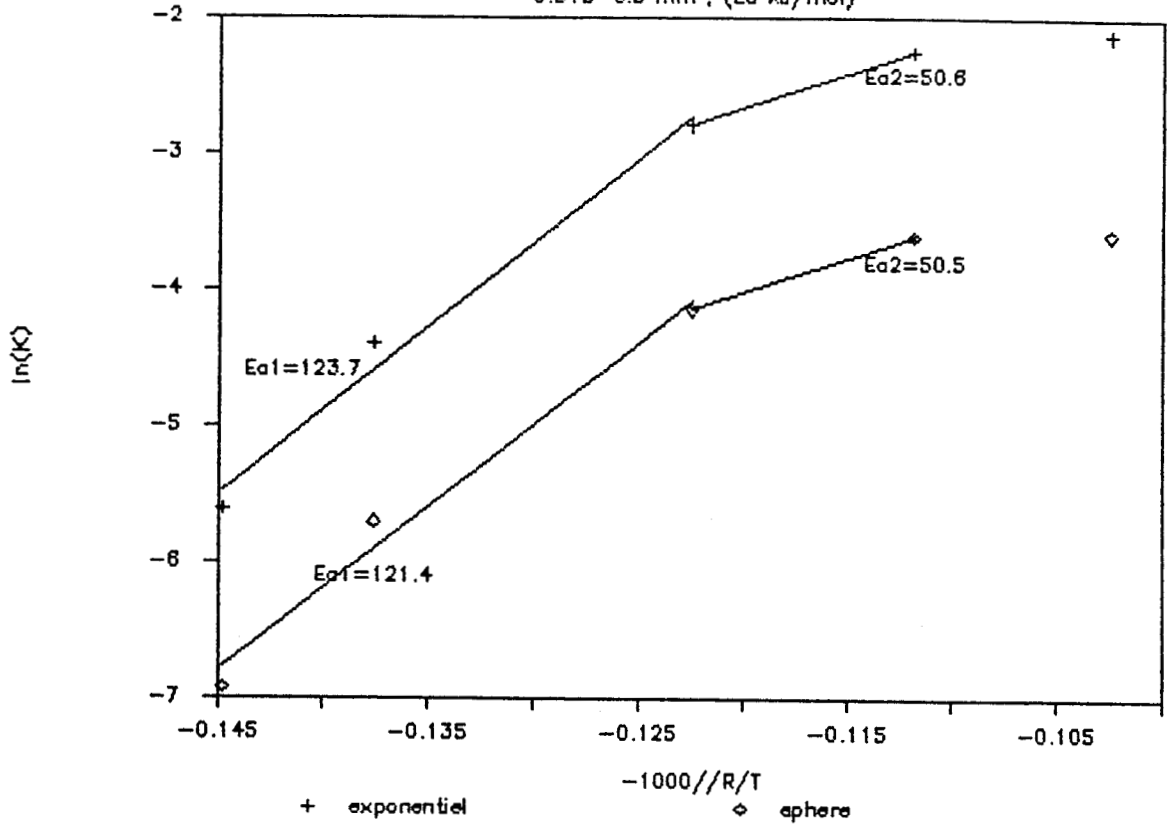
0.315-0.5 mm ; 800C



**ANNEXE 8 : DIAGRAMME D'ARRHENIUS POUR LES
CHARBONS DEVOLATILISES A 950°C
(MODE I)**

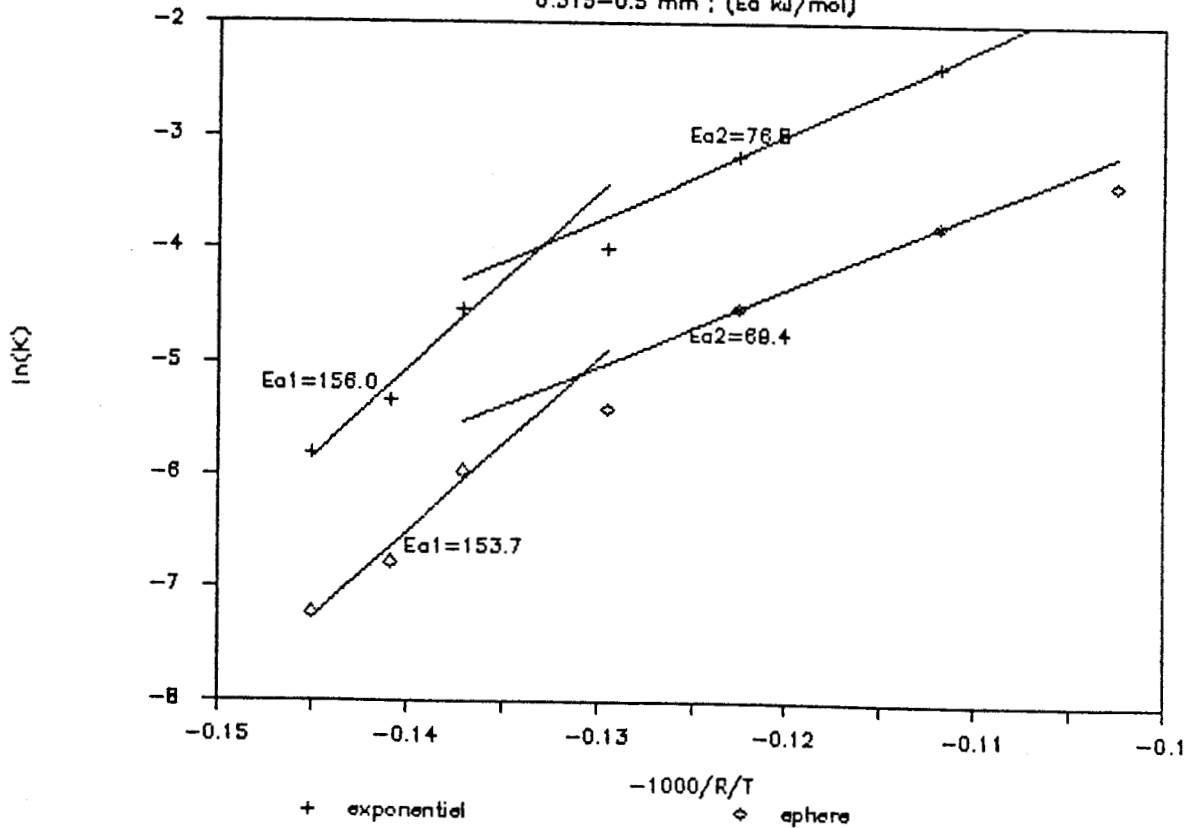
Lignite de Teruel dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



