

COMMISSARIAT A
L'ENERGIE ATOMIQUE

SEEC n° 79
Mars 1970

DIRECTION DE LA PROTECTION
ET DE LA SURETE RADIOLOGIQUES

EXPERIENCES

CRAC.20.1,2,3,4,5

RESULTATS

SERVICE D'ÉTUDES DE CRITICITÉ

Section Expérimentale d'Études de Criticité

DIRECTION DE LA PROTECTION ET DE LA SURETE RADIOLOGIQUES

SERVICE D'ETUDES DE CRITICITE

FB/AF

SECTION EXPERIMENTALE D'ETUDES DE CRITICITE

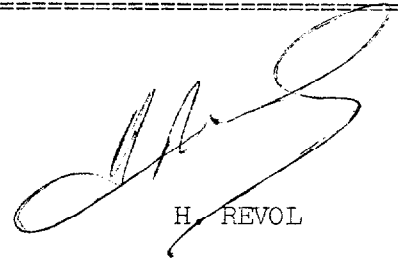
Le 13 AVRIL 1970

B.P. 2I

2I - IS-SUR-TILLE

BORDEREAU D'ENVOI N° S.E.E.C. 70. 297/HR

Désignation des pièces	Nombre d'exemplaires	Observations
- Rapport n° 79 - MARS 1970		
EXPERIENCES C.R.A.C. 20-I, 2, 3, 4, 5;		
RESULTATS.		



H. REVOL

DESTINATAIRES :

- M. l'Administrateur Général 1 ex.
- M. le Haut-Commissaire 1 ex.
- M. le Directeur du Cabinet du H.C. 1 ex.
- M. le Directeur de la Protection et de la Sûreté Radiologiques 2 ex.
- M. le Chef du Département de la Protection Sanitaire/FAR 4 ex.
 - dont 1 ex. M. DOUSSET
 - 1 ex. M. LAGUERRE
 - 1 ex. Mme PARMENTIER
- M. le Chef du Service D'Etudes de Sûreté Radiologique/SACLAY 9 ex.
 - dont 5 ex. CADARACHE
- M. le Chef du Service Technique d'Etudes de Protection/FAR 3 ex.
 - dont 1 ex. M. SOUDAIN
 - 1 ex. M. MARCHAL
- M. le Conseiller médical de la D.A. 1 ex.
- M. le Chef du Service d'Etudes de Criticité 15 ex.
- M. le Chef du Département des Programmes 2 ex.

- Ingénieurs/Station	6 ex.
- Doc/Station	2 ex.
- Bureau d'Etudes	1 ex.
- Calcul	1 ex.
- Mécanique	1 ex.
- M. GRASSER	1 ex.
- Mandat. EST (M. BOULY)	1 ex.
- Chimie	2 ex.
- Physique - Electronique	2 ex.
- M. AGAISSE	1 ex.

*

*

*

S O M M A I R E

=====

- I - BUT DES EXPERIENCES C.R.A.C. 20
- 2 - DETECTEURS UTILISES
- 3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-1
 - 3-1 - Caractéristiques expérimentales
 - 3-2 - Résultats
- 4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-2
 - 4-1 - Caractéristiques expérimentales
 - 4-2 - Résultats
- 5 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-3
 - 5-1 - Caractéristiques expérimentales
 - 5-2 - Résultats
- 6 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-4
 - 6-1 - Caractéristiques expérimentales
 - 6-2 - Résultats
- 7 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-5
 - 7-1 - Caractéristiques expérimentales
 - 7-2 - Résultats
 - 7-3 - Remarque
- 8 - CONCLUSIONS

*

*

*

I - BUT DES EXPERIENCES C.R.A.C. 20

Les expériences CRAC 20 ont pour objet d'étudier la reproductibilité d'un pic de puissance obtenu par introduction à fort débit de solution fissile relativement concentrée en présence d'une source externe ainsi que l'influence de cette source sur les caractéristiques du pic obtenu.

Cinq expériences ont donc été réalisées dans la cuve de diamètre extérieur 300 mm (fig. I) au débit d'introduction d'environ 1500 l/h avec une solution de nitrate d'Uranyle de composition :

C_u total	:	C_u 235	:	H +	:	NO_3^-	:	densité
g/l	:	g/l	:	N	:		:	
217,8	:	202,8	:	2,32	:	4,165	:	1,369

Une source de 200 mc a été placée sous le fond de la cuve expérimentale durant les trois premières expériences.

*

*

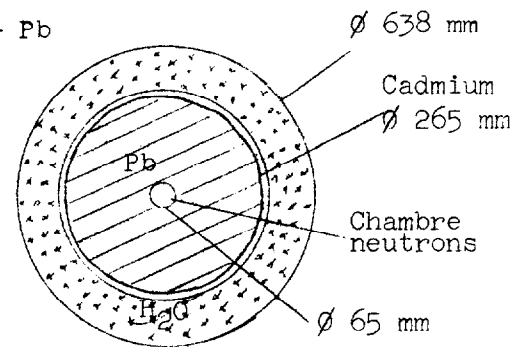
*

2 - DETECTEURS UTILISES (fig. 2)

L'évolution de la puissance est suivie par deux types de chambres :

- une chambre d'ionisation à neutrons du type CCC BB (dépôt de bore) placée derrière un écran $H_2O + Cd + Pb$

- . Plomb 100 mm
- . Cadmium 8/10 mm
- . H_2O 186 mm



- une chambre d'ionisation gamma à haut flux (type CGHF) placée derrière un écran de 20 cm de plomb.

L'écran de plomb arrête en effet les rayonnements gamma en provenance de la source mais en émet à son tour par réactions diverses des neutrons dans le massif de plomb (principalement des réactions de capture sur l'antimoine et le plomb ainsi que des diffusions inélastiques).

La mesure ainsi obtenue est parfaitement proportionnelle à la puissance.

*

*

*

3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20 - I

3-I - Caractéristiques expérimentales :

- présence d'une source de 200 mc
- hauteur critique H_c 27,20 cm
- hauteur de début d'introduction 4,96 cm
- hauteur en fin d'introduction 30,3 cm
- volume total 20,9 l
- temps d'introduction 44,71 s
- temps de passage à H_c 40,54 s
- débit moyen d'introduction 1385 l/h
- Réactivité potentielle introduite \approx 1700 p.c.m.
- Durée de l'expérience 4 mn 30 s

3-2 - Résultats :

3-2-I : Radiochimie - nombre total de fissions.

- Résultats des analyses radiochimiques :

P. F.		: Nombre de fissions
Mo	99	: 2,16 . 10 ¹⁷
Ce	143	: 1,93 . 10 ¹⁷
Ru	103	: 2,10 . 10 ¹⁷
Te	132	: 1,94 . 10 ¹⁷
Ce	144	: 1,89 . 10 ¹⁷

Moyenne : 2,0 . 10¹⁷ fissions
 Ecart type : \pm 6 %

3-2-2 : Evolution de la puissance (voir fig. 3 et 4)

- Caractéristiques du 1er Pic :

. Sommet du pic	2,17 s
. Puissance maximum	$5,3 \cdot 10^{17}$ fissions/s
. Temps de doublement minimum	5,9 ms
. Nombre de fissions dans le pic (entre 0 et 3 s)	$2,03 \cdot 10^{16}$ fissions

3-2-3 : Evolution du flux gamma :

Cette évolution est suivie par une chambre d'ionisation à haut flux (type CGHF) placée à 3 m de l'axe de la cuve expérimentale (fig. 5)

3-2-4 : Température (fig. 6)

L'évolution de la température est donnée par deux thermocouples (TC₂ dans la solution - TC paroi contre la paroi externe de la cuve) ayant un temps de réponse de l'ordre de la milliseconde.

3-2-5 : Réactivité :

- Expériences de divergence :

Des expériences préliminaires de divergence ayant pour but de déterminer la réactivité du millimètre de solution ont été effectuées. Les résultats obtenus figurent dans le tableau ci-après :

.../...

	H_c cm	H sur critique cm	$\Delta H =$ H - H_c cm	temps de double- ment T_2 en s	Réactivi- té ρ en p.c.m.	effet du mm $\frac{\rho}{\Delta H}$ en pcm/ mm
Expérience D1 - 20	27,20	27,43	0,23	14,66	233,5	101,5
Expérience D2 - 20	27,20	27,51	0,31	8,51	307	99,0
Expérience D3 - 20	27,20	27,64	0,44	3,73	430	97,7

- calcul du K_{eff}

Rappelons que le calcul du K_{eff} est effectué à partir des équations de la cinétique transformées en système d'équation aux différences finies utilisant la variation des comptages neutron pendant un intervalle de temps court.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{I}{\bar{v}} X_i = \frac{(I - \beta_{eff}) K_{eff} - I}{\ell} \frac{x_i}{\bar{v}} + \sum_{j=1}^6 \lambda_j C'_{j,i} \\ \frac{C'_{j,i} - C'_{j,i-1}}{\Delta t} = -\lambda_j C'_{j,i} + \frac{\beta_{eff} K_{eff}}{\ell} \frac{X_i}{\bar{v}} \end{array} \right.$$

avec $X_{i-1} = \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}$ (x_i comptage).

$$C'_{j,i} = \epsilon \cdot v \cdot \Sigma_F \cdot C_j$$

(ϵ sensibilité du système de comptage).

.../...

Les constantes ci-après ont été utilisées pour le calcul de l'évolution du K_{eff} (fig. 7).

. neutrons retardés

Groupe	1	2	3	4	5	6
$\beta_i \%$	0,021	0,139	0,126	0,252	0,074	0,025
$\lambda_i \text{ s}^{-1}$	0,0124	0,0305	0,111	0,301	1,13	3,00
ϵ_i (efficacité)	1,381	1,305	1,348	1,310	1,348	1,200

$$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \epsilon_i \beta_i = 841 \text{ p.c.m.}$$

. neutrons prompts

temps de vie $\bar{l} \approx 13 \mu \text{s}$

vitesse moyenne des neutrons thermiques $\bar{v} = 3,35 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

$$\Sigma_{f \text{ th}} = 0,186 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma_{a \text{ th}} = 0,236 \text{ cm}^{-1}$$

Sur l'expérience C.R.A.C. 20-I, la réactivité introduite au moment du premier pic était de l'ordre de 980 pcm.

⊛

*

*

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-2

4-1 - Caractéristiques expérimentales :

- présence d'une source de 200 mC	
- hauteur critique H_c	27,20 cm
- hauteur de début d'introduction	5,0 cm
- hauteur en fin d'introduction	31,9 cm
- volume total	22,0 l
- temps d'introduction	45,31 s
- temps de passage à H_c	36,95 s
- débit moyen d'introduction	1450 l/h
- réactivité potentielle introduite	≈ 2300 pcm
- durée de l'expérience	3 mn 15 s

4-2 - Résultats :

4-2-1 - Nombre total de fissions

Le nombre de fissions a été calculé d'après un détecteur étalonné en puissance sur l'expérience précédente.

