

COMMISSARIAT A  
L'ENERGIE ATOMIQUE

SEEC<sup>no</sup> 70

Octobre 1969

DIRECTION DE LA PROTECTION  
ET DE LA SURETE RADIOLOGIQUES

EXPERIENCES  
**CRAC .12.13.14**  
*RESULTATS*

SERVICE D'ÉTUDES DE CRITICITÉ

Section Expérimentale d'Études de Criticité

## S O M M A I R E

- 1 - BUT DES EXPERIENCES C.R.A.C. 12 - 13 - 14
  
- 2 - CARACTERISTIQUES COMMUNES A CES EXPERIENCES
  - 2 - 1 - Configuration étudiée
  - 2 - 2 - Nature de la solution fissile
  - 2 - 3 - Détecteurs utilisés
  
- 3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 12
  - 3 - 1 - Caractéristiques expérimentales
  - 3 - 2 - Résultats
  
- 4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 13
  - 4 - 1 - Caractéristiques expérimentales
  - 4 - 2 - Résultats
  
- 5 - EXPERIENCE C.R.A.C. 14
  - 5 - 1 - Caractéristiques expérimentales
  - 5 - 2 - Résultats
  
- 6 - CONCLUSIONS

1 - BUT DES EXPERIENCES C.R.A.C. 12 - 13 - 14

Nous nous proposons d'étudier les relations liant les différents paramètres susceptibles de modifier l'évolution d'un accident de criticité ainsi que le nombre total de fissions obtenu. Lors des expériences C.R.A.C. 12 - 13 - 14, ainsi que dans les expériences ultérieures, les paramètres qui vont varier sont donc les suivants : débit d'introduction de la solution (c'est-à-dire rampe de réactivité) - potentiel de réactivité - niveau de puissance initiale.

2 - CARACTERISTIQUES COMMUNES A CES EXPERIENCES

2 - 1 - Configuration étudiée

La cuve expérimentale est un cylindre en acier inoxydable de diamètre extérieur 300 mm (épaisseur de la paroi 3 mm) et d'environ 1 mètre de hauteur (figure 1).

2 - 2 - Nature de la solution fissile

La solution fissile utilisée est du nitrate d'uranyle, ( $U_5 : 93$  %)

Densité	U Total g/l	235 U g/l	H <sup>+</sup> N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N
1,170	77,9	72,5	1,95	2,61

2 - 3 - Détecteurs utilisés

L'évolution neutronique est suivie par des chambres d'ionisation du type 3 C 2 B : pour les fortes puissances un écran Pb + H<sub>2</sub>O + Cd est utilisé.

Pour les rayonnements gamma on utilise des chambres d'ionisation à haut flux (type CGHF).

La position de ces détecteurs est donnée en figure 2.

3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 12

3 - 1 - Caractéristiques expérimentales

Hauteur critique $H_c$ (en neutrons retardés)	43,53 cm
Hauteur de départ	9,98 cm
Hauteur en fin d'introduction	61,53 cm
Temps total d'introduction	1239 s
Volume total introduit	42 l.
Durée de l'expérience (introduction comprise)	1780 s
Débit moyen d'introduction	100 l/h
Réactivité potentielle introduite	$\simeq$ 4200 p.c.m.

L'expérience C.R.A.C. 12 est une expérience à faible débit (100 l/h).

3 - 2 - Résultats

3 - 2 - 1 - Chronologie

Le temps 0 représente l'instant de passage du niveau de la solution à la hauteur critique :

- Temps d'introduction après $H_c$	436 s
- Sommet du 1 <sup>er</sup> pic	65 s

3 - 2 - 2 - Radiochimie - Nombre total de fissions

- Résultats des analyses radiochimiques

P.F.	Nombre de fissions
Mo 99	$4,61 \cdot 10^{17}$
Ce 143	$5,13 \cdot 10^{17}$
Te 132(230 kev)	$4,68 \cdot 10^{17}$
Ru 103	$4,83 \cdot 10^{17}$
Ce 144	$4,74 \cdot 10^{17}$

Moyenne générale :  $4,8 \cdot 10^{17}$  fissions

Ecart type : 4,5 %

### 3 - 2 - 3 - Evolution des divers paramètres

#### 3 - 2 - 3 - 1 - Puissance - Nombre de fissions intégré - Temps de doublement (voir figures 3 et 4)

- Caractéristiques du 1<sup>er</sup> pic

Puissance maximum  $9,9 \cdot 10^{15}$  fissions/s

Temps de doublement minimum 275 ms

Pourcentage de fissions dans le 1<sup>er</sup> pic : 8 %

#### 3 - 2 - 3 - 2 - Température

L'évolution de la température a été suivie par deux thermocouples, l'un à l'intérieur de la solution (TC 2), l'autre contre la paroi (TC paroi) (figure 5).

#### 3 - 2 - 3 - 3 - Flux gamma

L'intensité du rayonnement gamma est donnée par la chambre CG HF placée à 4 m de l'axe de la cuve expérimentale (figure 6).

3 - 2 - 3 - 4 - Réactivité

L'évolution de la réactivité calculée à partir des constantes ci-après est donnée en figure 7.

- Neutrons retardés

Groupe	1	2	3	4	5	6
$\beta_i$ %	0,021	0,139	0,126	0,252	0,074	0,026
$\lambda_i$ s <sup>-1</sup>	0,0124	0,0305	0,111	0,301	1,13	3,00
$\xi_i$ efficacité	1,320	1,267	1,312	1,257	1,312	1,200

$$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \xi_i \beta_i = 814 \text{ p.c.m.}$$

- Neutrons prompts

temps de vie  $\bar{l} = 31 \mu\text{s}$

vitesse moyenne des neutrons thermiques  $\bar{v} = 2,85 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

$$\sum_{f_{\text{th}}} = 0,0790 \text{ cm}^{-1}$$

$$\sum_{a_{\text{th}}} = 0,1113 \text{ cm}^{-1}$$

Rappelons que la valeur de l'effet du millimètre de solution ainsi que les résultats des expériences préliminaires de divergence ont été donnés dans le rapport précédent (Rapport C.R.A.C. 09 - 10 et 11).