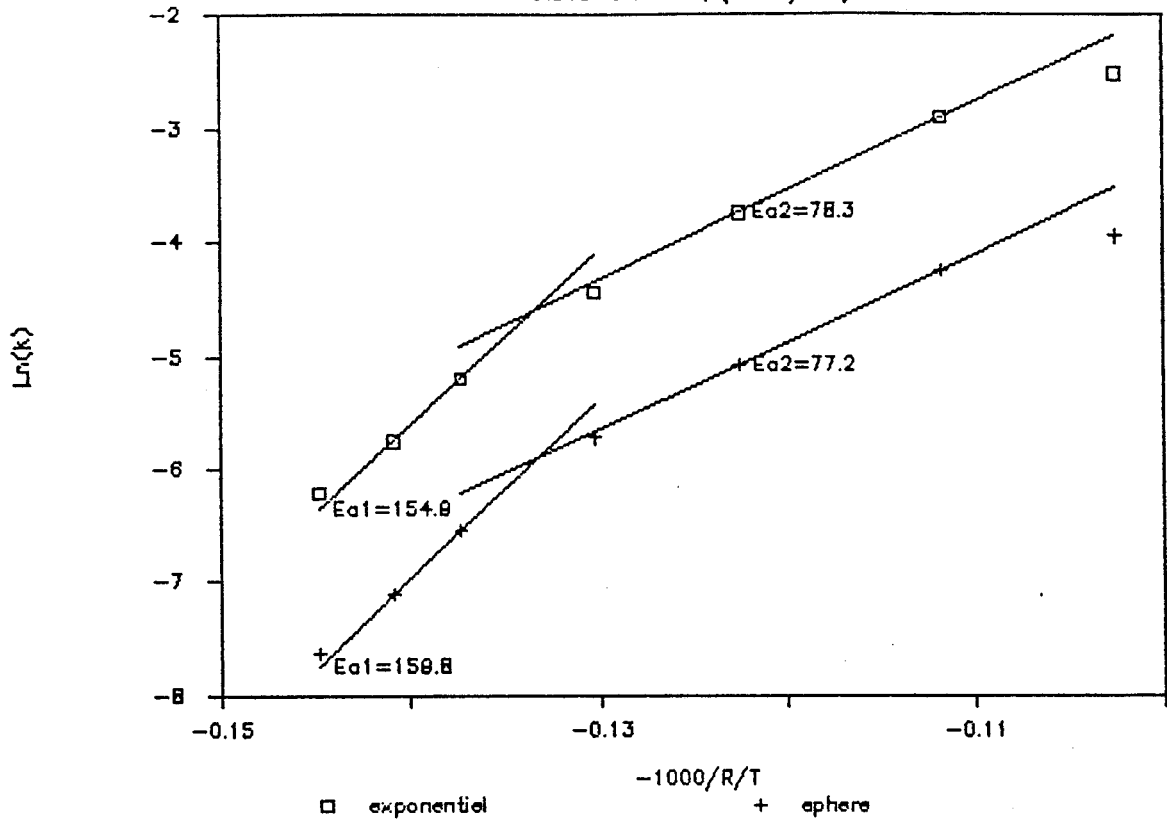
F. de Provence dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



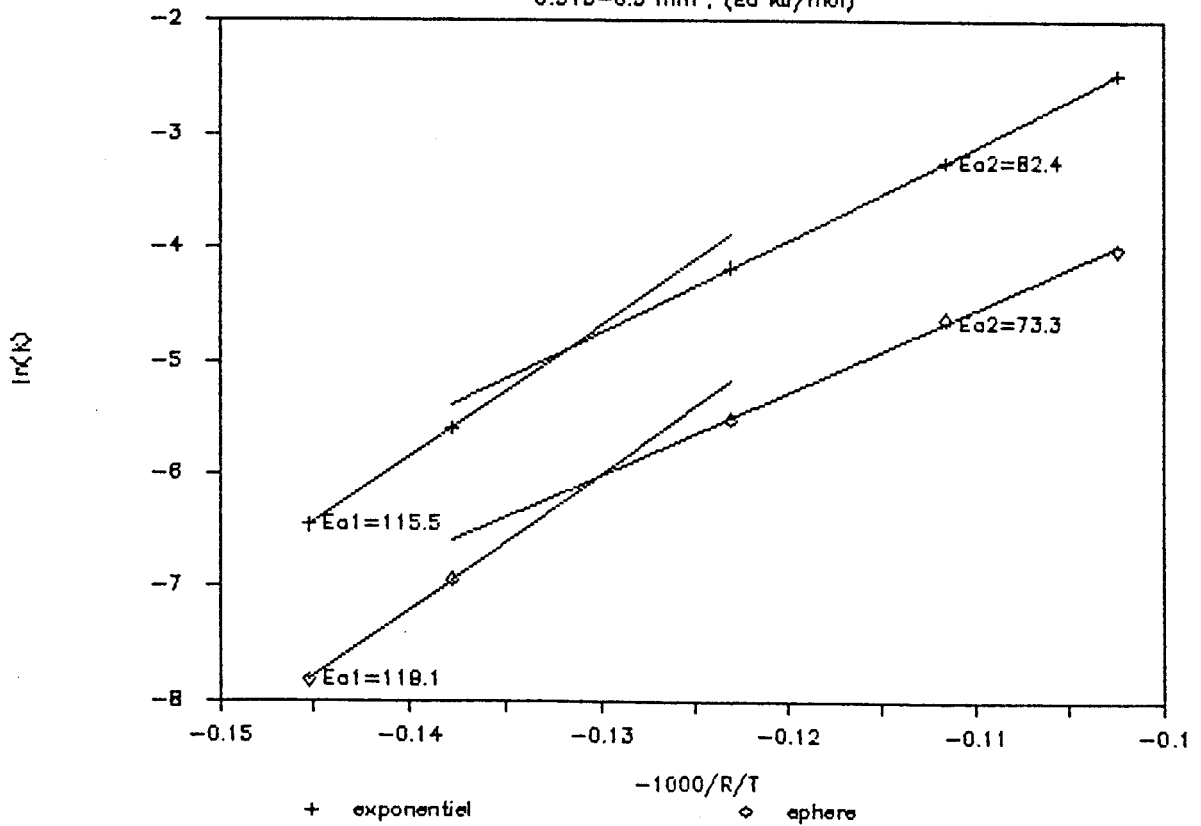
Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



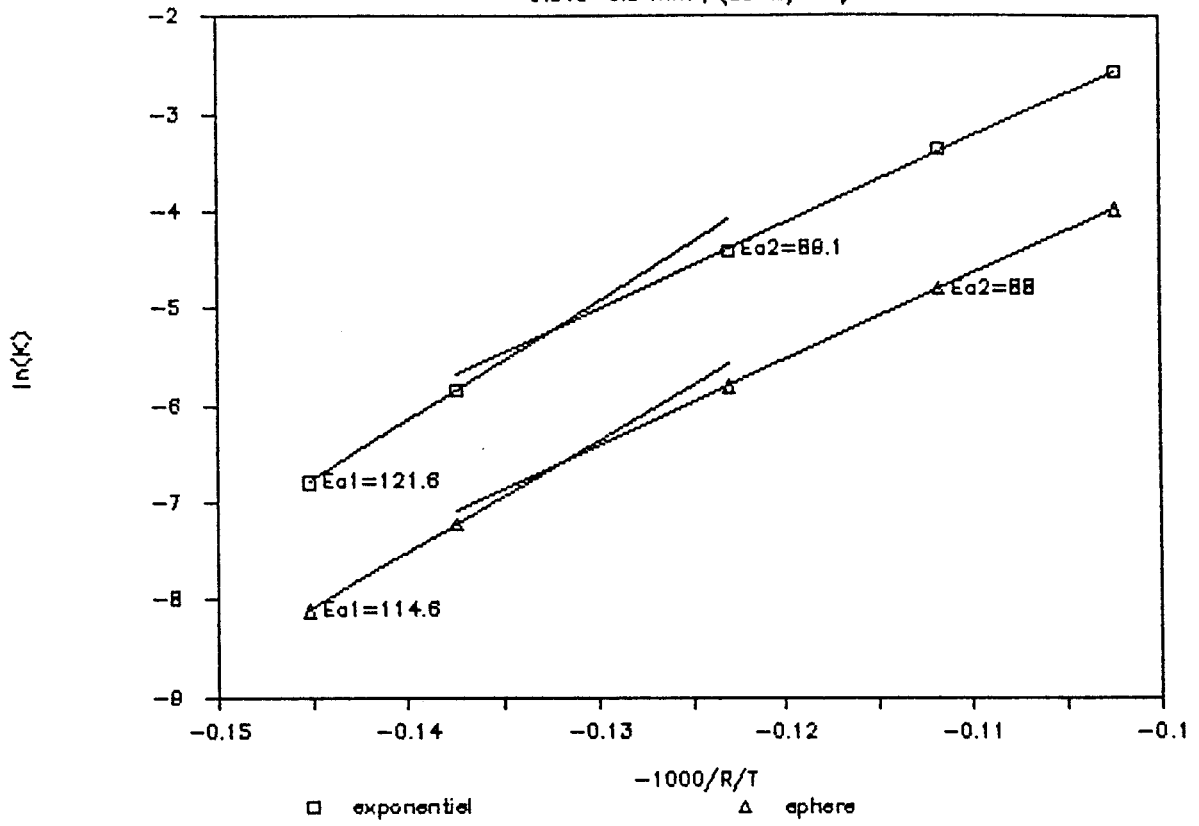
Ankerkohlen dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