Nombre de fissions : $2,7 \cdot 10^{17}$ fissions

4-2-2 - Evolution de la puissance (fig. 8 et 9)

- Caractéristiques du 1er pic :

. sommet du pic	2,19 s
. puissance maximum	$5,1 \cdot 10^{17}$ fissions/s
. temps de doublement minimum	5,9 ms
. nombre de fissions dans le pic (entre 0 et 3 s)	$2,06 \cdot 10^{16}$ fissions

4-2-3 - Evolution de la température (fig. 10)

*

*

*

5 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-3

5-I - Caractéristiques expérimentales

- présence d'une source de 200 mC	
- hauteur critique H_c	27,20 cm
- hauteur de début d'introduction	5,02 cm
- hauteur en fin d'introduction	29,1 cm
- volume total	20,1 l
- temps d'introduction	41,0 s
- temps de passage à H_c	38,44 s
- débit moyen d'introduction	1437 l/h

L'ouverture des vannes de chute de solution a été déclenchée dès le sommet du premier pic de manière à en obtenir qu'un seul.

5-2 - Résultats :

5-2-I : Evolution de la puissance (fig. II)

. sommet du pic	2,41 s
. puissance maximum	$4,5 \cdot 10^{17}$ fissions/s
. temps de doublement minimum	6,1 ms
. nombre de fissions dans le pic (entre 0 et 3 s)	$2,0 \cdot 10^{16}$ fissions.

5-2-2 : Evolution de la température (fig. I2)

6 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-4

6-I - Caractéristiques expérimentales :

- pas de source externe	
- hauteur critique H_c	27,20 cm
- hauteur en début d'introduction	5,02 cm
- hauteur en fin d'introduction	29,5 cm
- volume total	20,4 l
- temps d'introduction	42,0 s
- temps de passage à H_c	38,21 s
- débit moyen d'introduction	1424 l/h

Comme pour l'expérience CRAC 20-3, l'ouverture des vannes de chute de solution a été déclenchée dès l'apparition du premier pic.

6-2 - Résultats :

6-2-I : Evolution de la puissance (fig. I3)

. sommet du pic	3,36 s
. puissance maximum	$1,0 \cdot 10^{19}$ fissions/s
. temps de doublement T_2	1,2 ms
. nombre de fissions dans le pic (entre 0 à 3,4 s)	$5,9 \cdot 10^{16}$ fissions
. largeur du pic	5,4 ms

.../...

6-2-2 : Evolution de la température (fig. I4)

6-2-3 : Pression

Le capteur de pression en solution C_I a reçu au moment du pic une onde de pression de l'ordre de 3,5 kg/cm² (en absolu) (fig. I5).

6-2-4 : Mesures en salle de contrôle

Les détecteurs placés en salle de contrôle derrière un mur de béton de 145 cm d'épaisseur ont enregistré au sommet du pic les flux suivants :

. flux neutrons thermiques (chambre à bore) : $6,6 \cdot 10^6$ n/cm²/s

. flux gamma : $1,5 \cdot 10^2$ R/h

6-2-5 : Réactivité

Au moment du 1er pic, le K_{eff} calculé était de 1,0142 soit une réactivité de l'ordre de 1400 p.c.m.

*

*

*

7 - EXPERIENCE C.R.A.C. 20-5

7-1 - Caractéristiques expérimentales :

- aucune source externe	
- hauteur critique H_c	27,20 cm
- hauteur en début d'introduction	5,01 cm
- hauteur en fin d'introduction	31,9 cm
- volume total	22,0 l
- temps d'introduction	49,45 s
- temps de passage à H_c	40,25 s
- débit moyen d'introduction	1329 l/h
- réactivité potentielle introduite	2300 p.c.m.
- durée de l'expérience	5 mn

7-2 - Résultats

7-2-1 : Nombre total de fissions

Le nombre de fissions a été calculé d'après un détecteur étalonné en puissance.

Nombre de fissions : $2,7 \cdot 10^{17}$ fissions

7-2-2 : Evolution de la puissance (fig. I6 et I7)

- Caractéristiques du 1er pic :

. sommet du pic	2,53 s
. puissance maximum	$5,8 \cdot 10^{17}$ fissions/s
. temps de doublement minimum	5,6 ms
. nombre de fissions (entre 0 et 3 s)	$2,2 \cdot 10^{16}$ fissions

7-2-3 : Températures (fig. I8)

.../...

7-3 - Remarques

Des caractéristiques proches de celles de l'expérience C.R.A.C. 20-4 étaient attendues : des résultats totalement différents ont été obtenus.

L'élément important à noter est que l'expérience C.R.A.C. 20-5 a suivi d'environ 30 minutes l'expérience 20-4.

Or, après une expérience C.R.A.C., il existe autour de l'appareillage une ambiance gamma relativement importante mais également une population de neutrons non négligeable comme l'ont prouvé des expériences ultérieures. L'origine de cette source reste mal définie mais l'hypothèse la plus vraisemblable à retenir serait l'existence sur la paroi de la cuve d'une fine pellicule de solution chargée en produits de fissions.

Il existait donc au démarrage de l'expérience CRAC 20-5 une source "involontaire" de neutrons qui a faussé les conditions expérimentales.

*

*

*

8 - CONCLUSIONS

Quelques conclusions sommaires peuvent déjà être tirées de cette série d'expériences.

- Bonne reproductibilité du nombre de fissions obtenu dans le 1er pic en présence d'une source.
En effet, une source externe de neutrons crée une population suffisante pour stabiliser le temps d'initiation donc le potentiel de réactivité introduit lors de l'amorçage du 1er pic.

- Caractéristiques totalement différentes selon qu'une expérience est faite avec ou sans source.
Il suffit, pour s'en rendre compte, de comparer les trois premières expériences avec l'expérience C.R.A.C. 20-4 (faite sans source). Le pic obtenu lors d'une expérience sans source présente les caractéristiques suivantes :

- . période de montée plus rapide
- . largeur plus étroite
- . énergie plus importante.

Par contre la reproductibilité n'est plus assurée du fait de la faible population initiale de neutrons. Le temps d'initiation devenant alors très aléatoire, des pics de caractéristiques très différentes peuvent être obtenus.

*

*

*

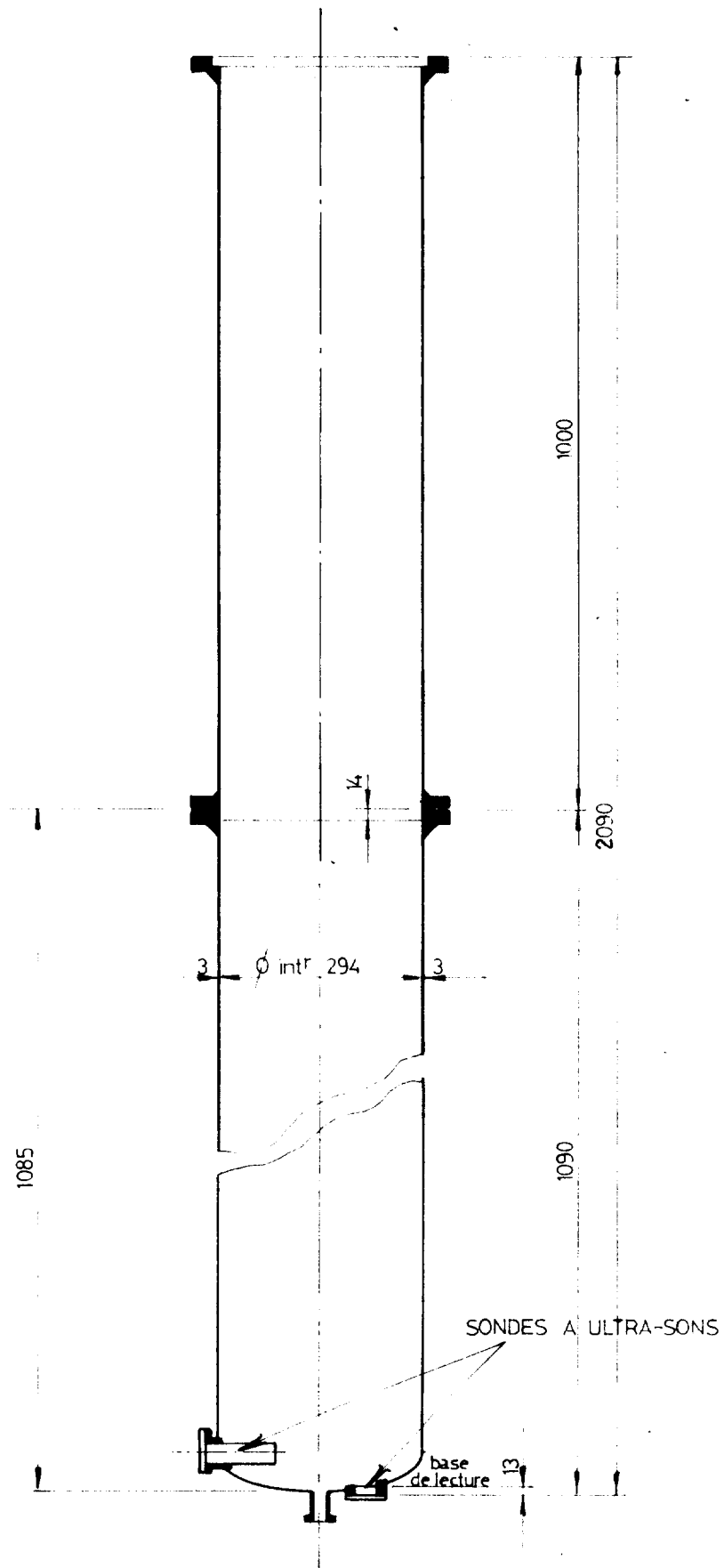
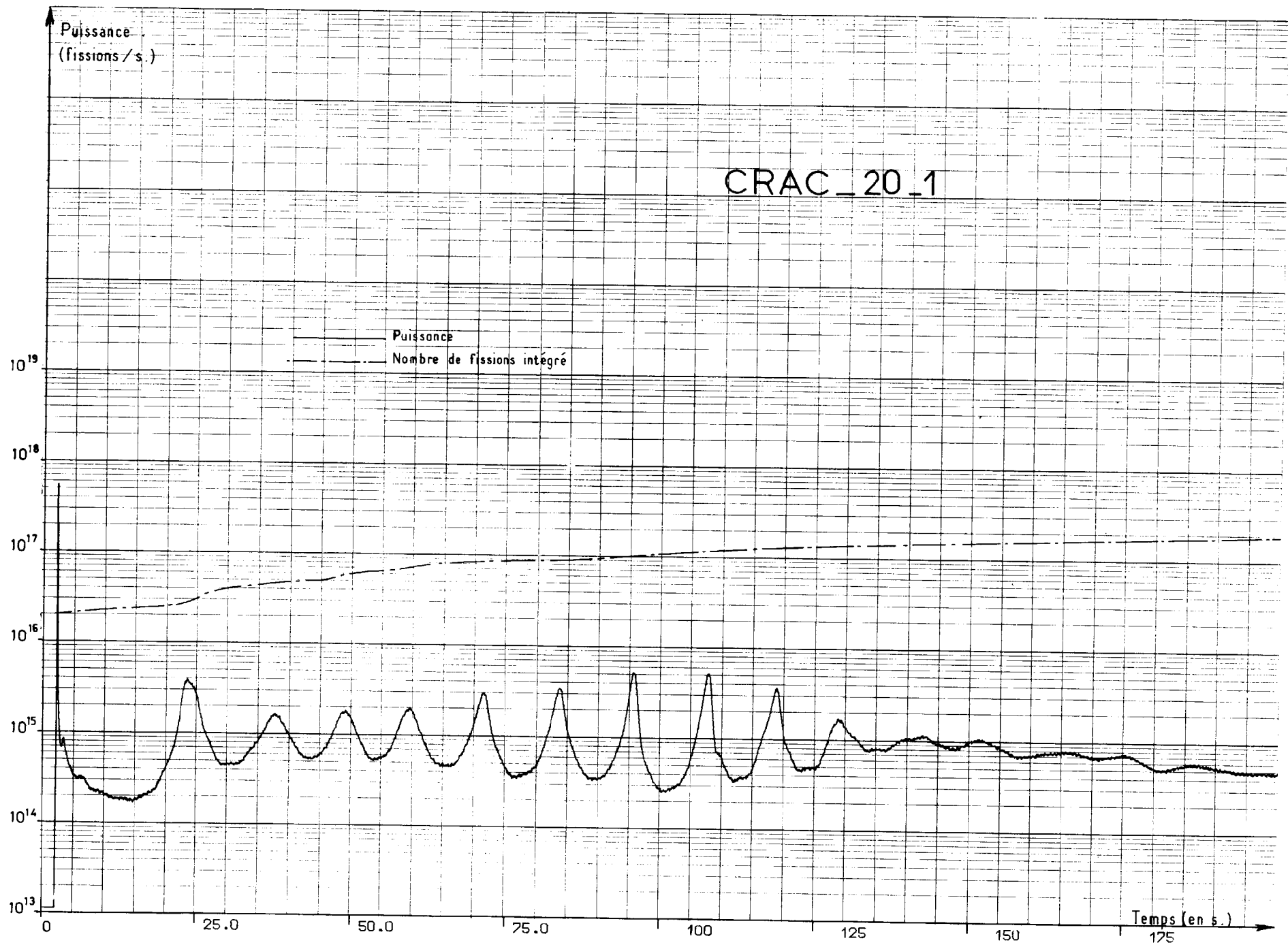