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 13

4 - 1 - Caractéristiques expérimentales

Hauteur critique (en neutrons retardés)	48,90 cm
Hauteur de départ	10,02 cm
Hauteur en fin d'introduction	69,24 cm
Temps total d'introduction	101 s
Volume total introduit	47 l
Durée totale de l'expérience (introduction comprise)	360 s
Débit moyen d'introduction	1430 l/h
Réactivité potentielle introduite	$\simeq$ 4100 p.c.m.

Il s'agit donc d'une expérience à fort débit dont la hauteur critique a été légèrement faussée par l'introduction au centre de la solution de deux éprouvettes scellées contenant de la solution fissile avec, en additif dans l'une d'elle, une certaine teneur en sulfate de cuivre : le but de ces éprouvettes était d'étudier l'influence du sulfate de cuivre comme catalyseur de recombinaison des gaz de radiolyse. En fait, après expérience, on a pu constater que le même volume de gaz s'était dégagé dans chaque éprouvette, ce qui a permis de conclure à l'inefficacité du sulfate de cuivre sur des expériences aussi fortes que C.R.A.C. 13.

4 - 2 - Résultats

4 - 2 - 1 - Chronologie

Temps d'introduction après $H_0$	33,7 s
Sommet du 1 <sup>er</sup> pic	7,47 s

4 - 2 - 2 - Radiochimie - Nombre total de fissions

- Résultats des analyses radiochimiques

P.F.	Nombre de fissions
Mo 99	$4,30 \cdot 10^{17}$
Ce 143	$4,61 \cdot 10^{17}$
Ru 103	$4,84 \cdot 10^{17}$
Ce 144	$4,66 \cdot 10^{17}$

Moyenne générale :  $4,6 \cdot 10^{17}$

Ecart type :  $\pm 5 \%$

4 - 2 - 3 - Evolution des divers paramètres

. Puissance - Nombre de fissions intégré - Temps de doublement

Voir figures 8 et 9

- Caractéristiques du 1<sup>er</sup> pic

Puissance maximum :  $5,3 \cdot 10^{17}$  f/s

Temps de doublement minimum : 11 ms

Pourcentage de fissions dans le 1<sup>er</sup> pic : 11 %

. Température (Voir figure 10)

. Flux gamma (Voir figure 11)

. Réactivité (Voir figure 12)

5 - EXPERIENCE C.R.A.C. 14

5 - 1 - Caractéristiques expérimentales

Hauteur critique (en neutrons retardés)	44,40 cm
Hauteur de départ	43,88 cm
Hauteur en fin d'introduction	66,40 cm
Temps total d'introduction	99 s
Volume total introduit	45 l.
Durée de l'expérience	12 minutes
Débit moyen d'introduction	555 l/h
Réactivité potentielle introduite	≈ 4800 p.c.m.

Il faut noter lors de l'expérience C.R.A.C. 14 la présence d'une source de 100 millicuries placée au voisinage de la cuve ainsi que celle d'un couvercle percé d'un évent (diamètre 50 mm) fixé sur la partie supérieure du cylindre.

5 - 2 - Résultats

5 - 2 - 1 - Chronologie

- Temps d'introduction après Hc	96,2 s
- Sommet du 1 <sup>er</sup> pic	12,02 s

5 - 2 - 2 - Radiochimie - Nombre total de fissions

- Résultats des analyses radiochimiques

P.F.	Nombre de fissions
Mo 99	$5,49 \cdot 10^{17}$
Ce 143	$5,90 \cdot 10^{17}$
Ru 103	$5,94 \cdot 10^{17}$
Te 132	$5,84 \cdot 10^{17}$

Moyenne générale :  $5,8 \cdot 10^{17}$  fissions

Ecart type : 3,5 %

### 5 - 2 - 3 - Evolution des divers paramètres

- Puissance - Nombre de fissions intégré - Temps de doublement - Voir figures 13 et 14.

- Caractéristiques du 1<sup>er</sup> pic

Puissance maximum  $4,5 \cdot 10^{16}$  fissions/s

Temps de doublement minimum : 49 ms

Pourcentage de fissions dans le 1<sup>er</sup> pic : 6,7 %

- Température (voir figure 15)
- Flux gamma (voir figure 16)
- Réactivité (voir figure 17)

### 6 - CONCLUSIONS

Il faut bien entendu attendre la fin de cette campagne d'expériences (géométrie et solution fissile quasiment identiques) pour conclure sur l'influence des paramètres mentionnés en début de rapport.

D'ores et déjà les résultats des expériences C.R.A.C. 09 - 12 - 13 - 14 laissent apparaître une quasi proportionnalité entre le potentiel de réactivité introduit et le nombre total de fissions obtenu.