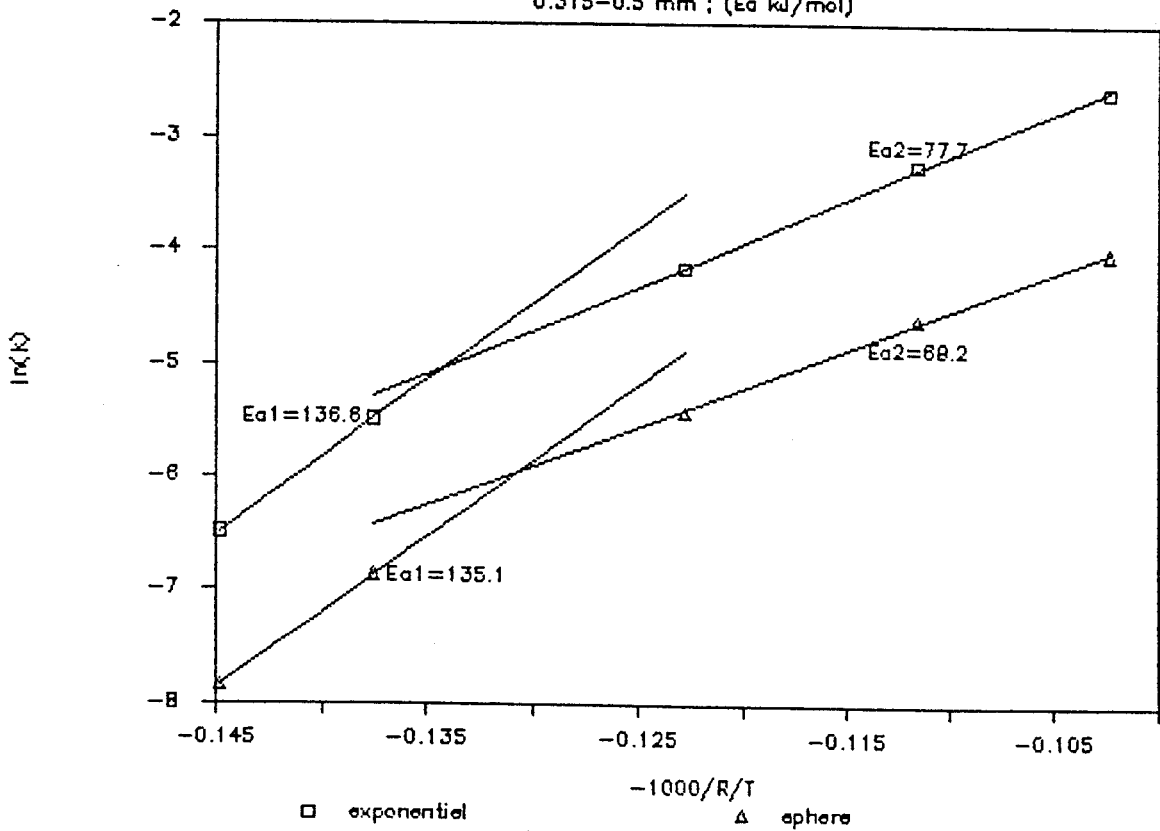
Rietspruit dévolatilise à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



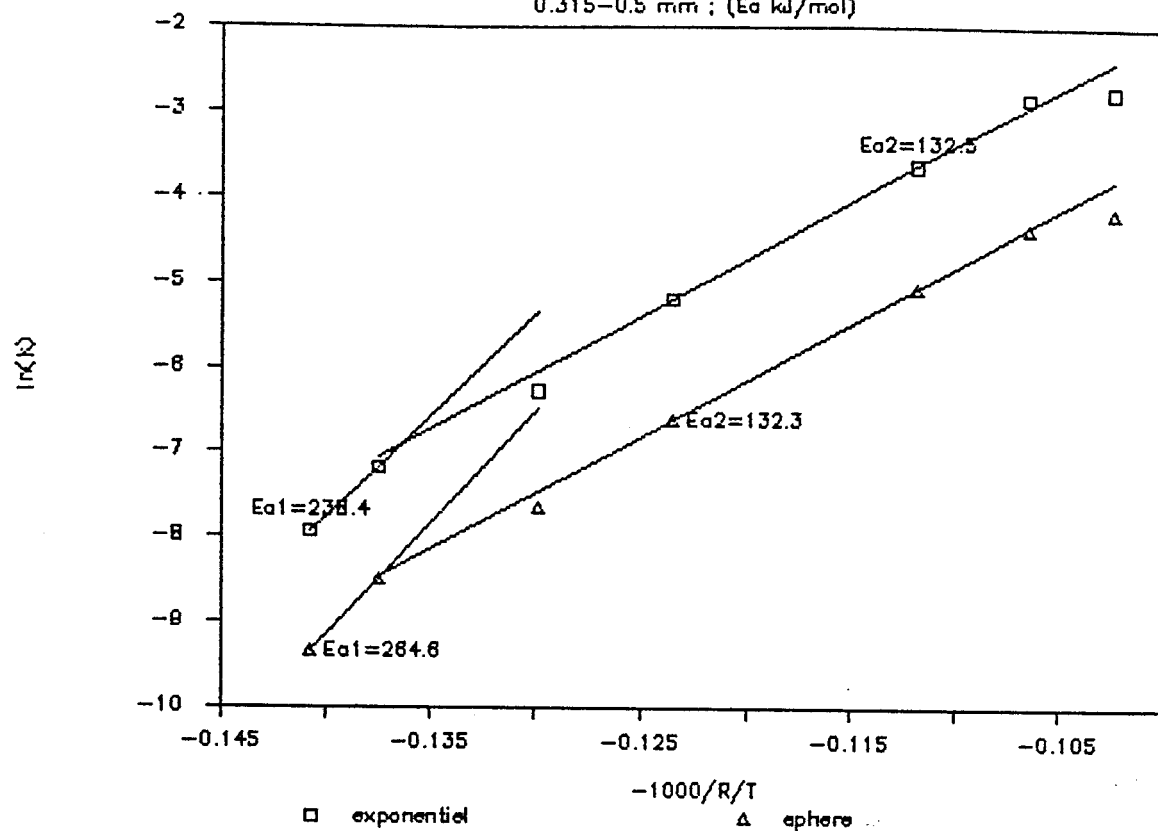
Freymining dévolatilise à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