Fig:1_Schéma de la cuve expérimentale.

Fig.3 - Puissance



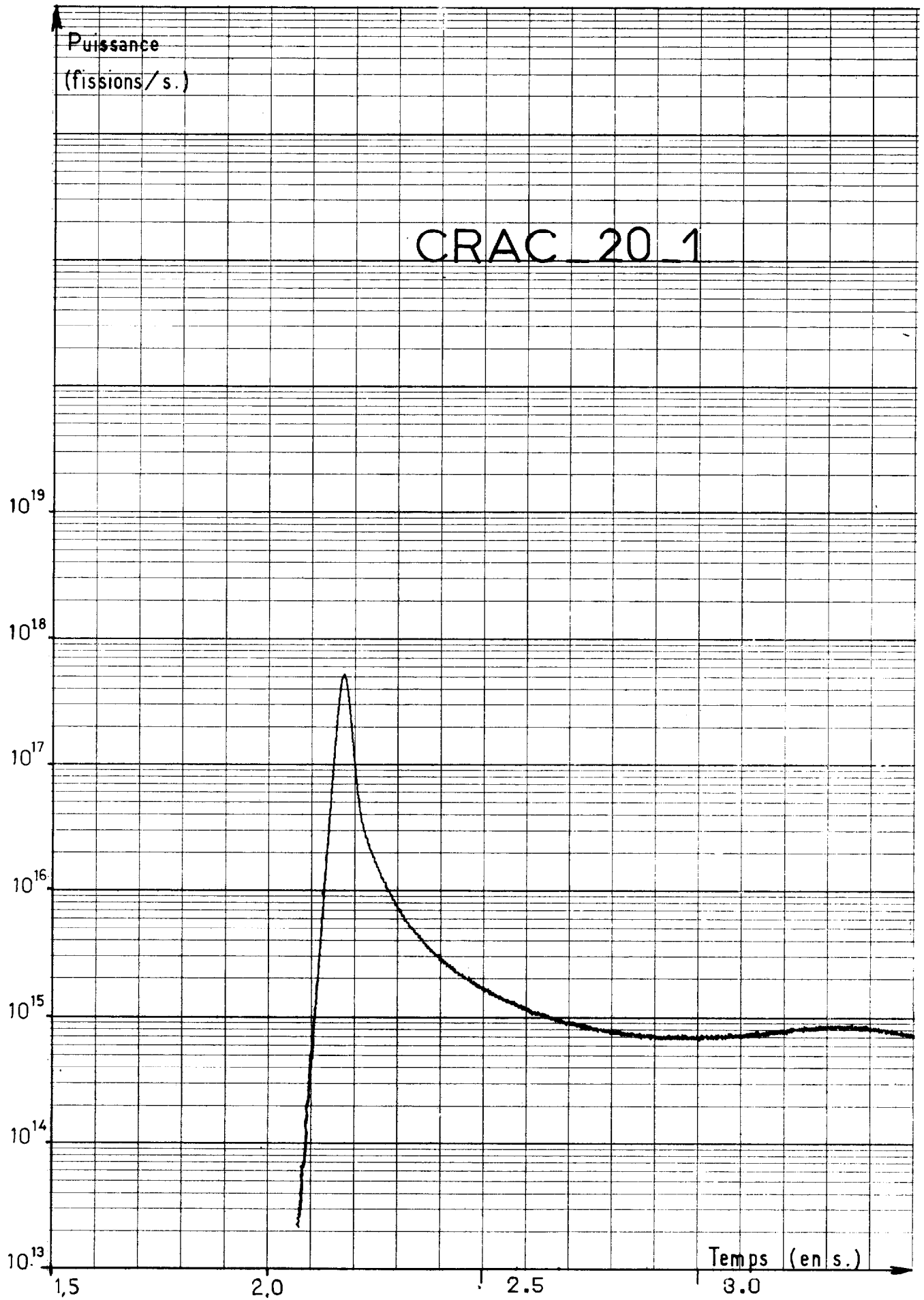


Fig. 4 - Puissance (1^{er} pic)