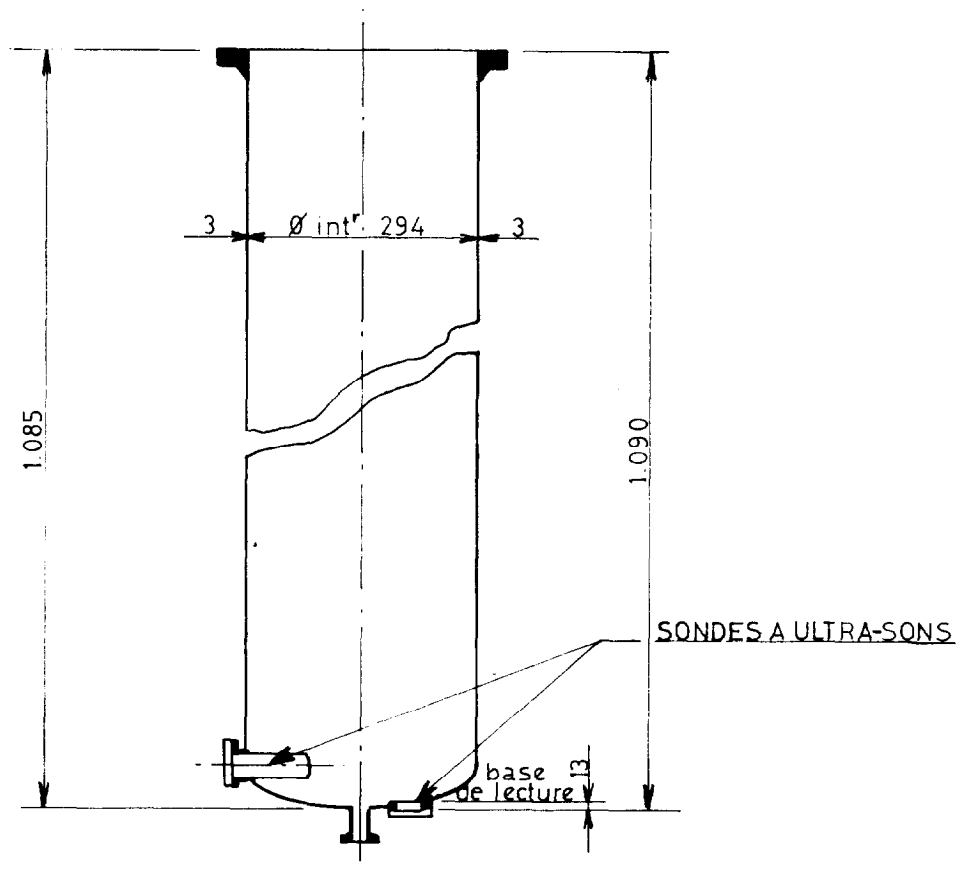


Fig.1 - Schéma de la cuve expérimentale



Fig. 3 - Evolution de la puissance.

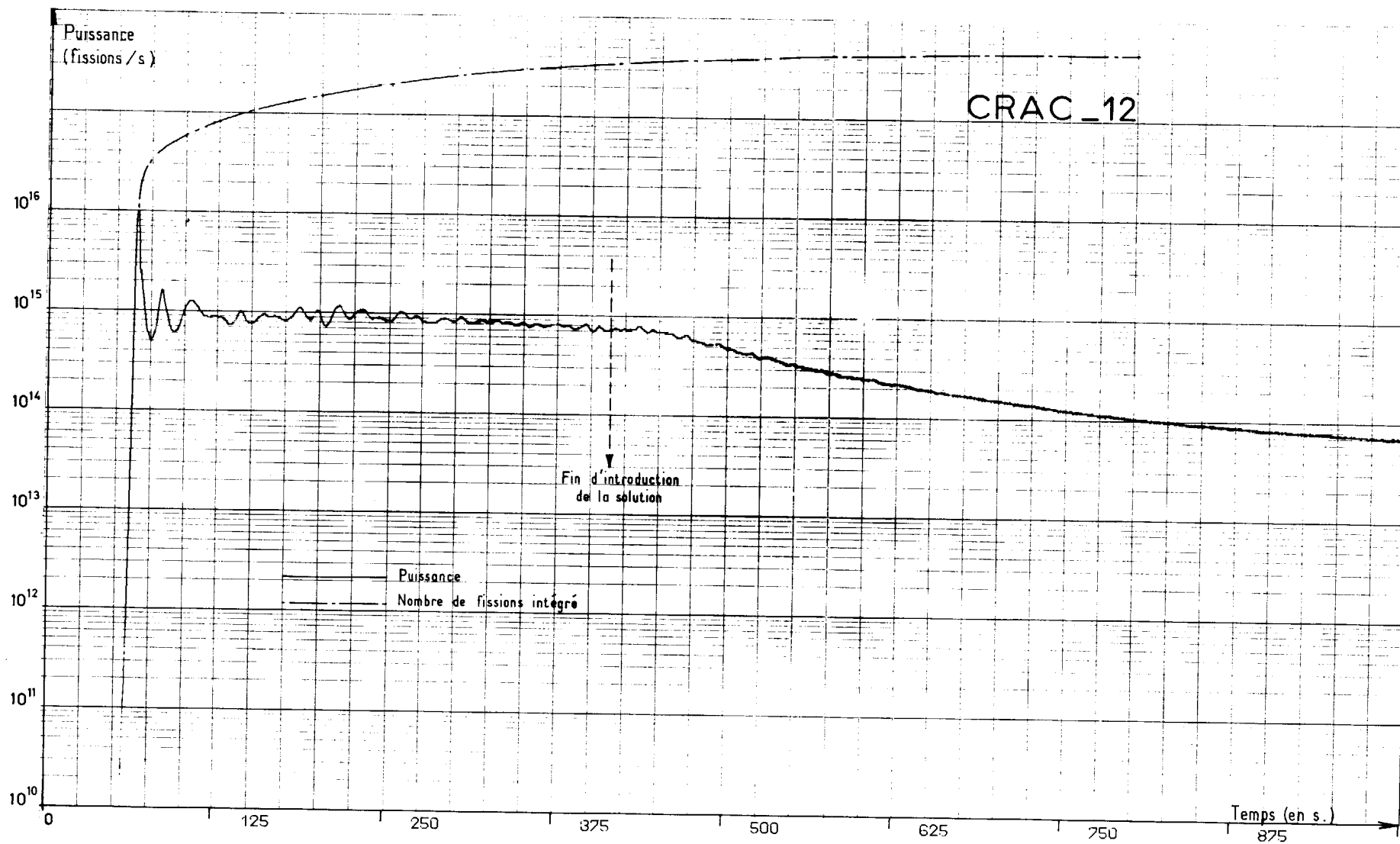


Fig. 4 - Evolution de la puissance - 1er pic.