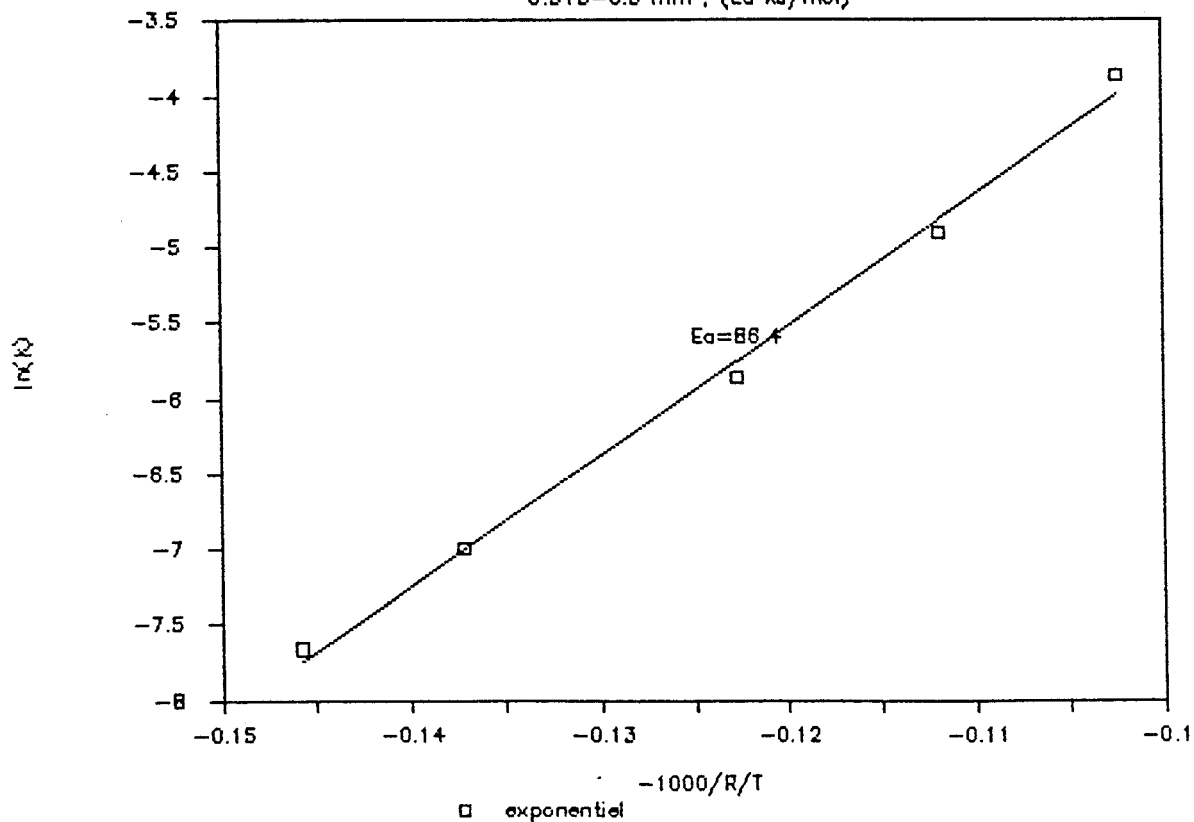
1/4 Gras du Gard dévolatilisé à 950°C

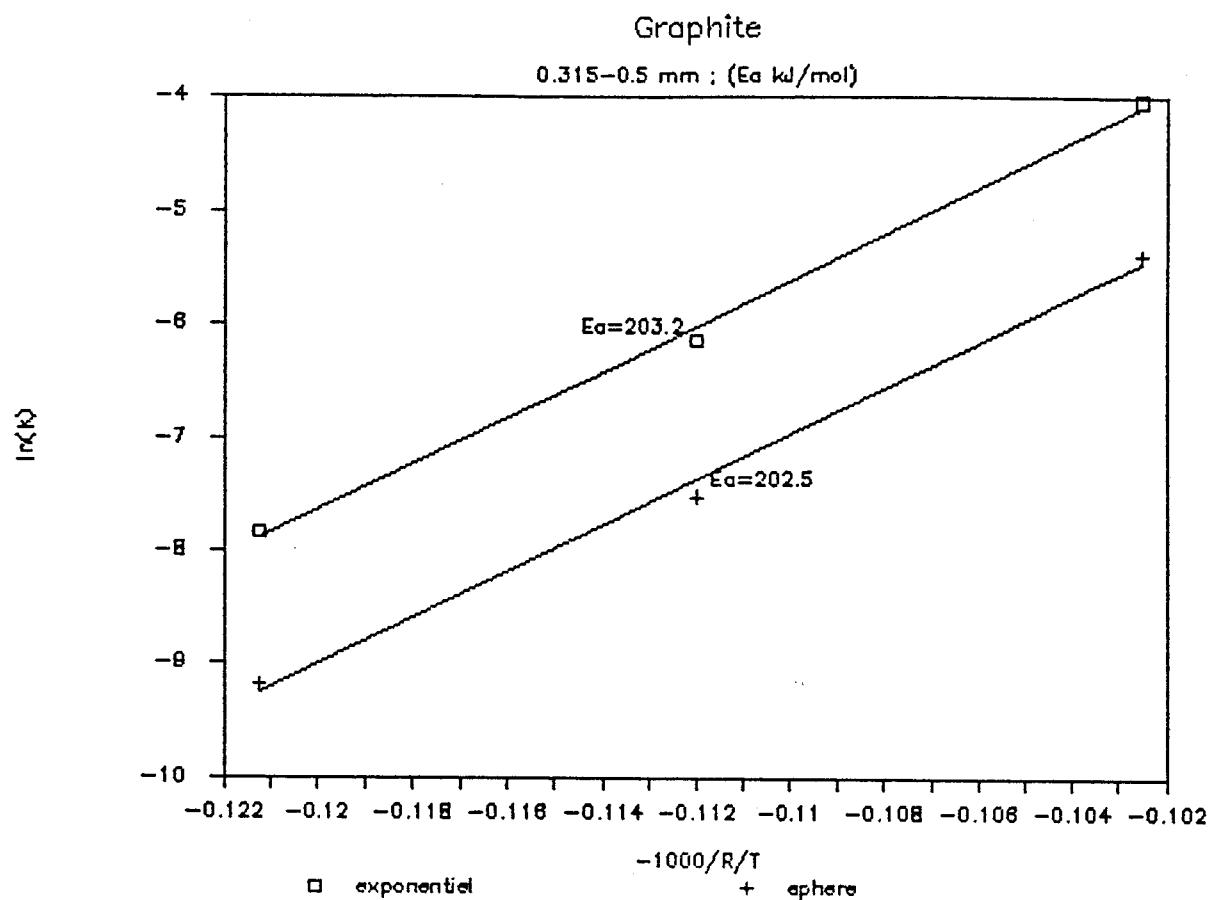
0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)



La Mure dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 mm ; (Ea kJ/mol)





**ANNEXE 9 : DEFINITION DES NORMES
DU CHAPITRE I.3**

I) L'indice de gonflement au creuset

(norme internationale ISO501-1981 (F))

Cet indice est spécifique des propriétés de gonflement du charbon chauffé dans un creuset fermé.

L'échantillon est chauffé dans un creuset fermé, dans des conditions normalisées, jusqu'à une température finale de 820°C. Le culot de coke obtenu est classé par comparaison avec les profils d'une série type. Le numéro du profil qui correspond le mieux à celui du culot de coke obtenu est l'indice de gonflement au creuset, (voir figure A).

II) L'essai au dilatomètre Audibert-Arnu

(norme NF-M 11-006, 1965)

Ce paramètre a pour objet de donner une appréciation de l'aptitude à la cokéfaction d'une houille ou d'un mélange de houilles en ce qui concerne le ramollissement et le gonflement.

Dans un tube étroit calibré avec précision, on introduit un crayon de charbon pulvérisé moulé sous pression, sur lequel on place une tige calibrée en acier (piston), coulissant dans le tube.

L'ensemble est chauffé à une allure bien définie (< 5°C/mm). Une lecture régulière du déplacement du piston en fonction de la température permet, en l'exprimant en pourcentage de la longueur de crayon, de tracer la courbe caractéristique (figure B) :

- a représente la contraction
- b représente la dilation (b peut prendre des valeurs supérieures à 100 %).