Fig.5 - Flux gamma

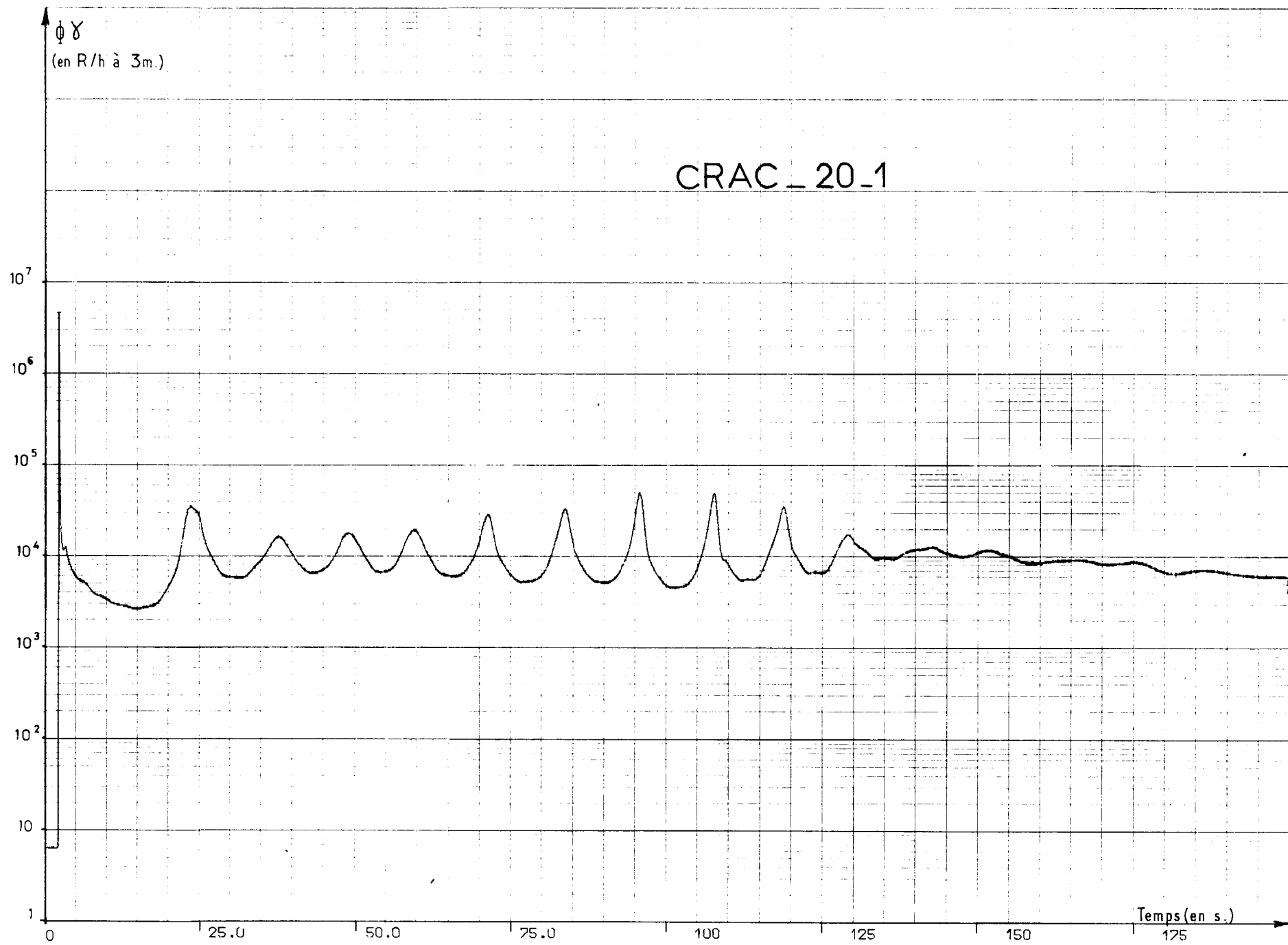
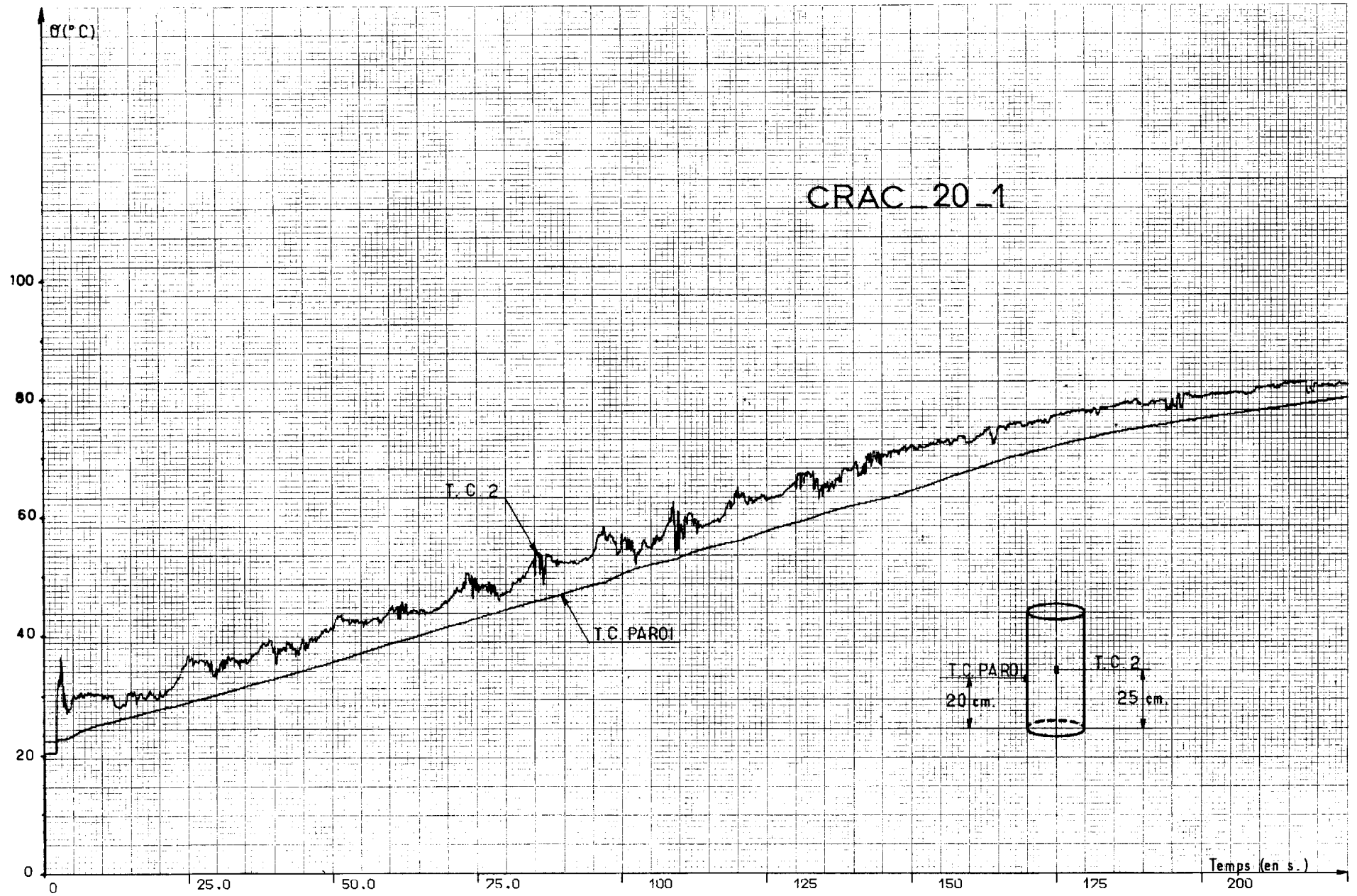


Fig. 6 - Températures



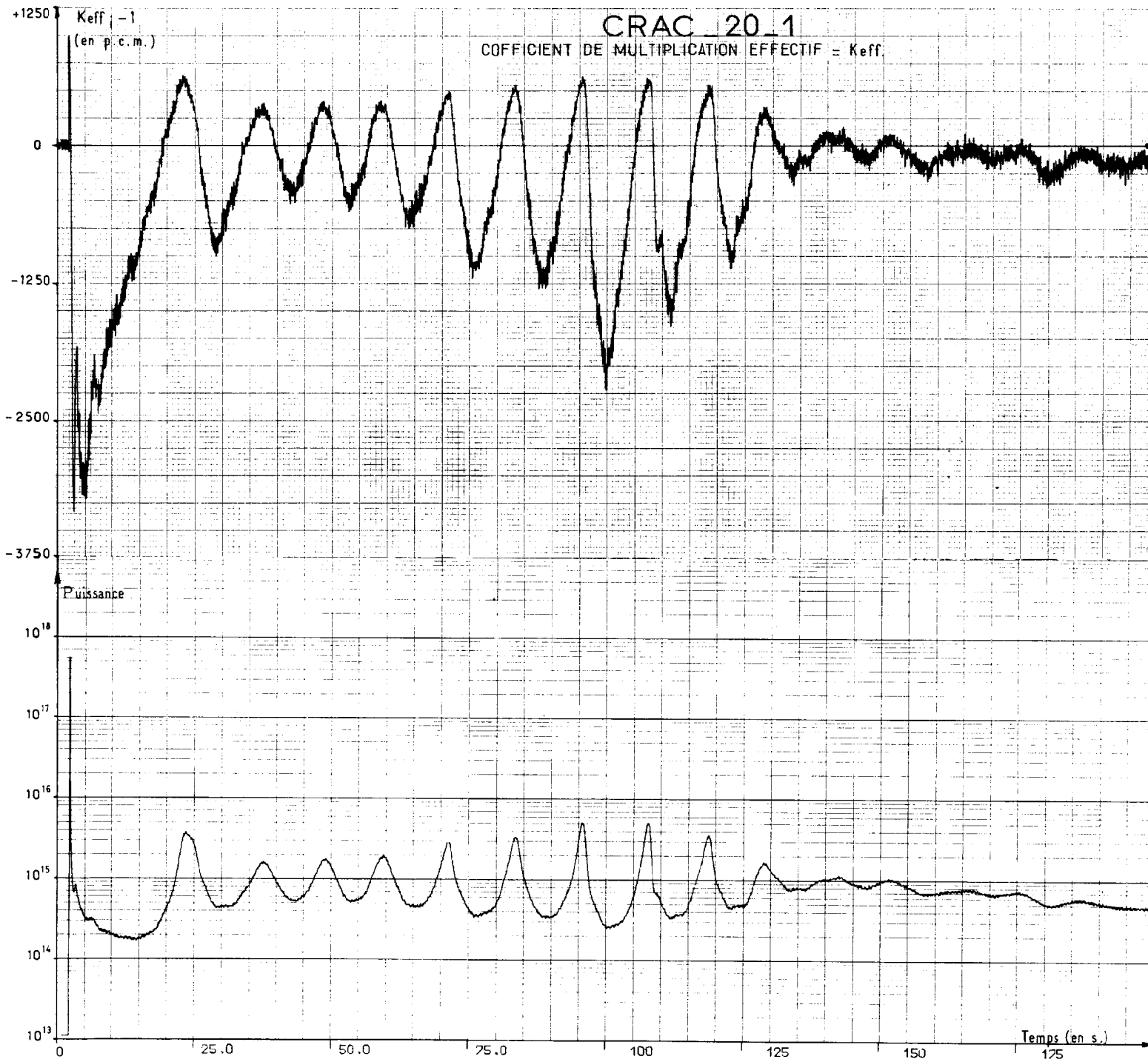
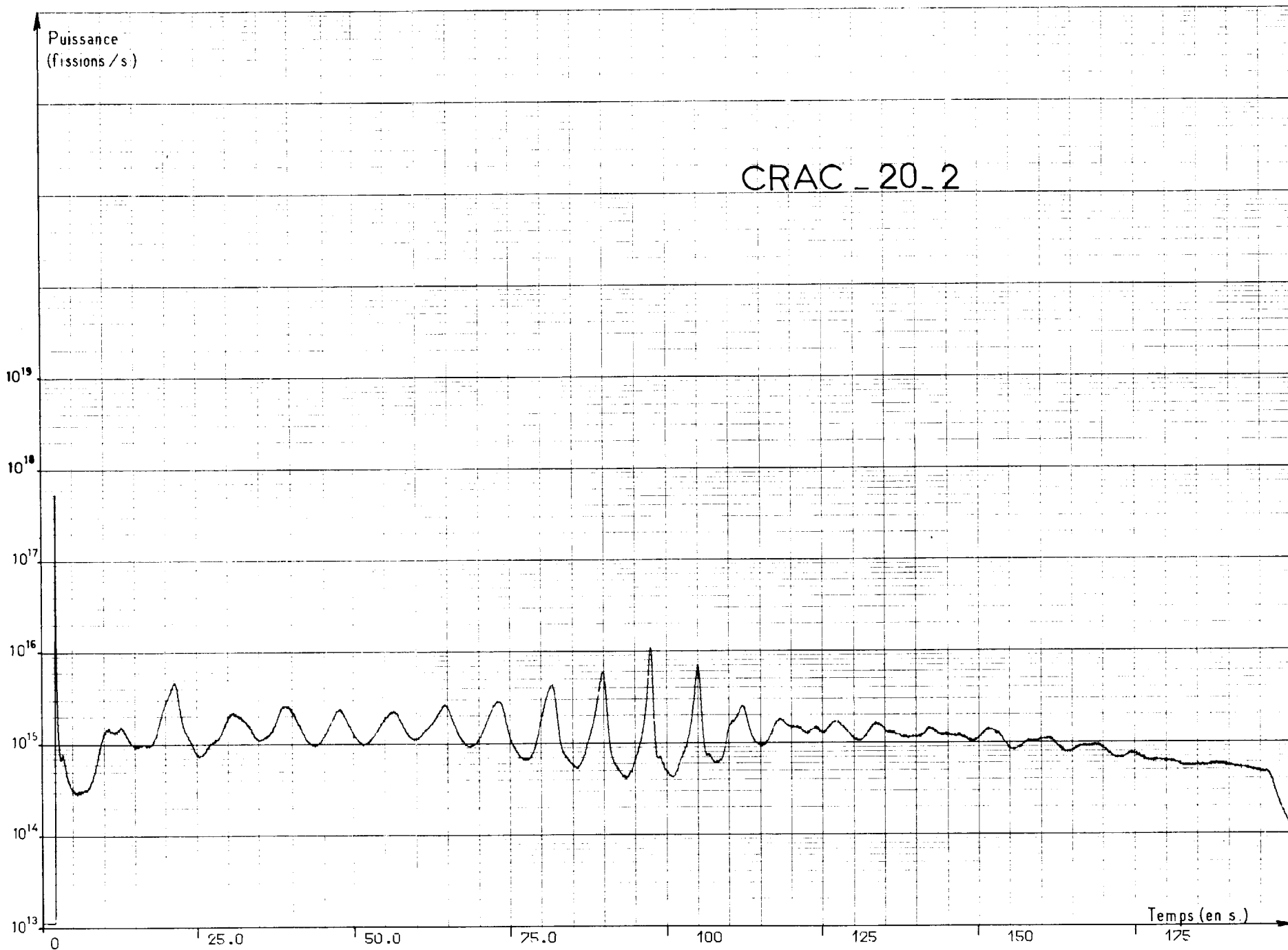