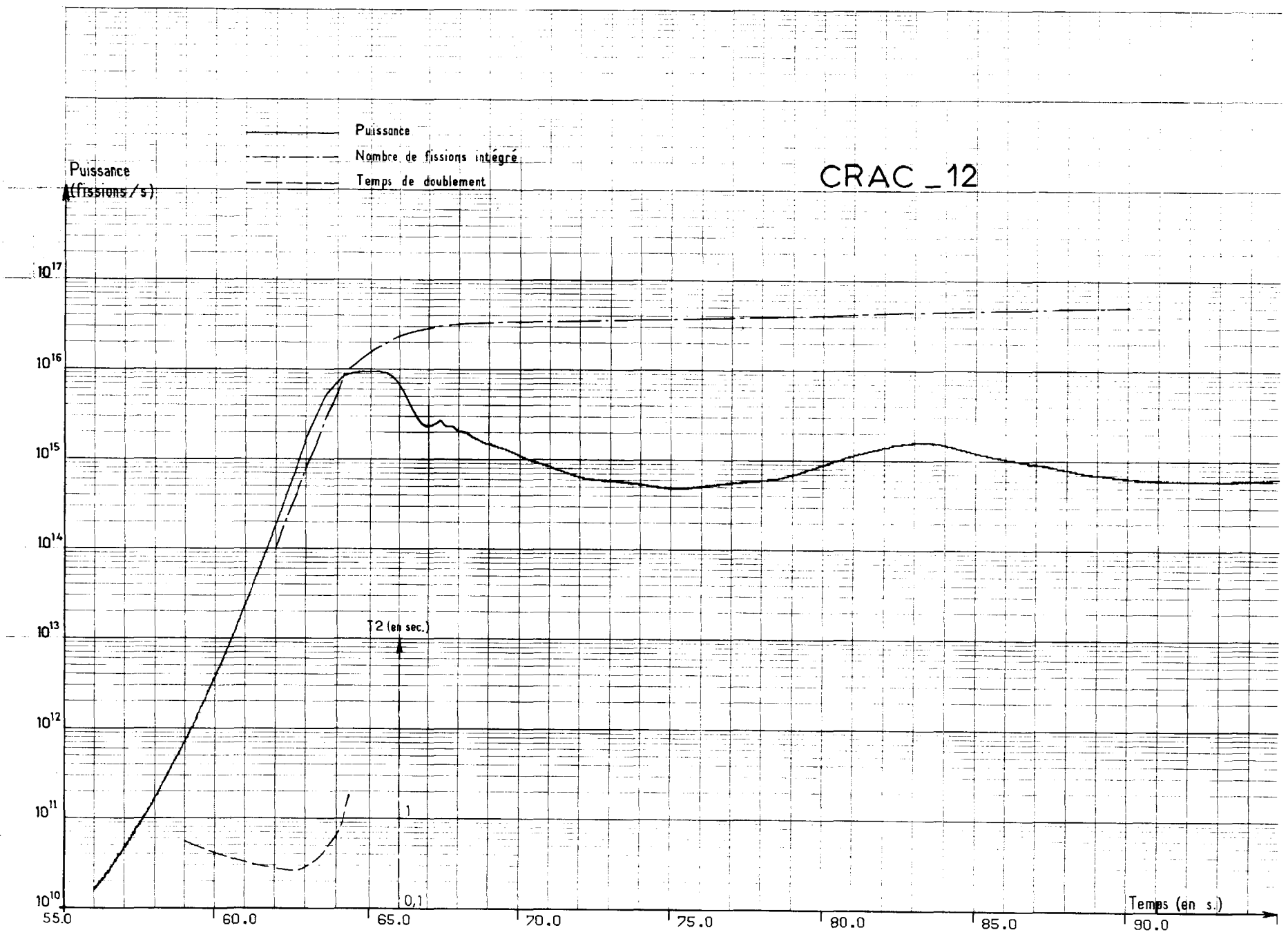


Fig.5 - Temperatures.