III) Détermination du pouvoir agglutinant - Essai Roga

(norme ISO 335 (1974))

L'essai Roga a pour objet l'estimation du pouvoir agglutinant du charbon dans des conditions normalisées. Le pouvoir agglutinant d'un charbon est déterminé par la résistance mécanique du coke obtenu par la carbonisation au creuset, dans

des conditions normalisées, d'un mélange intime de 1g de charbon et de 5g d'antracite normalisé. Ce coke est ensuite soumis à un essai au tambour (ou essai d'abrasion).

L'indice Roga (IR) est donné par la formule :

$$IR = \frac{100}{3m_1} \left(\frac{m_2 + m_5}{2} + m_3 + m_4 \right)$$

où :

- m₁ est la masse totale (g) du coke après carbonisation.
- m₂ est la masse (g) du refus de la passoire avant le premier essai d'abrasion.
- m₃ est la masse (g), du refus de la passoire après le premier essai d'abrasion.
- m₄ est la masse (g) du refus de la passoire après le deuxième essai d'abrasion.
- m₅ est la masse (g) du refus de la passoire après le troisième essai d'abrasion.

La passoire est une passoire de laboratoire en tôle mince à perforations rondes de 1 mm de diamètre.

IV) Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est déterminé à l'aide de la bombe calorimétrique, il s'exprime en J/kg.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) se déduit du PCS par calcul, en retirant la contribution due à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

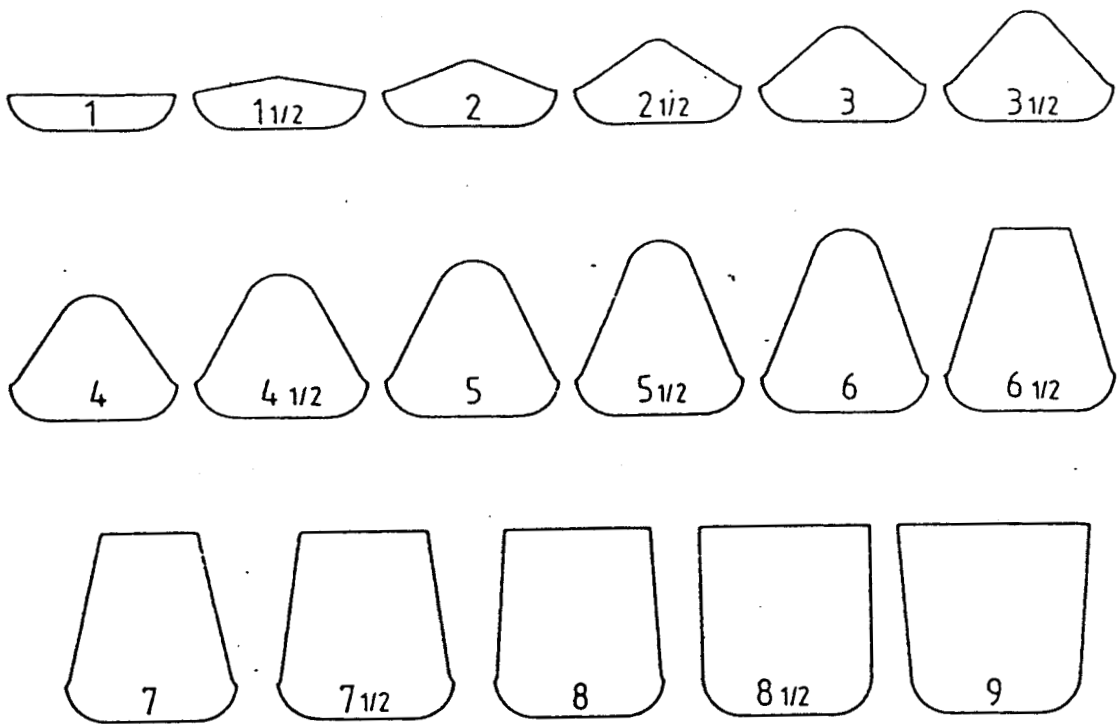
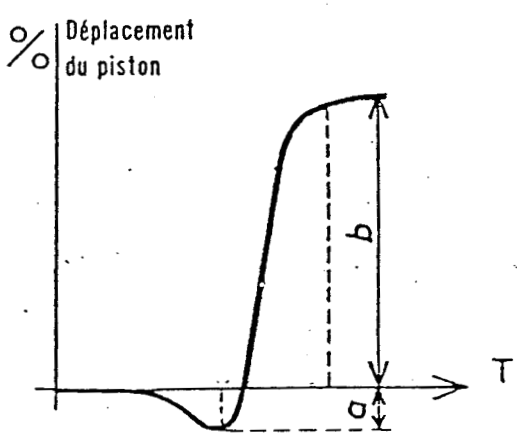


Figure A – Détermination de l'indice de gonflement au creuset – Profils types et indices de gonflement correspondants

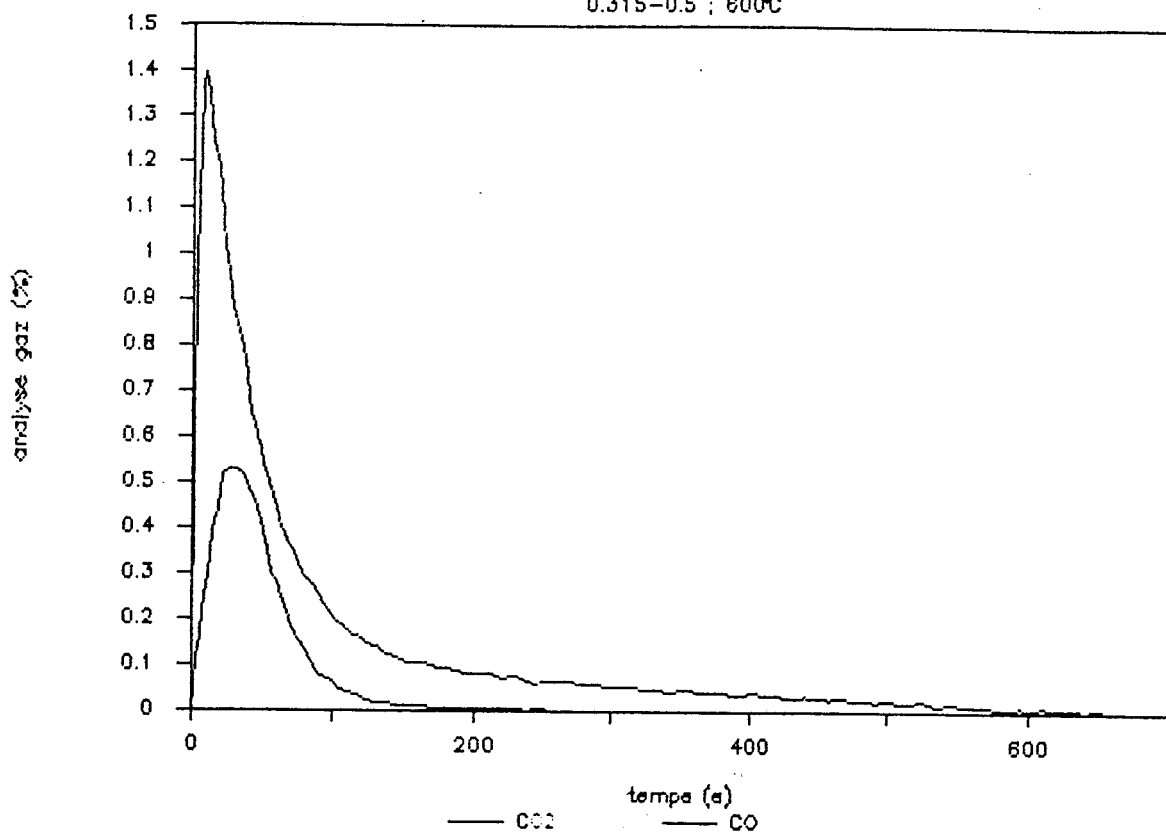


a maximum de contraction en pourcentage.
 b maximum de dilatation en pourcentage.