Fig. 7 - Réactivité

Fig. 8 - Puissance



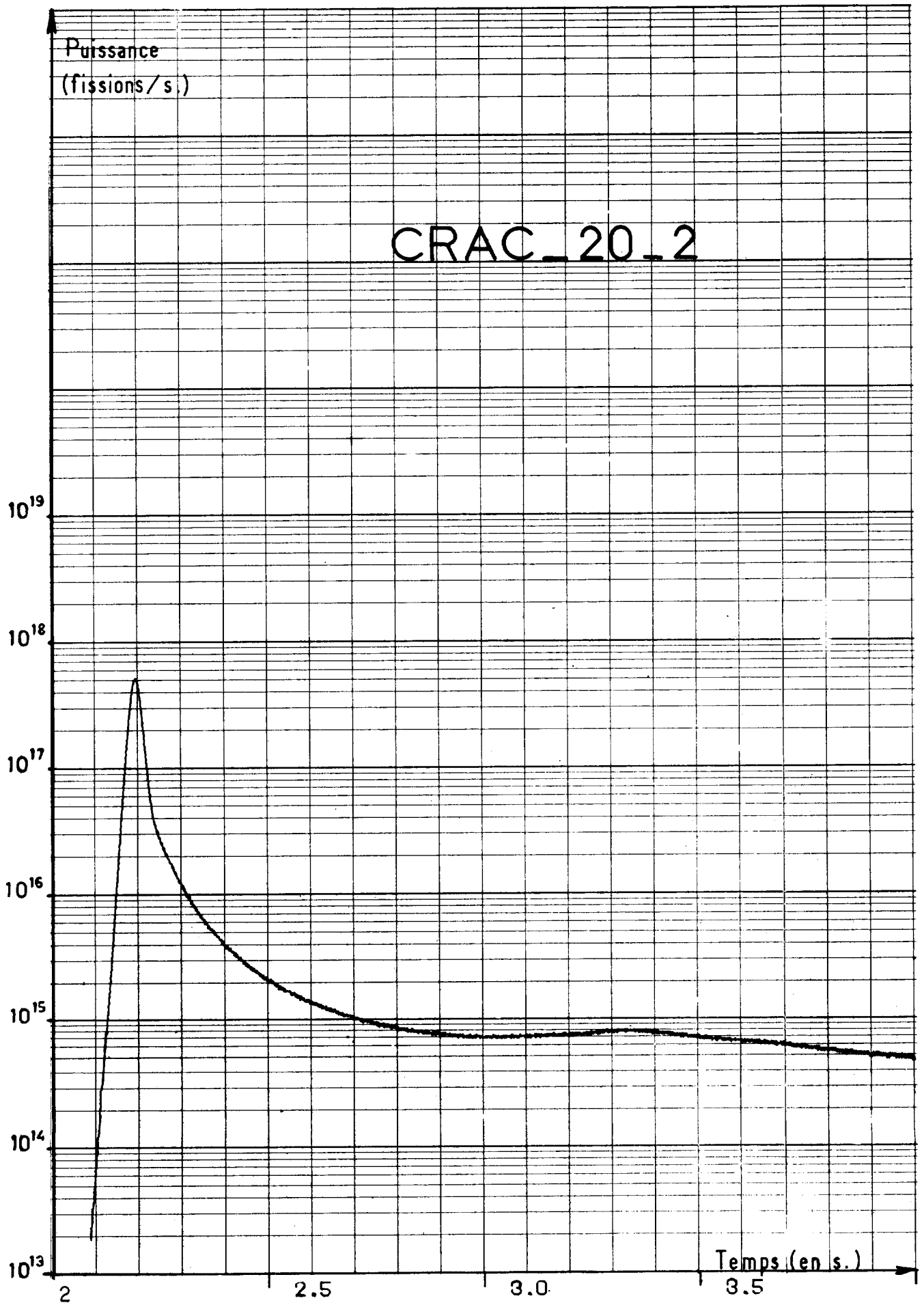
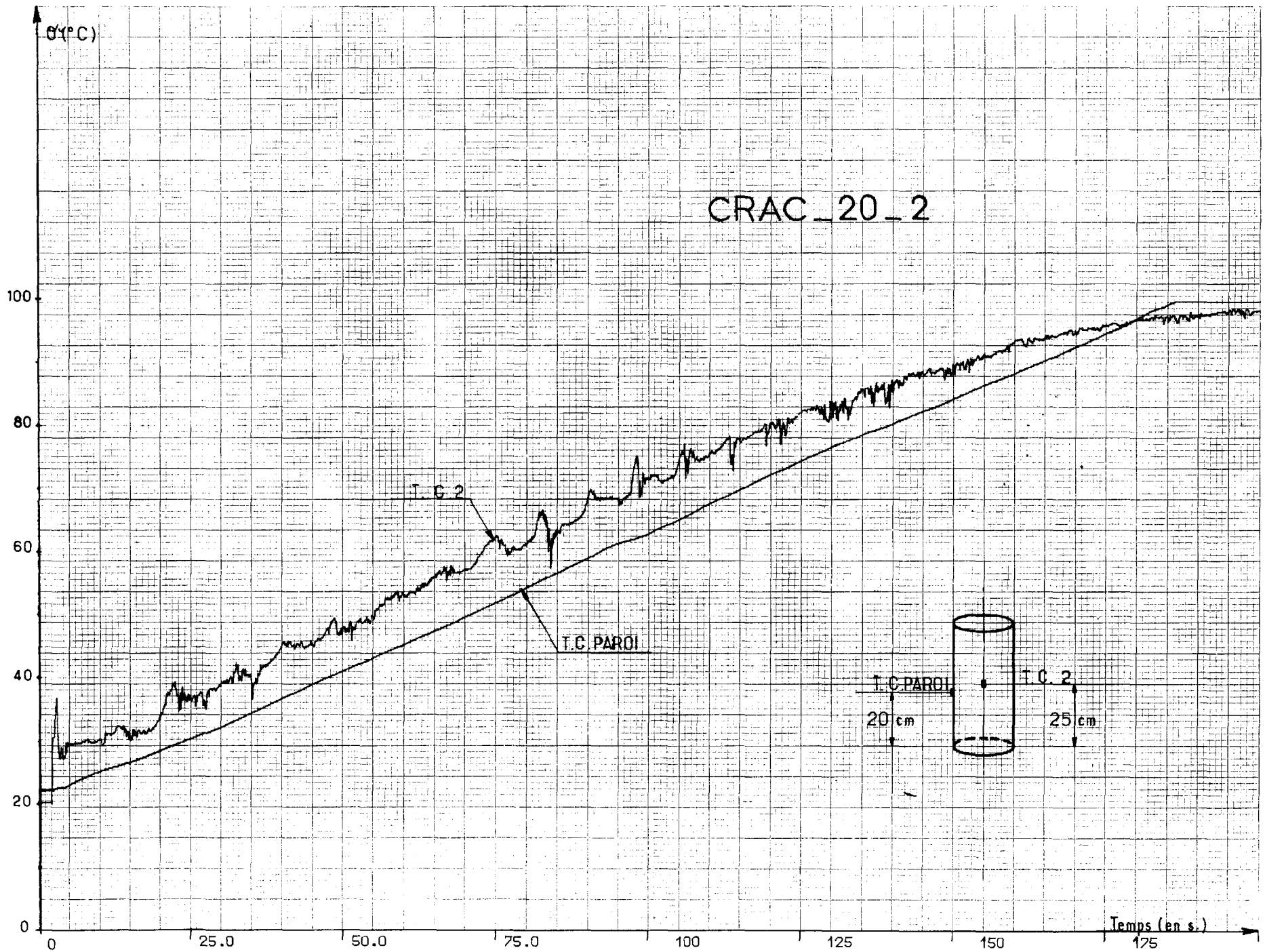


Fig. 9 - Puissance (1^{er} pic)