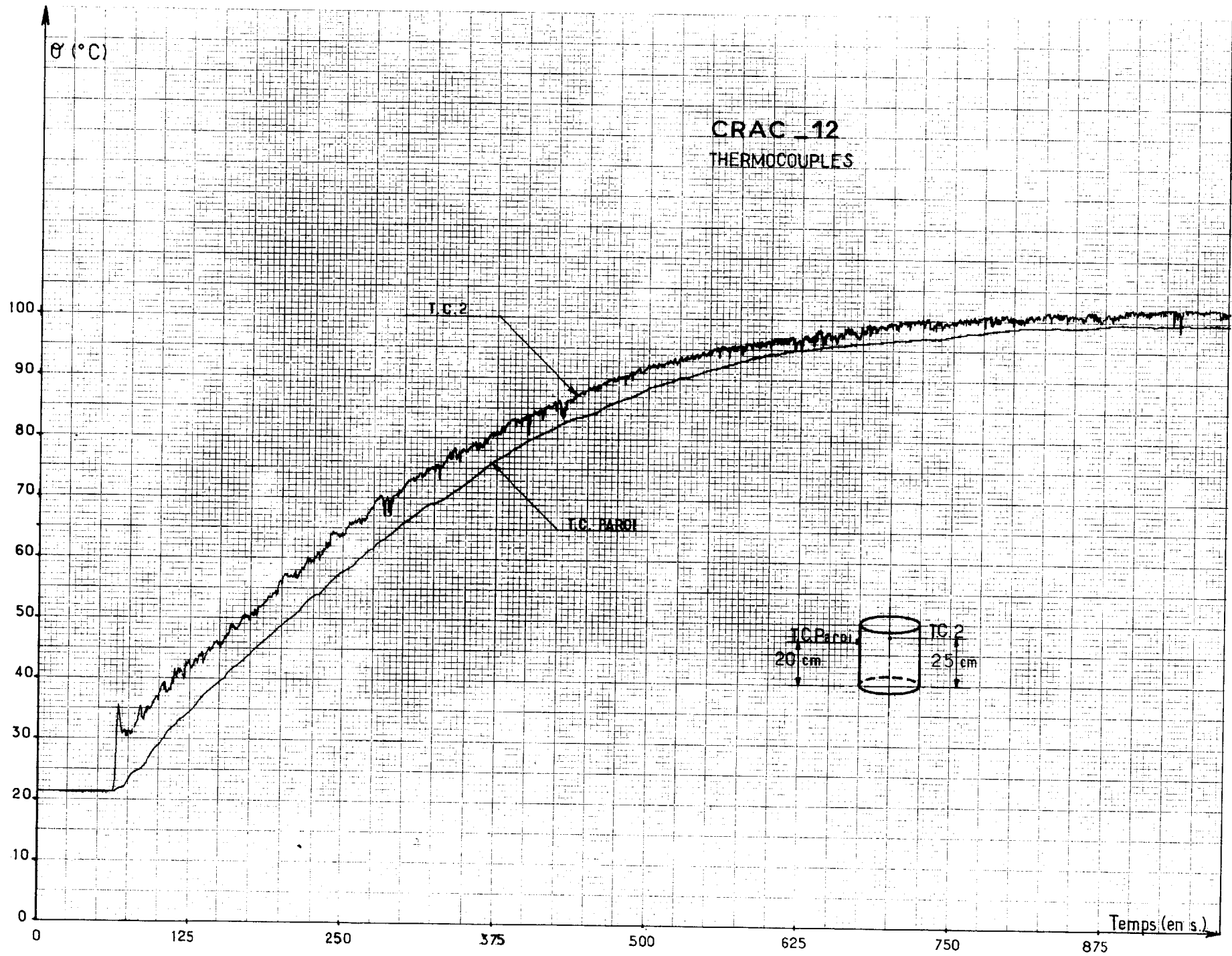
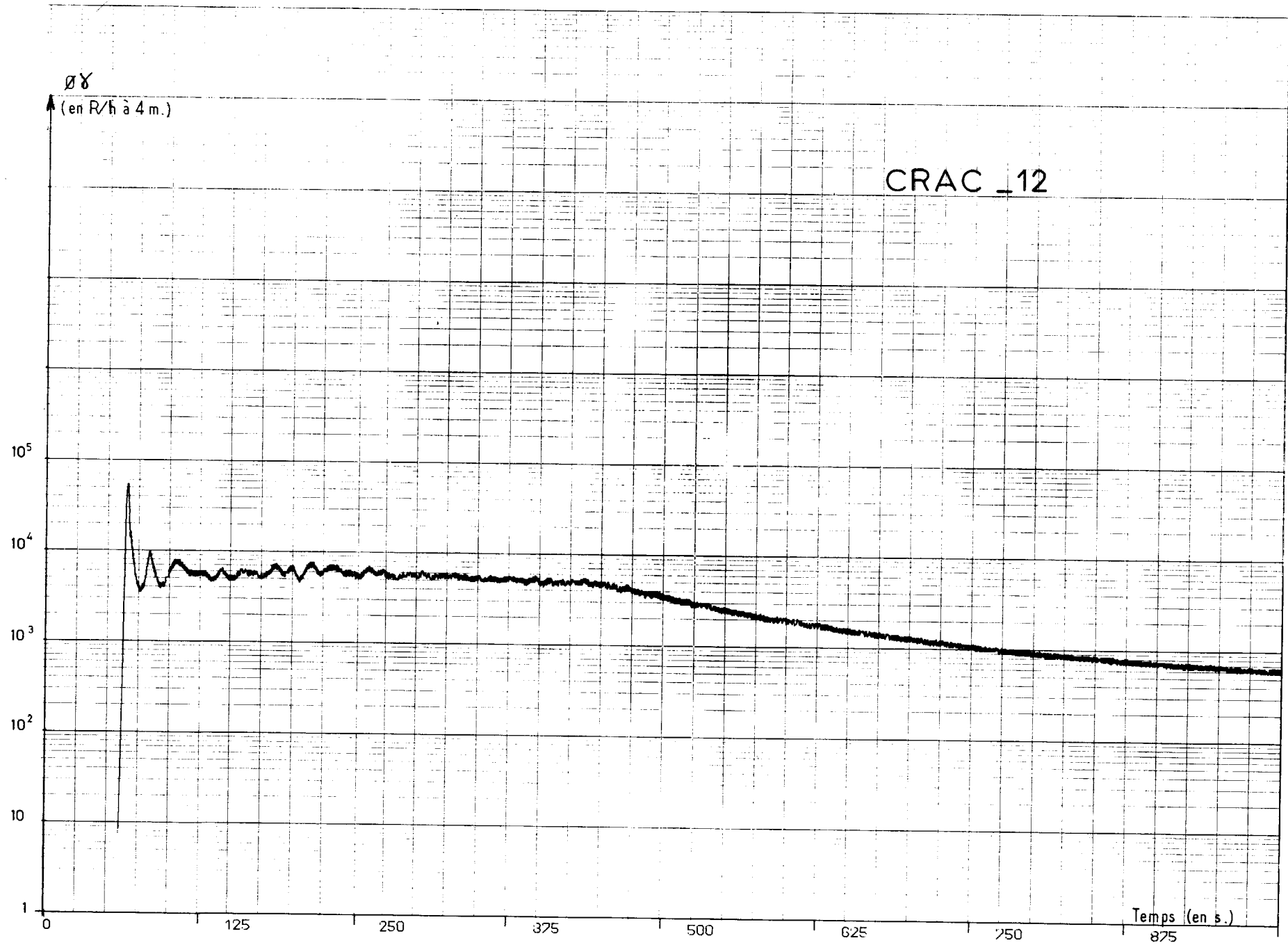


Fig.6 - Flux gamma



CRAC\_12  
VARIATION DU COEFFICIENT  
DE MULTIPLICATION EFFECTIVE =  $K_{eff}$

Evolution de la puissance en Log.