Fig. B

**ANNEXE 10 : Exemples de courbes d'analyses de CO
et CO₂ enregistrées au cours d'essais**

0.315-0.5 ; 600°C



Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 600°C

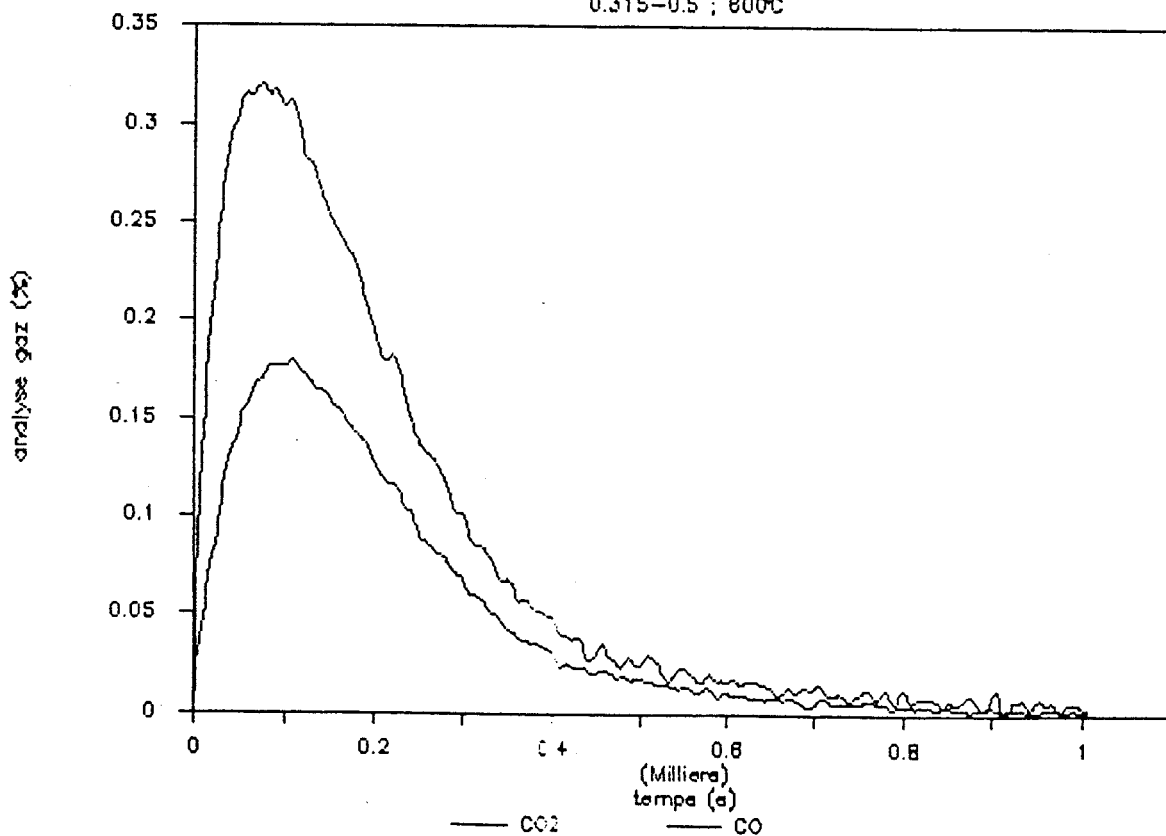
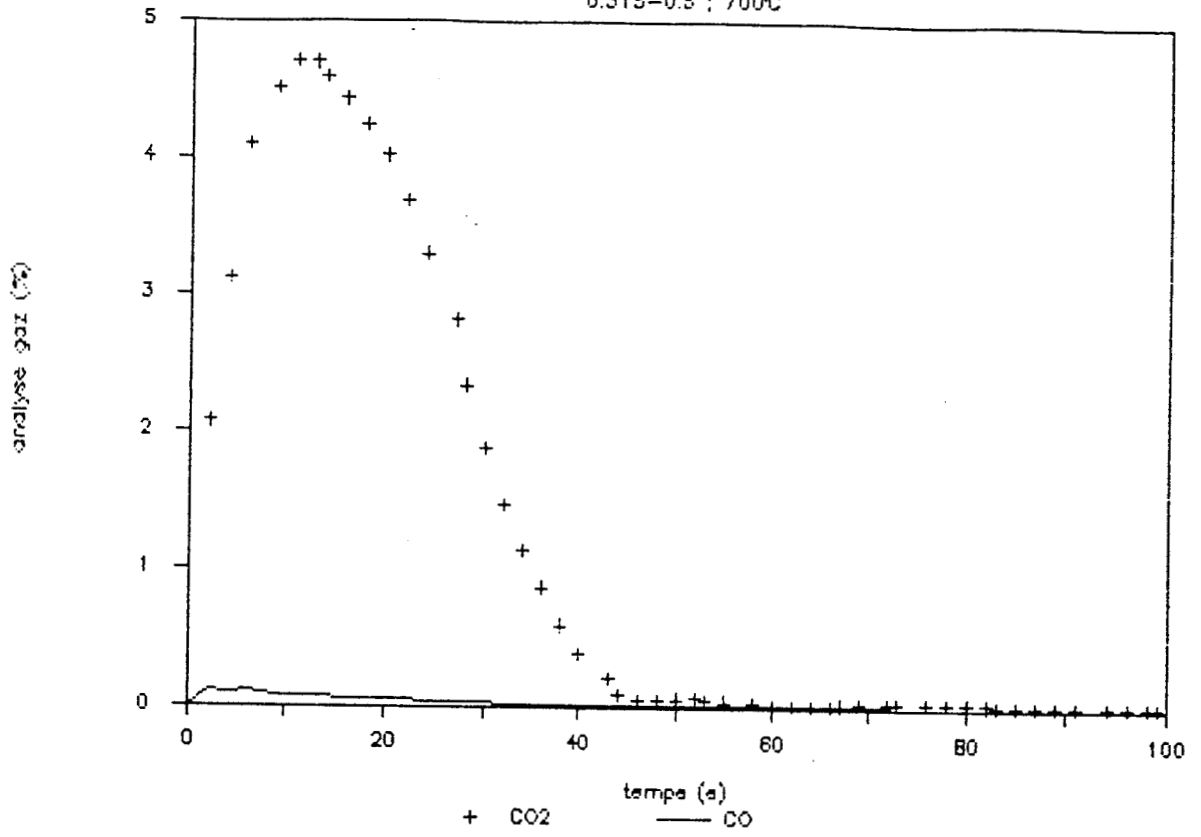


figure V.1 : Profils d'analyse des gaz CO et CO₂, à 600°C.