Fig. 10 - Températures



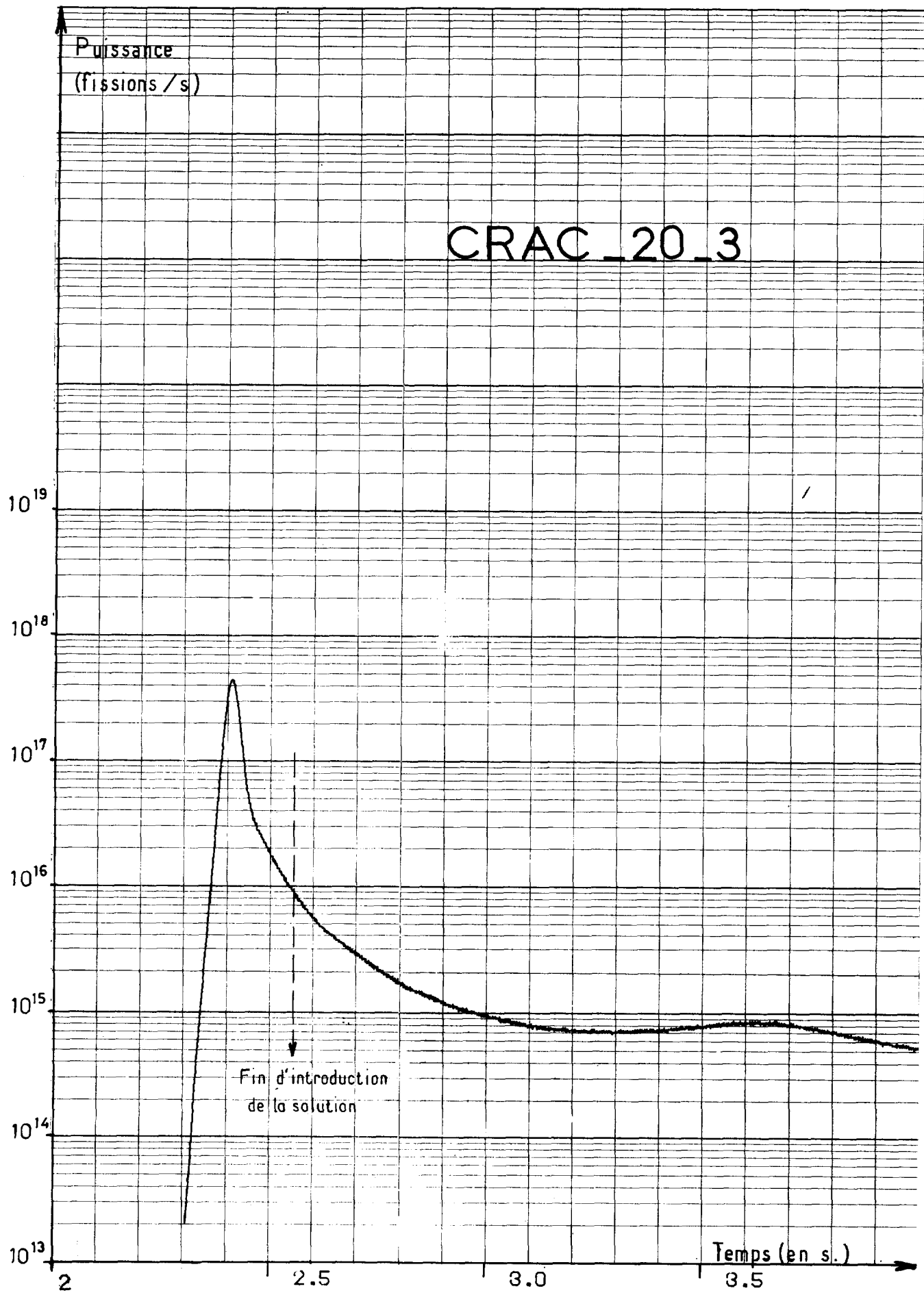
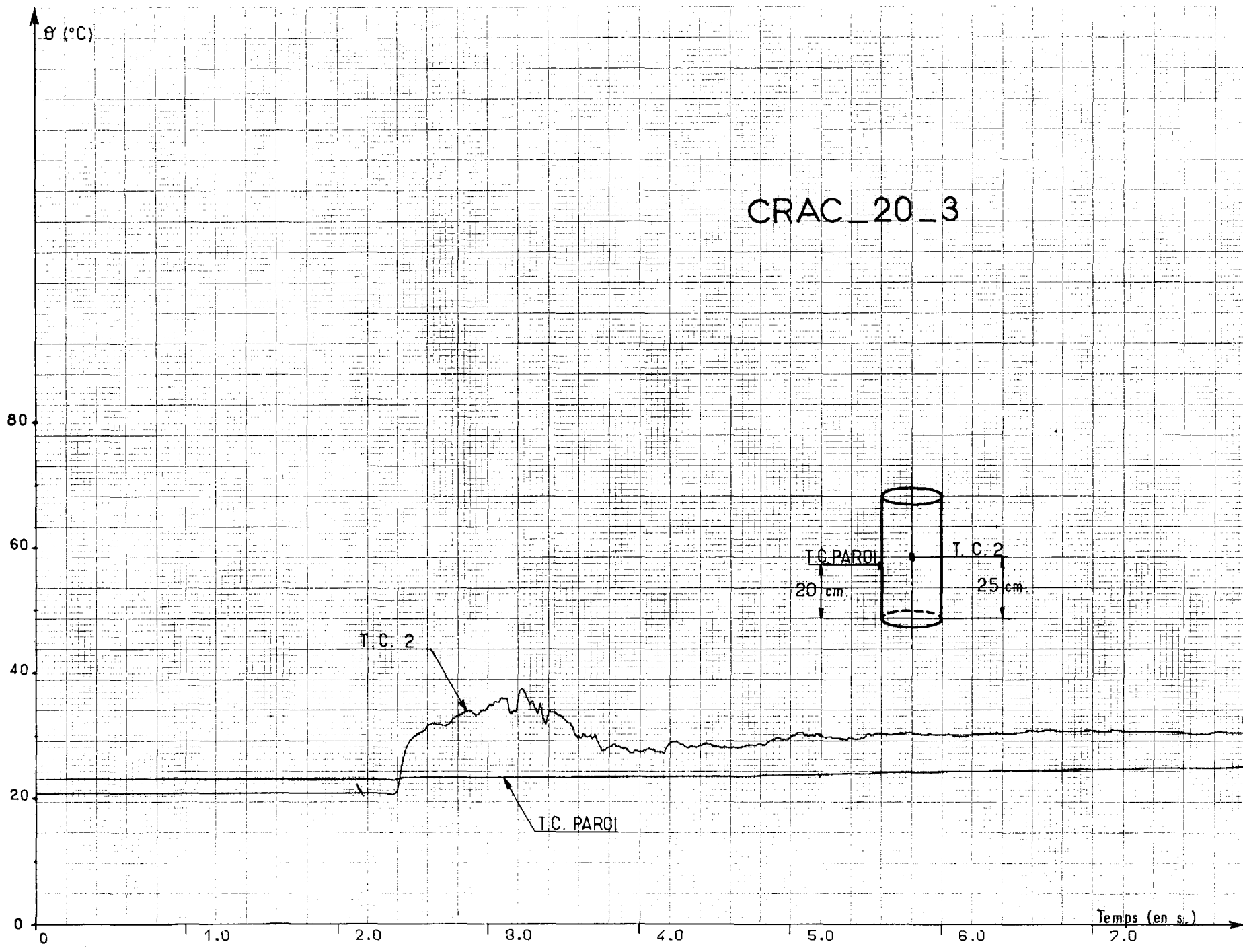


Fig.11 - Puissance

Fig. 12 - Températures



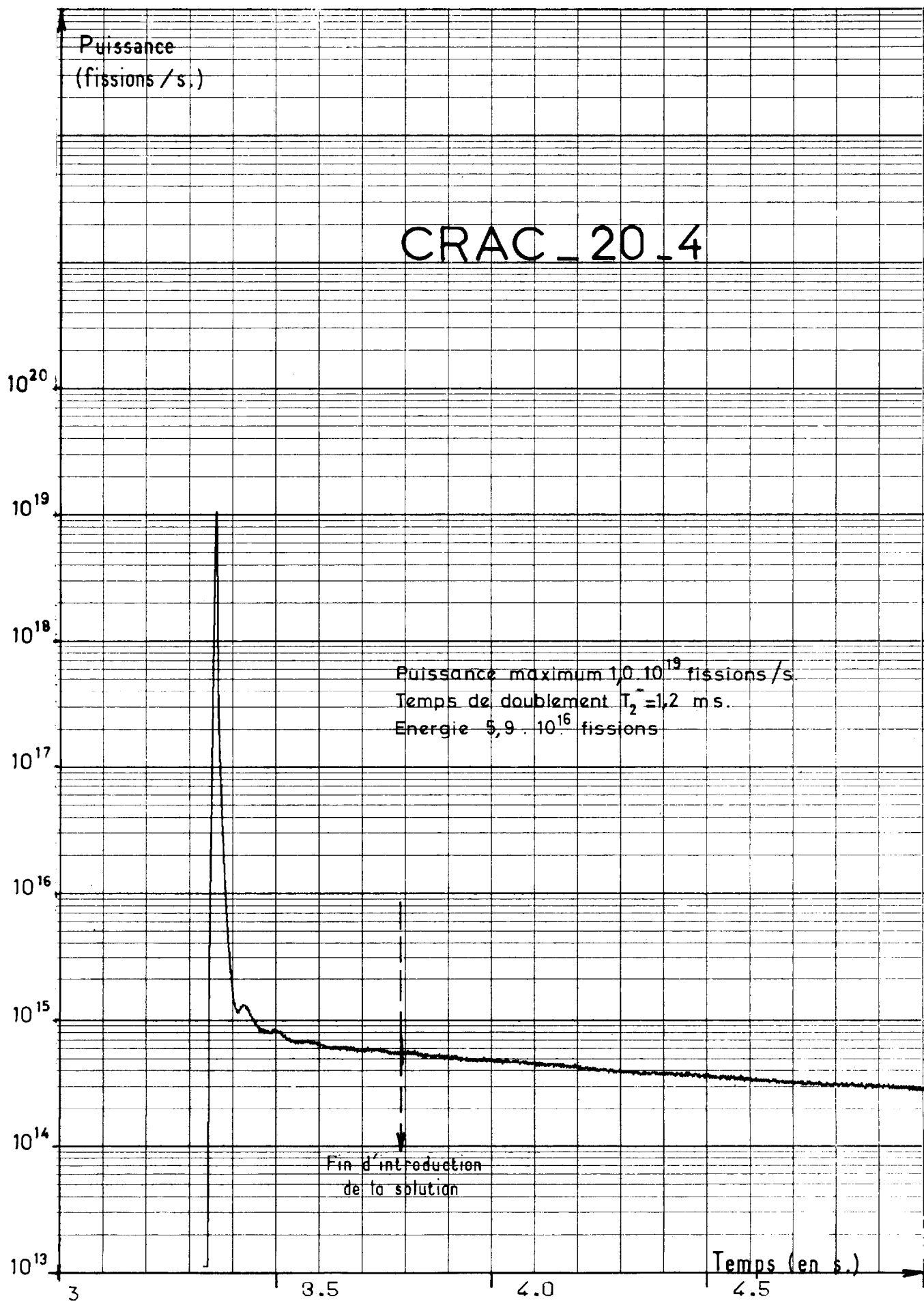
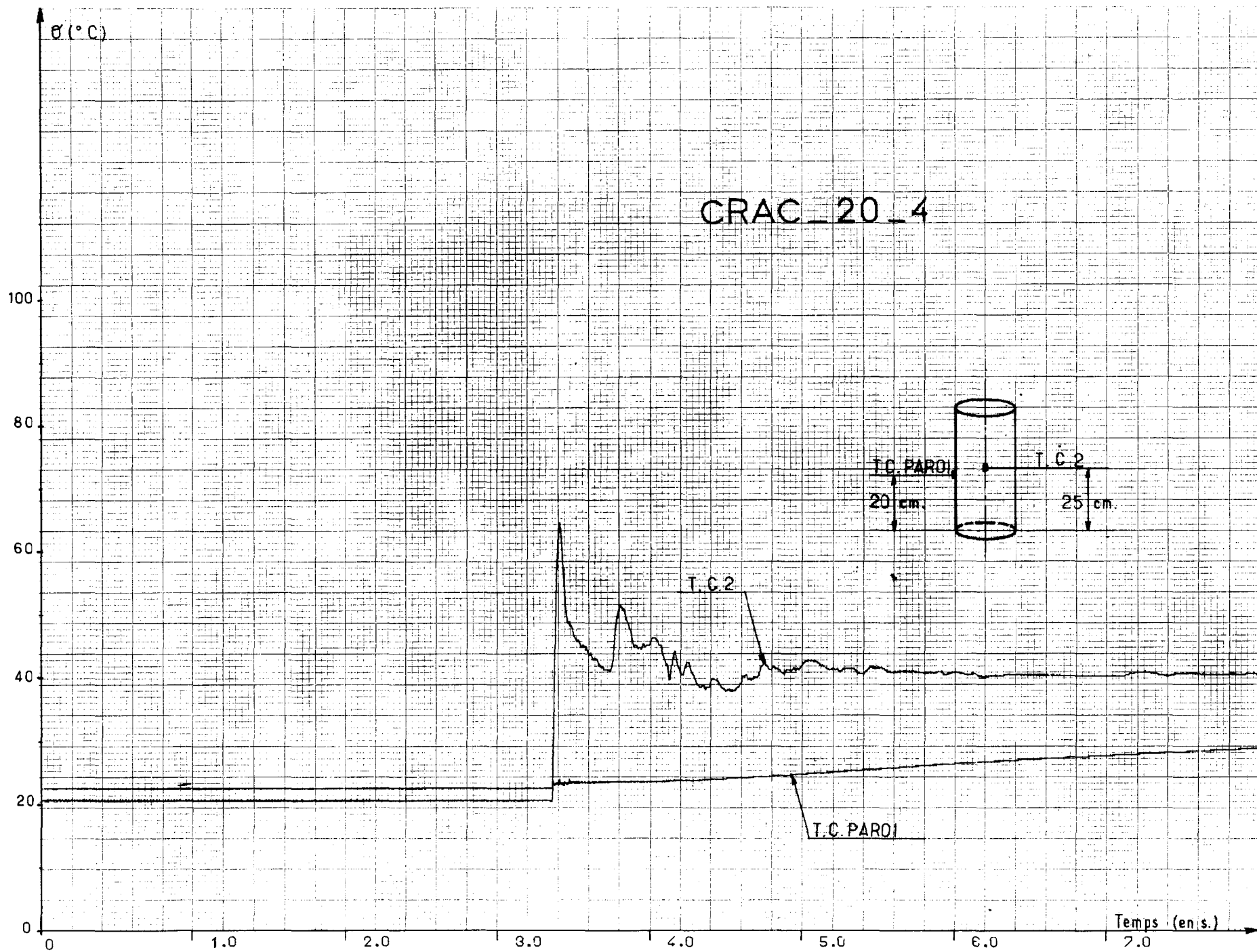