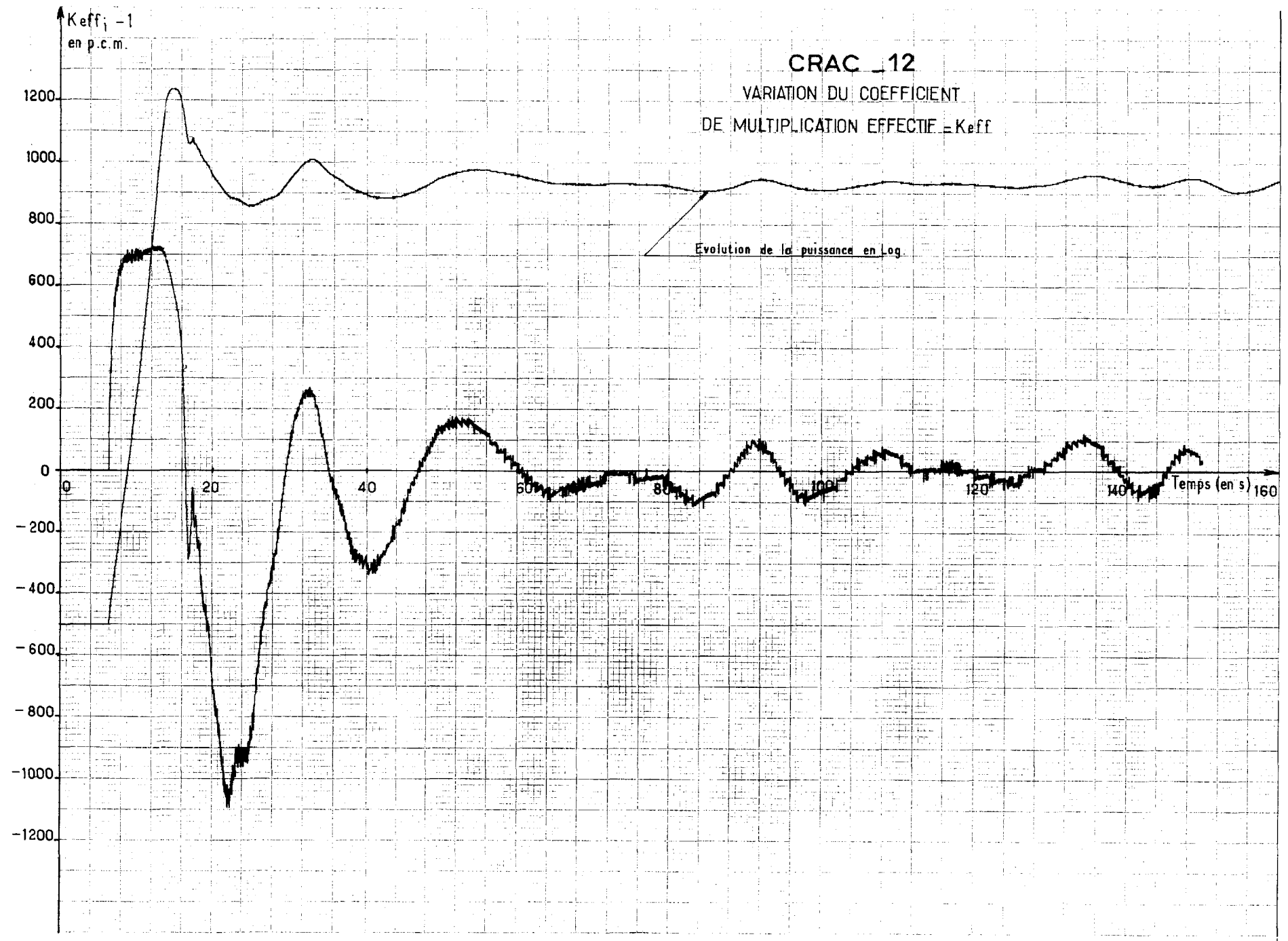
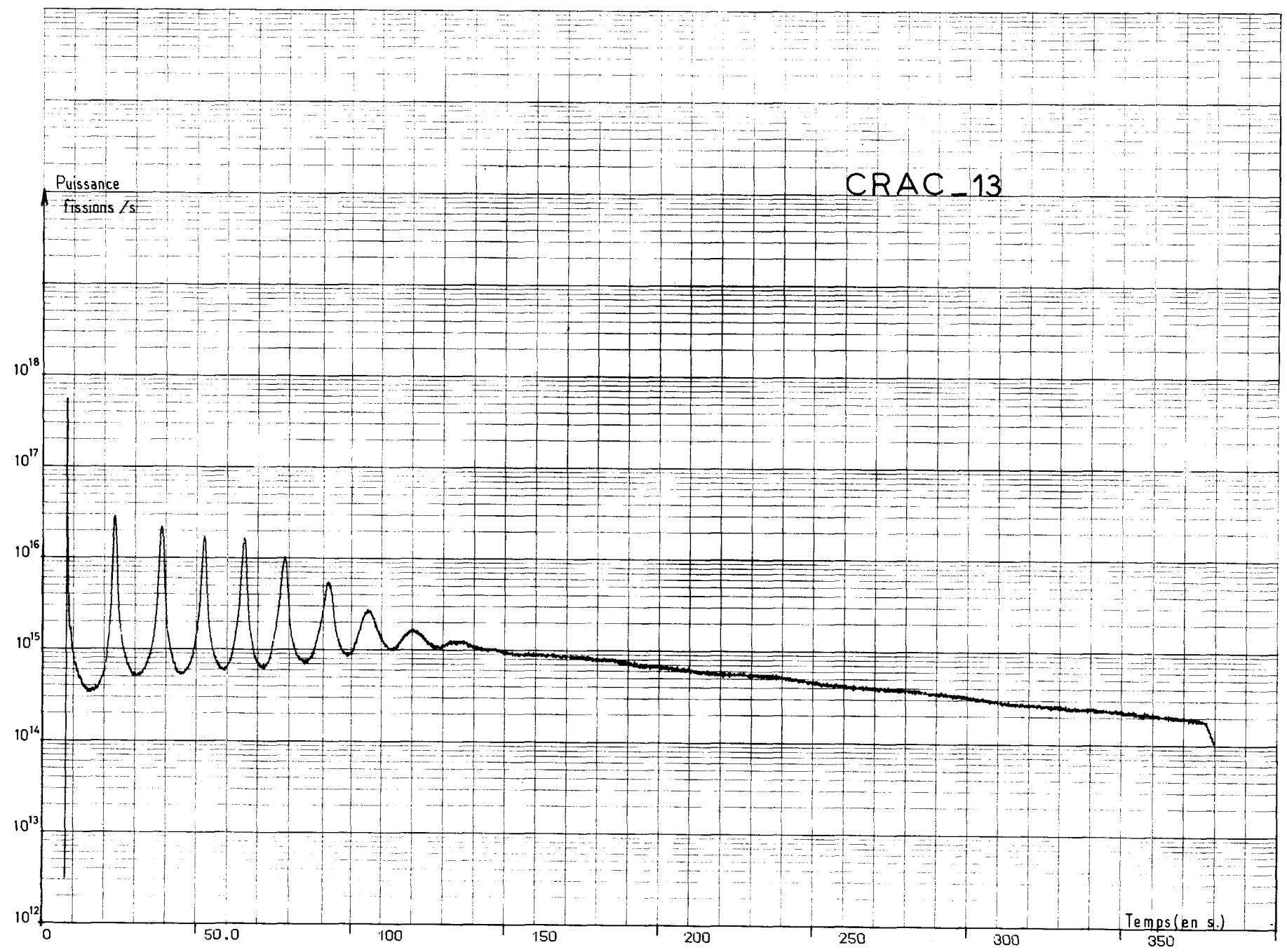


Fig. 7 - Réactivité.