0.315-0.5 ; 700°C



Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 700°C

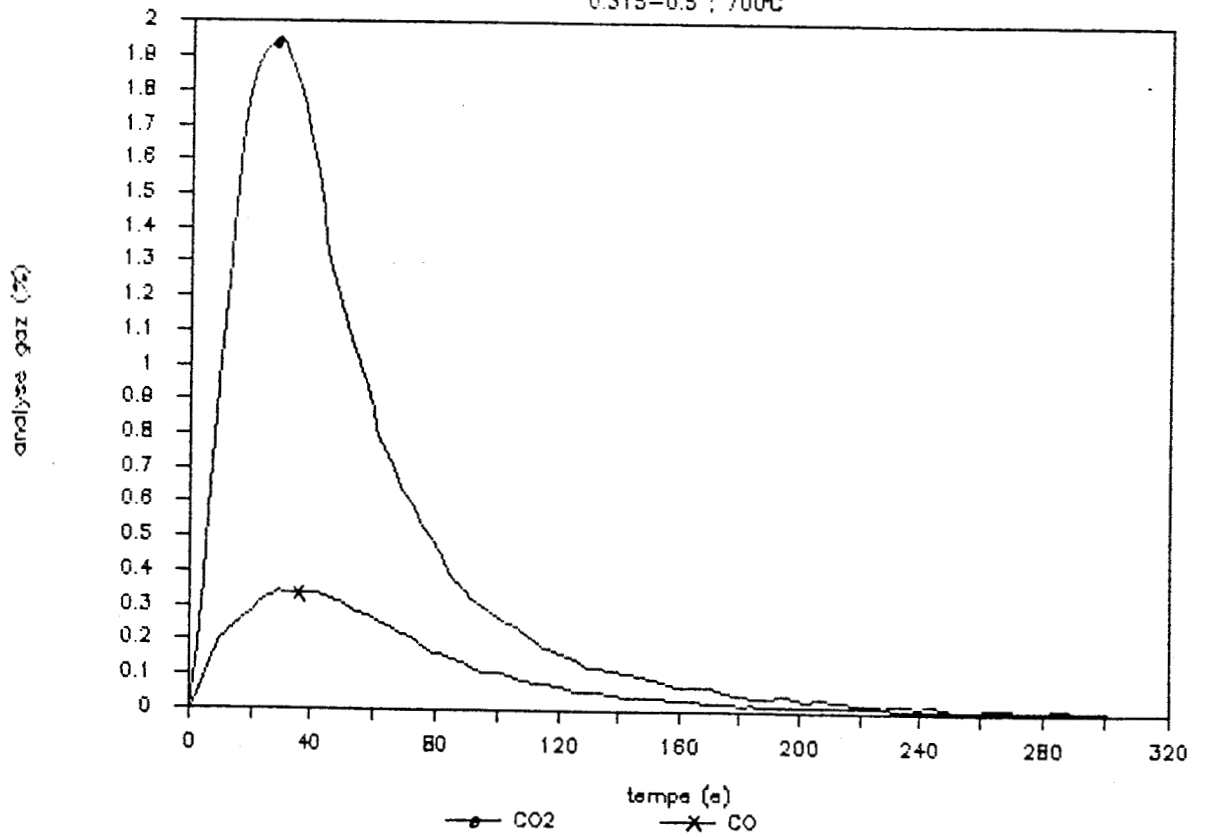
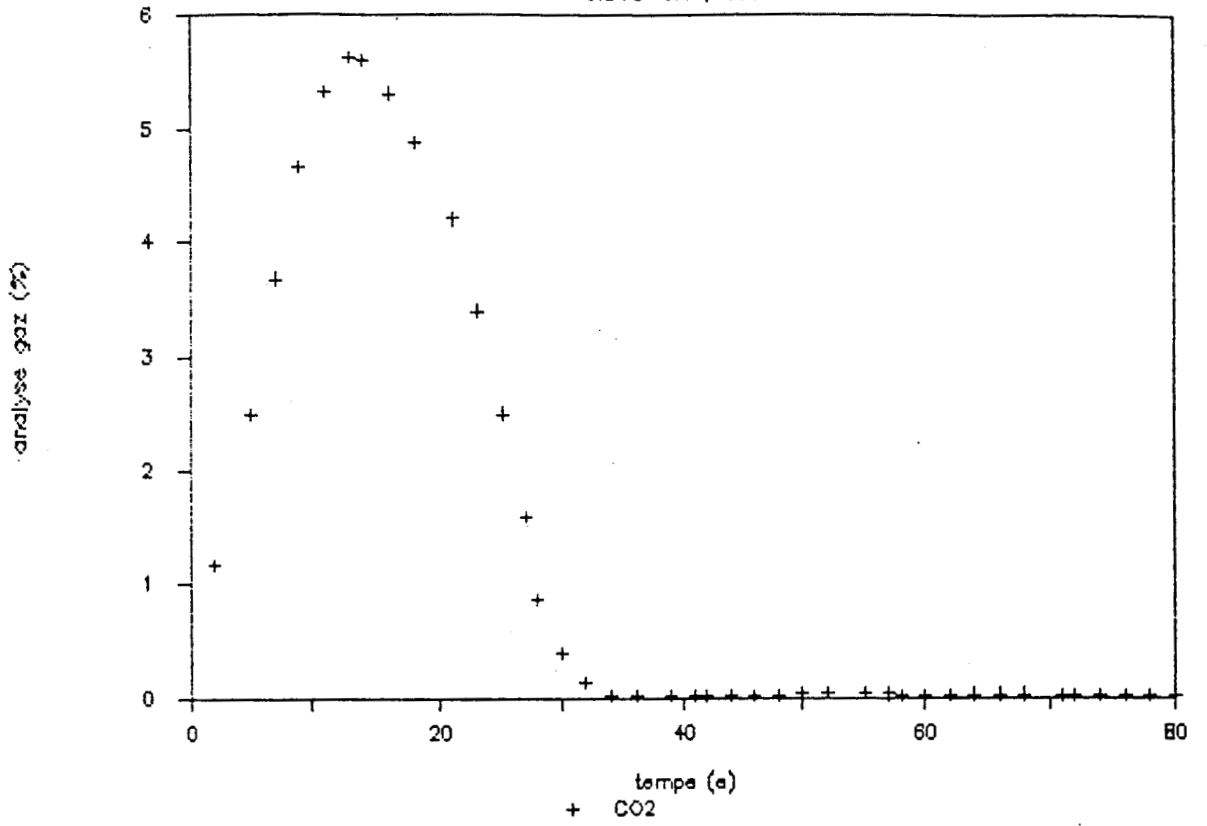


figure V.2 : Profils d'analyse des gaz CO et CO₂, à 700°C.