Fig.13 - Puissance

Fig. 14 - Températures



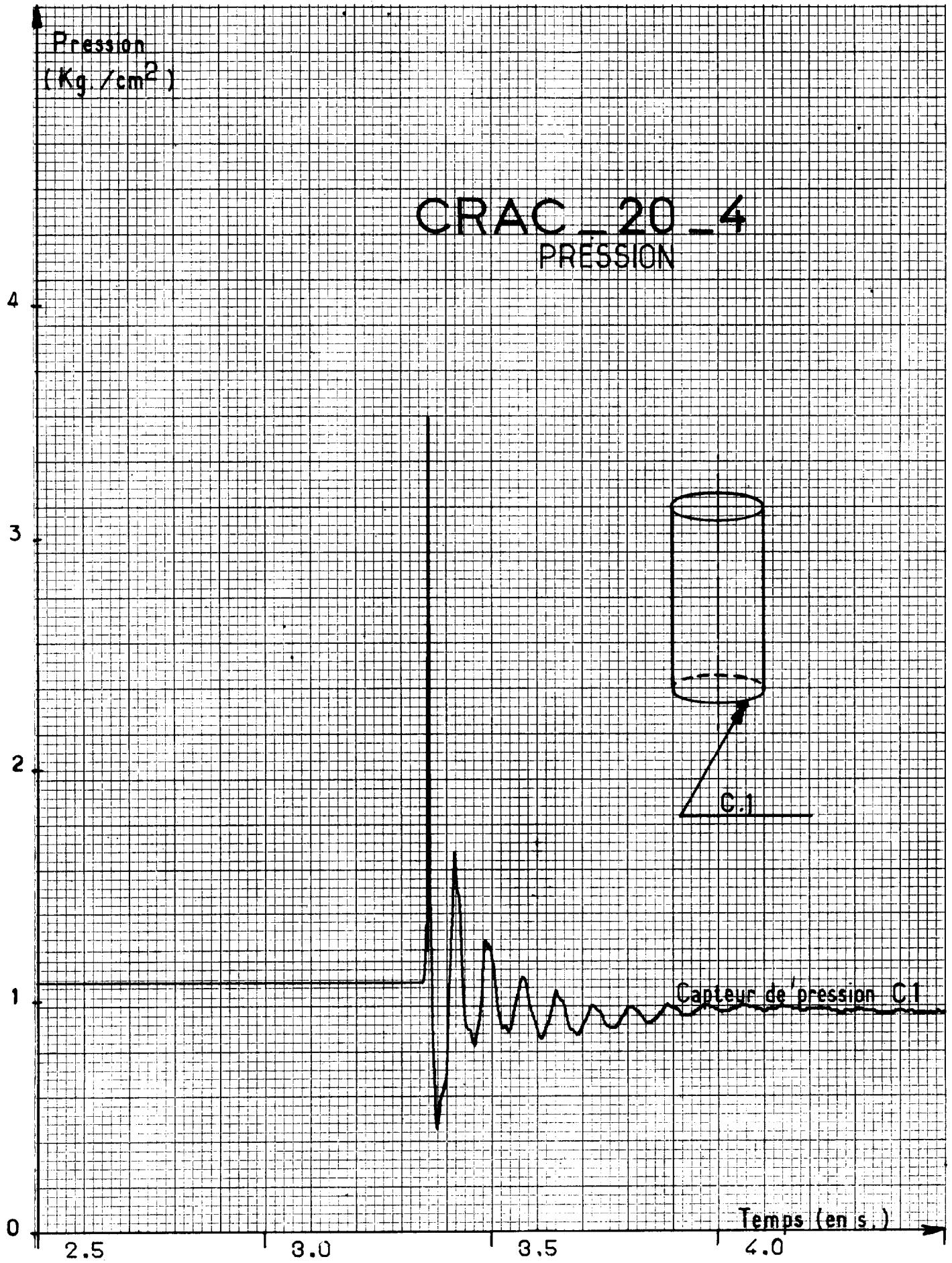
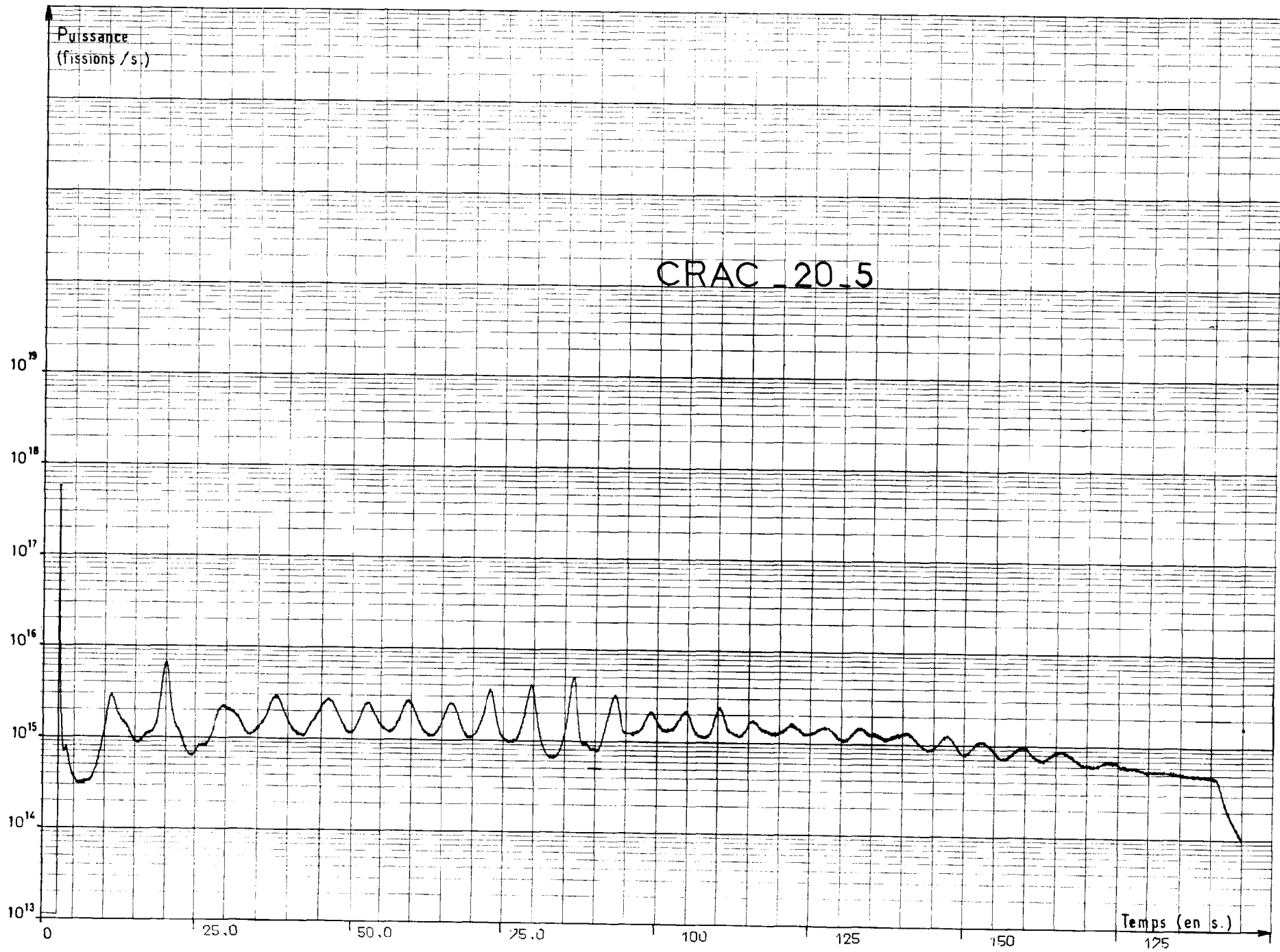