Fig. 8 - Evolution de la puissance.



# CRAC\_13

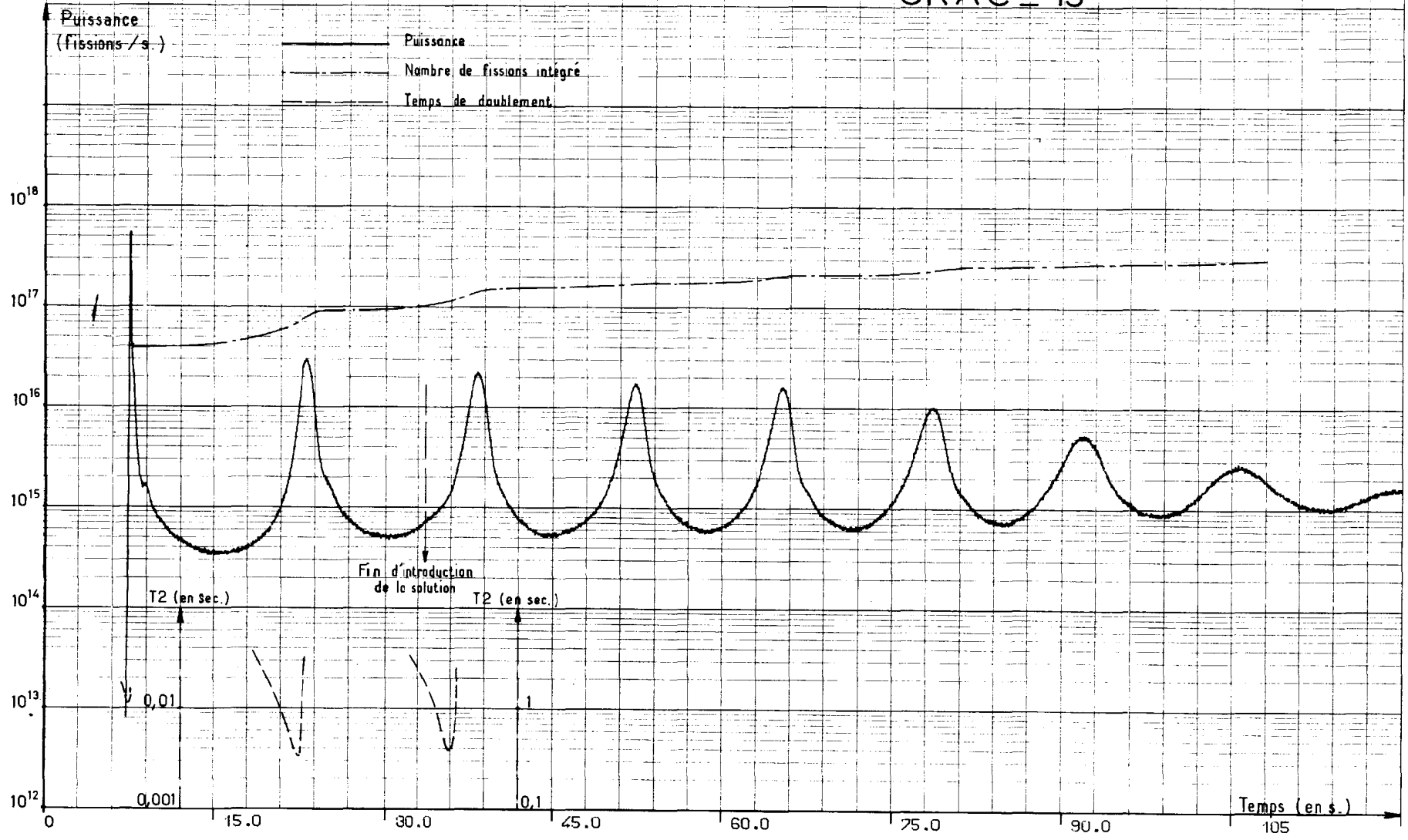


Fig: 9 - Puissance (échelle dilatée).