0.315-0.5 ; 800°C



Ulan dévolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 800°C

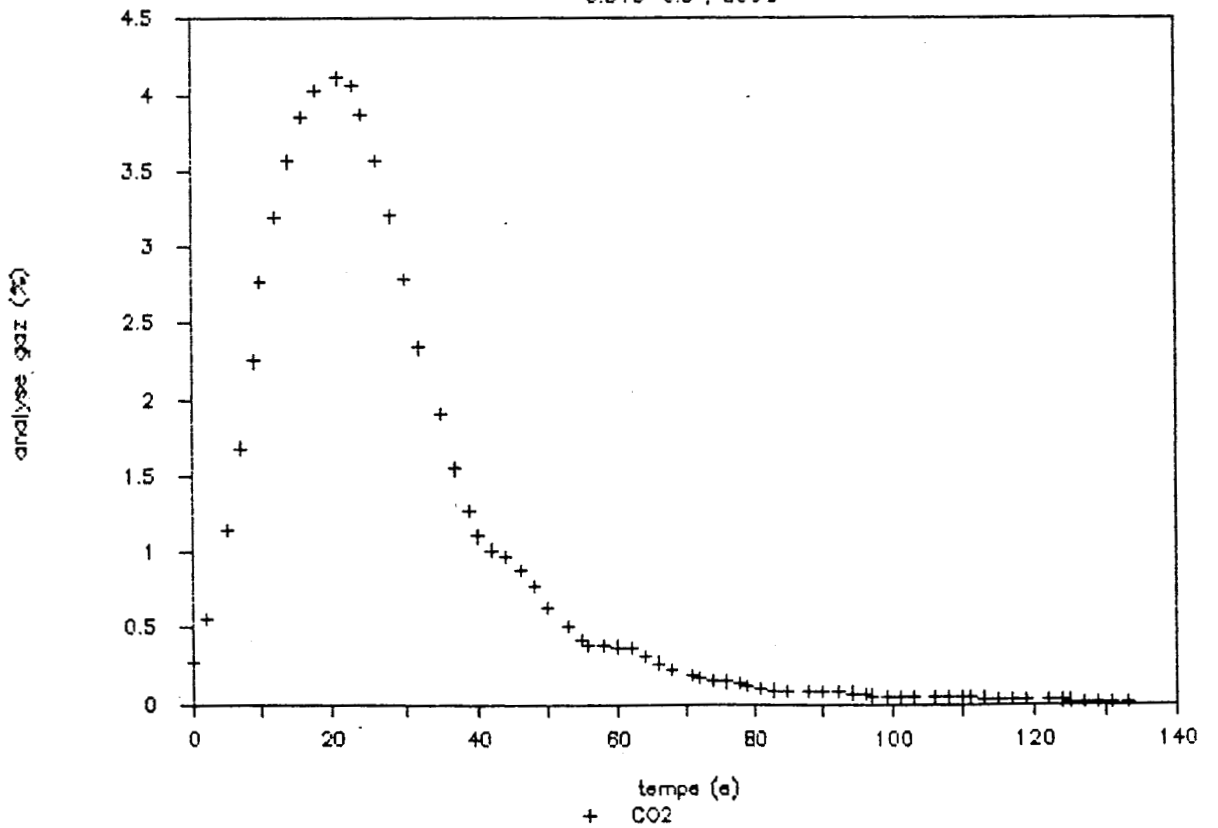
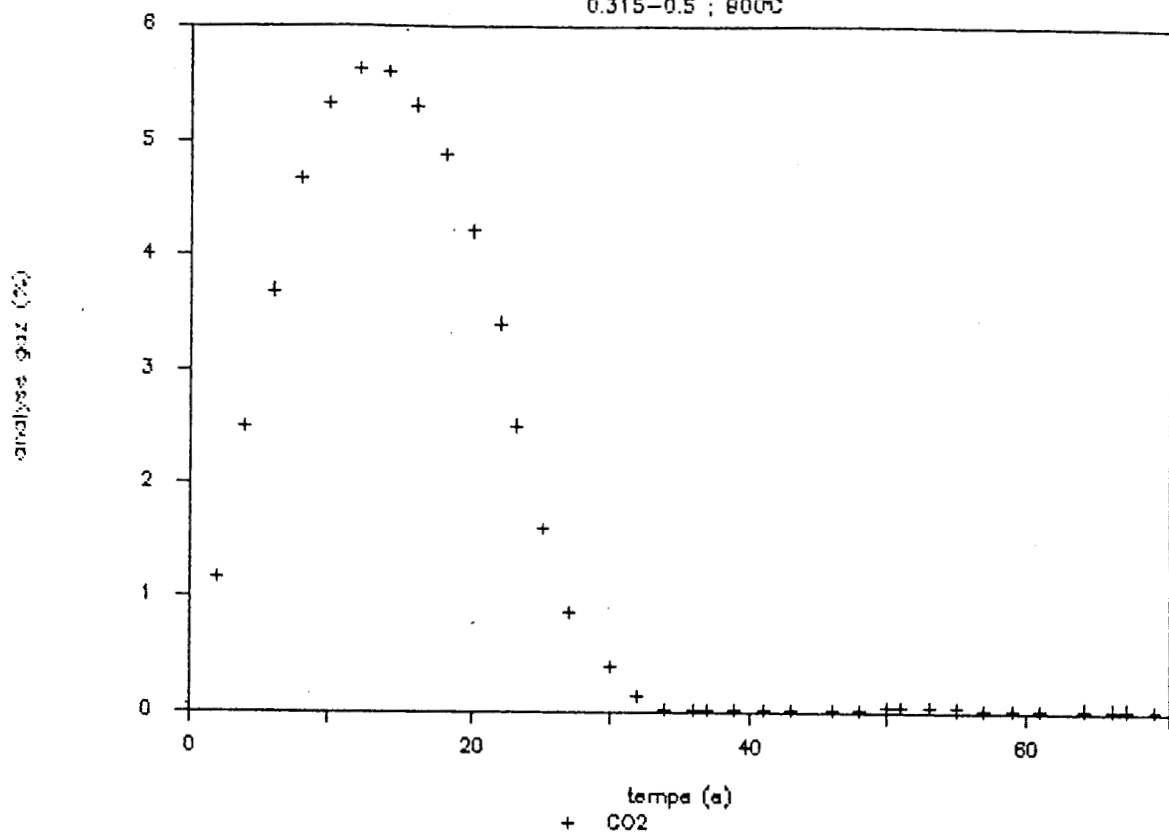


figure V.3 : Profils d'analyse des gaz CO et CO2, à 800°C.

0.315-0.5 ; 900°C



Ulan devolatilisé à 950°C

0.315-0.5 ; 900°C

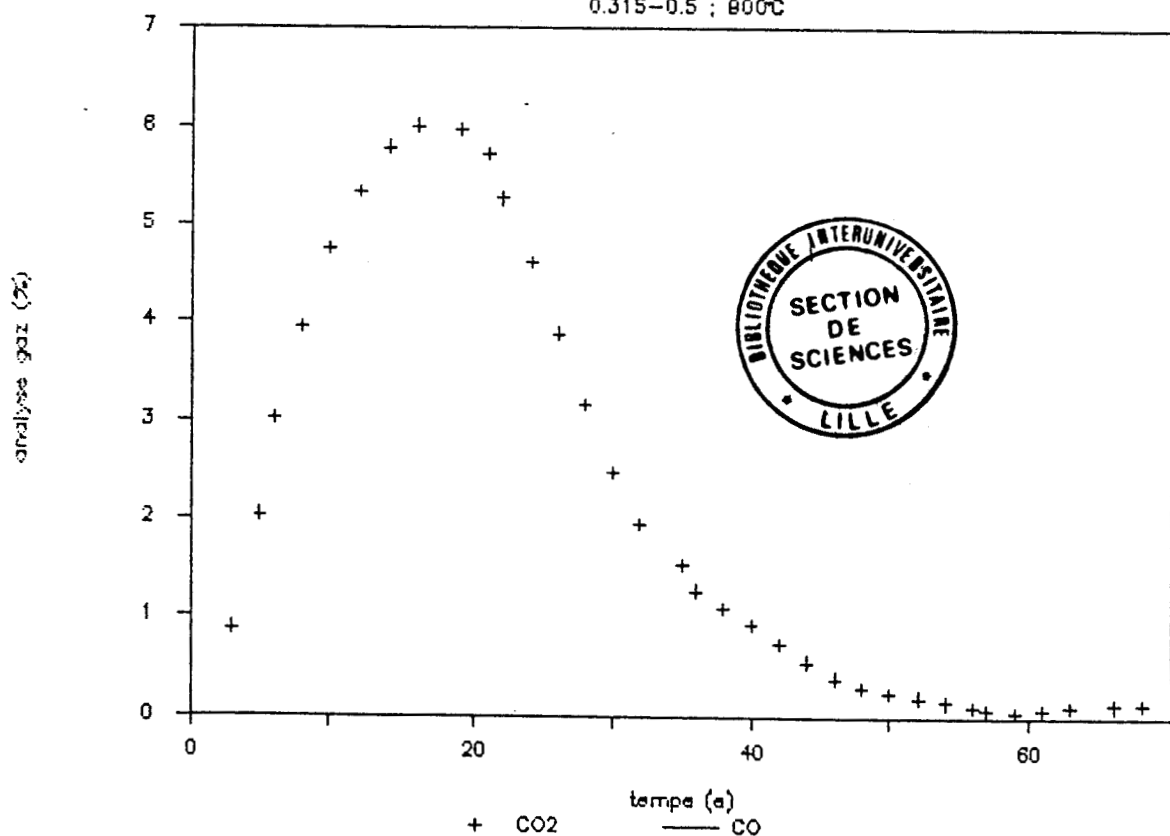


figure V.4 : Profils d'analyse des gaz CO et CO₂, à 900°C.