Fig. 15 - Pression

Fig. 16 - Puissance



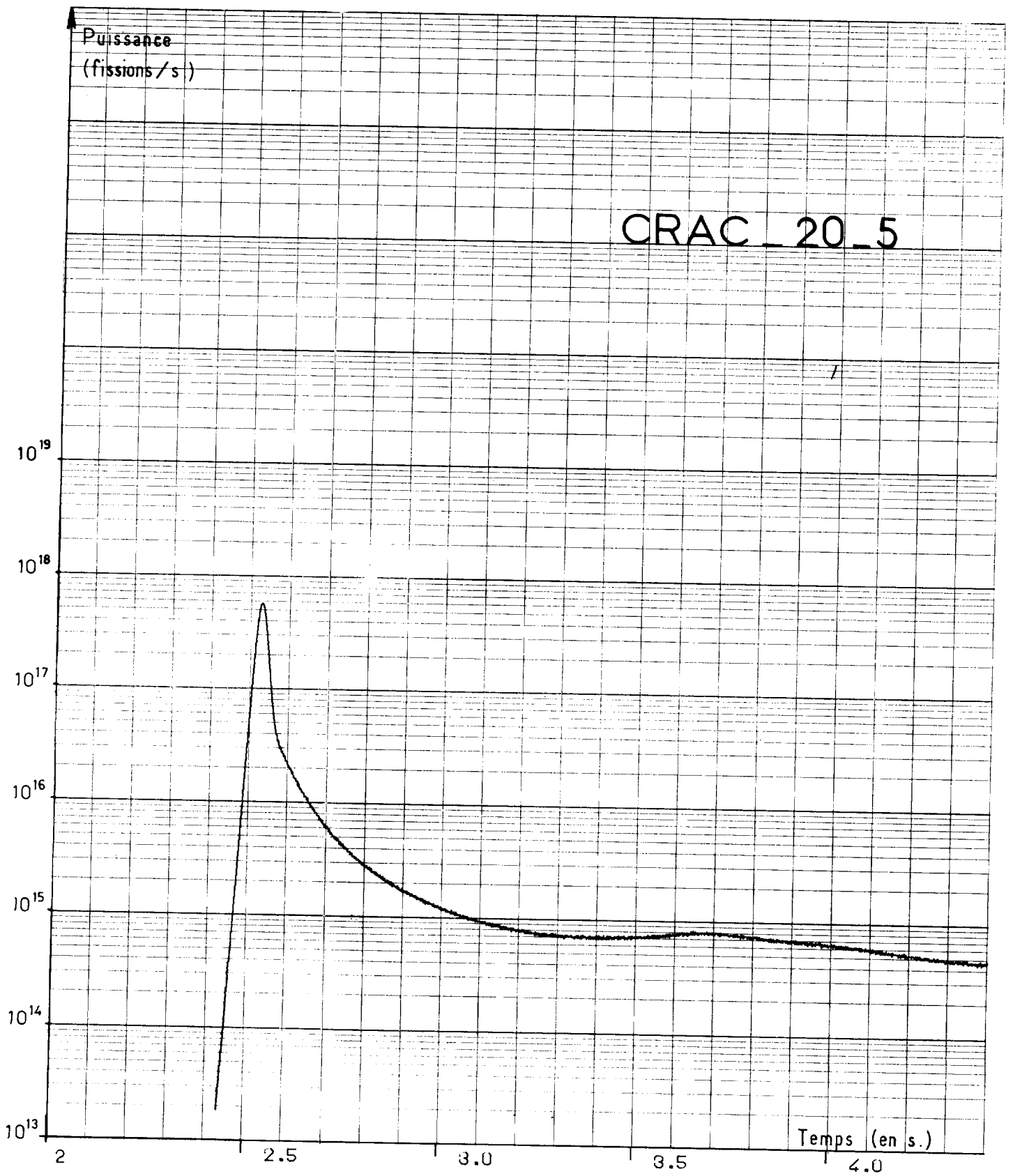
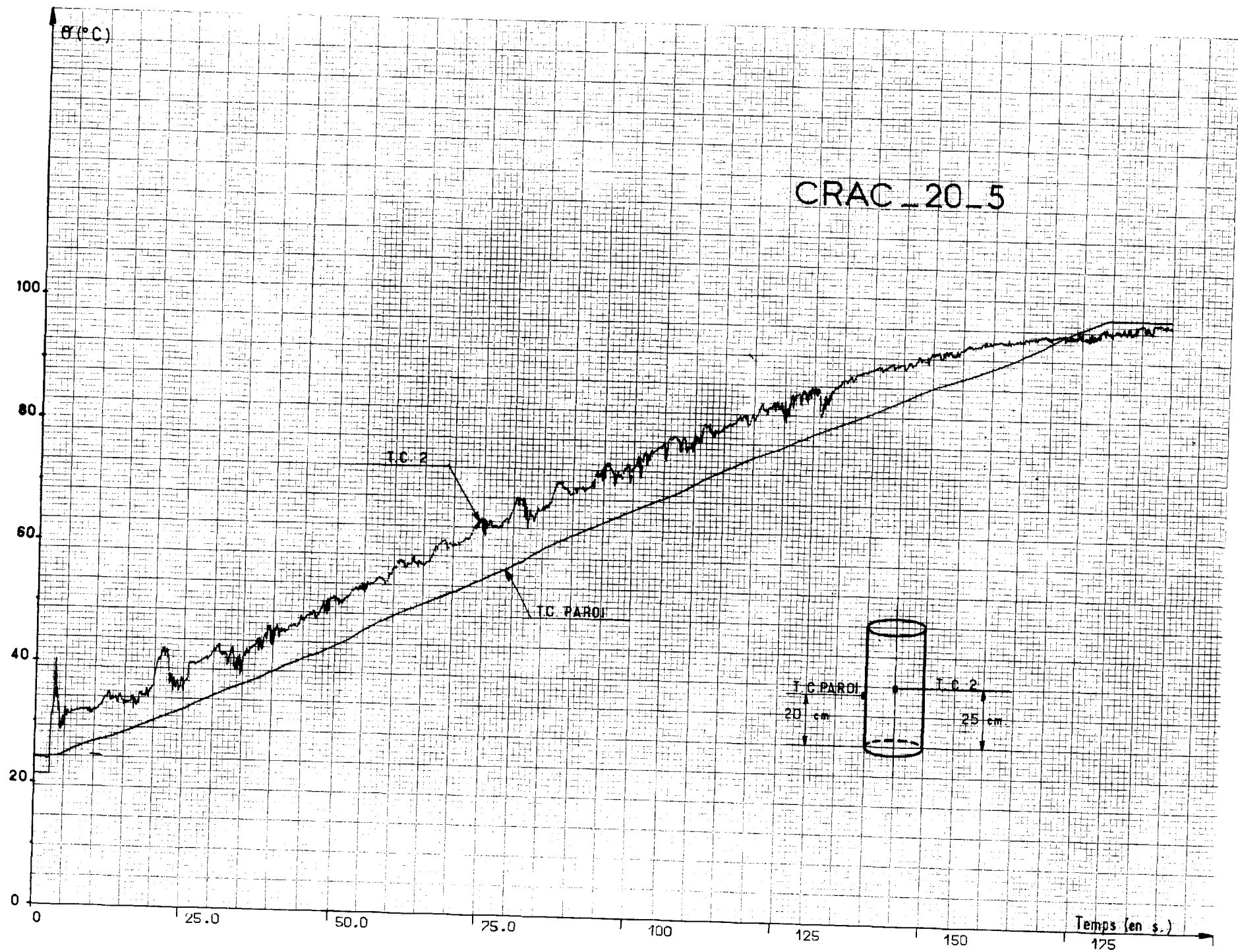


Fig.17 - Puissance (1^{er} pic)

Fig. 18 - Températures



D E S T I N A T A I R E S

=====

- M. l'Administrateur Général I ex.
- M. le Haut-Commissaire I ex.
- M. le Directeur du Cabinet du H.C. I ex.
- M. le Directeur de la Protection et de la Sûreté Radiologiques 2 ex.
- M. le Chef du Département de la Protection Sanitaire/FAR 4 ex.
 - dont I ex. M. DOUSSET
 - I ex. M. LAGUERRE
 - I ex. Mme PARMENTIER
- M. le Chef du Service d'Etudes de Sûreté Radiologique/SACLAY 9 ex.
 - dont 5 ex. CADARACHE
- M. le Chef du Service Technique d'Etudes de Protection/FAR 3 ex.
 - dont I ex. M. SOUDAIN
 - I ex. M. MARCHAL
- M. le Conseiller médical de la D.A. I ex.
- M. le Chef du Service d'Etudes de Criticité 15 ex.
- M. le Chef du Département des Programmes..... 2 ex.
- M. le Directeur des Productions/FAR I ex.
- M. le Chef du Service des Combustibles Irradiés/FAR I ex.
- M. le Chef du Centre du Bouchet I ex.
- M. le Directeur du Centre de Production de Pu de Marcoule 3 ex.
- M. le Directeur du Centre de Pierrelatte 3 ex.
- M. le Directeur du Centre de la Hague 3 ex.
- M. le Chef du Département de l'U.S.I. I ex.
- M. le Directeur des Applications Militaires 3 ex.
 - dont I ex. Sous-Direction des Recherches
 - I ex. Sous-Direction des Fabrications
- M. le Directeur du Centre de B. III 5 ex.
 - dont 2 ex. Service Radiochimie/DAM/B. III
 - 2 ex. S.P.R./DAM/B. III
- M. le Directeur du Centre de SACLAY 2 ex.
 - dont I ex. Documentation.
- M. le Chef du Service d'Electronique Industrielle I ex.
- M. le Directeur du Centre de Grenoble I ex.
- M. le Directeur chargé des CEN-FAR et Cadarache (SIEGE) I ex.

DESTINATAIRES (Suite)

=====

- M. le Chef du Département des Piles Expérimentales/SACLAY 2 ex.
- M. le Directeur du Centre de FONTENAY 1 ex.
- M. le Directeur du Centre de CADARACHE 1 ex.
- M. le Directeur des Piles Atomiques/SACLAY 1 ex.
- M. le Chef du Département des Etudes de Piles/SACLAY 2 ex.
- M. le Directeur des Matériaux et Combustibles Nucléaires/FAR 1 ex.
- M. le Chef du Département de Chimie/FAR 3 ex.
- M. le Chef du Département de Développement des Eléments Combustibles/
CADARACHE..... 1 ex.
- M. le Chef du Service de Fabrication d"Examens Radiométallurgiques/
CADARACHE 2 ex.
- M. le Chef du Service de Construction des Usines de Traitement des Combustibles
Irradiés/FAR 1 ex.
- M. le Président de la Sous-Commission des Risques de Contamination Chimique
ou Radioactive/FAR 1 ex.
- M. le Président de la Sous-Commission de Sûreté des Piles/SACLAY 1 ex.
- M. le Président de la Sous-Commission des Masses Critiques/SACLAY 10 ex.
- M. le Chef du Groupe de Travail de Sûreté des Piles/DEP/CADARACHE 1 ex.
- M. le Directeur du Centre de VALDUC 4 ex.
dont 3 ex. C.VA/S.P.R.
- M. le Chef de l'Annexe Recherches/VALDUC 1 ex.