Fig. 10\_Temperatures

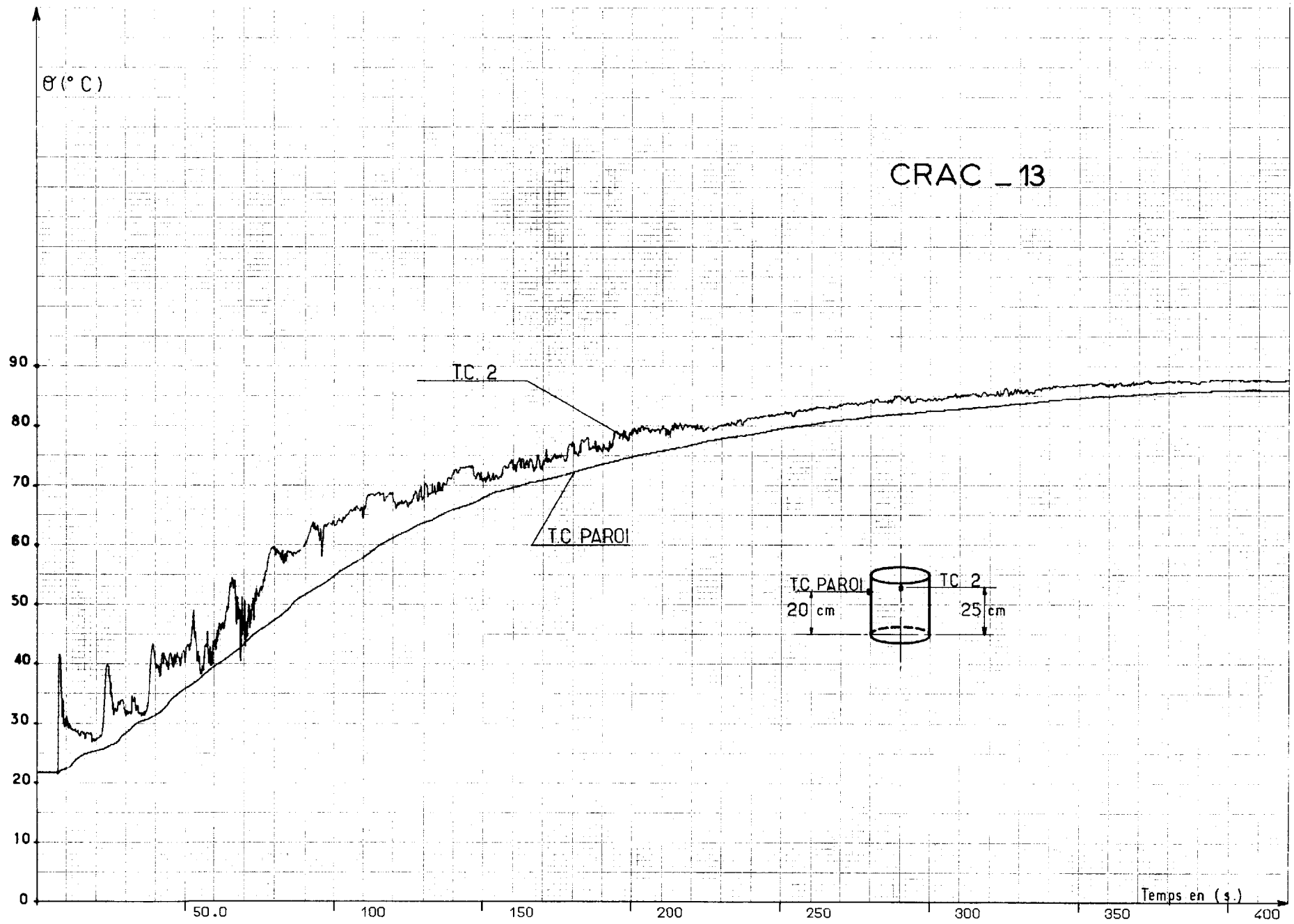


Fig.11 - Flux gamma.

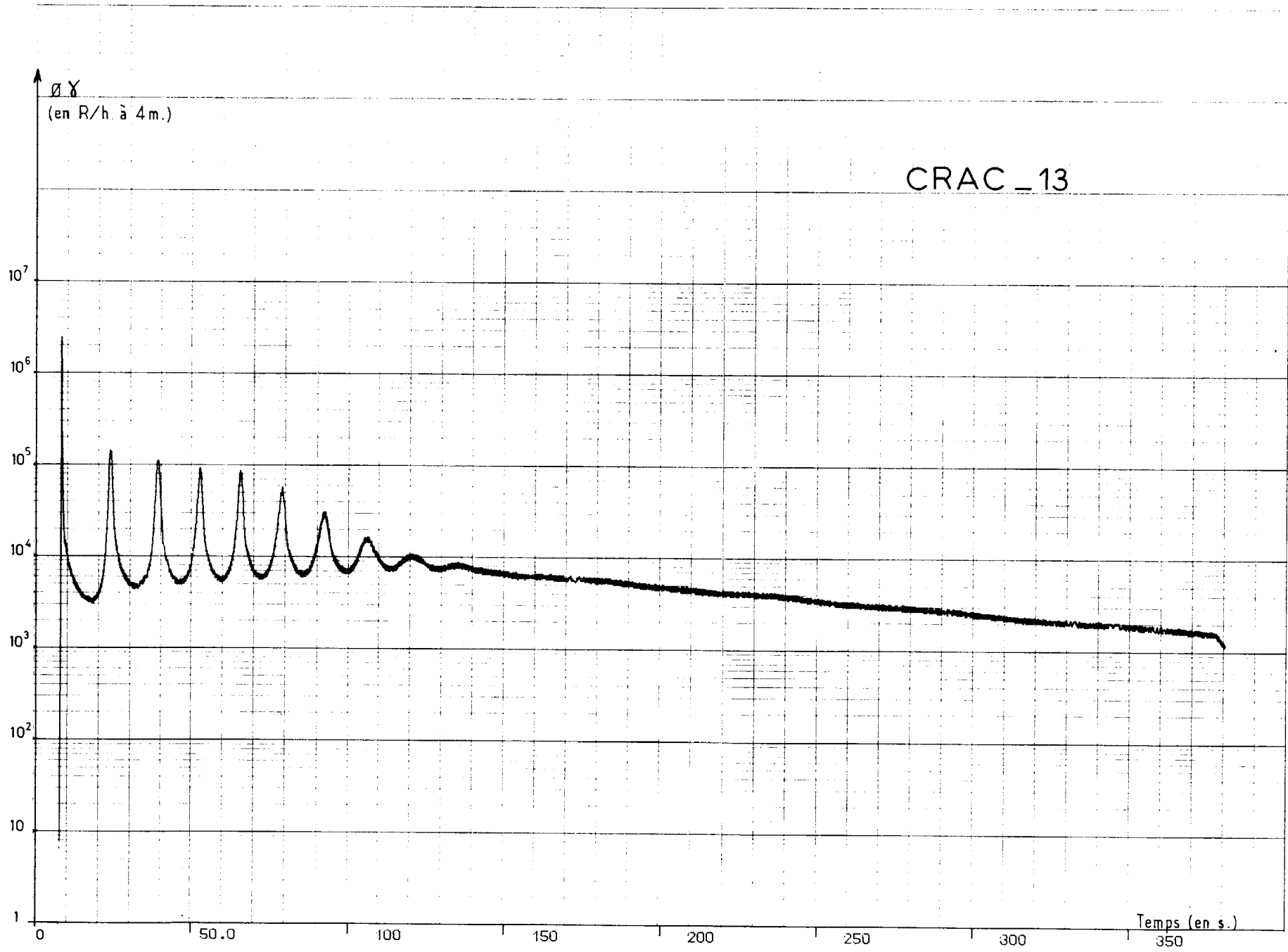


Fig:12 - Réactivité.

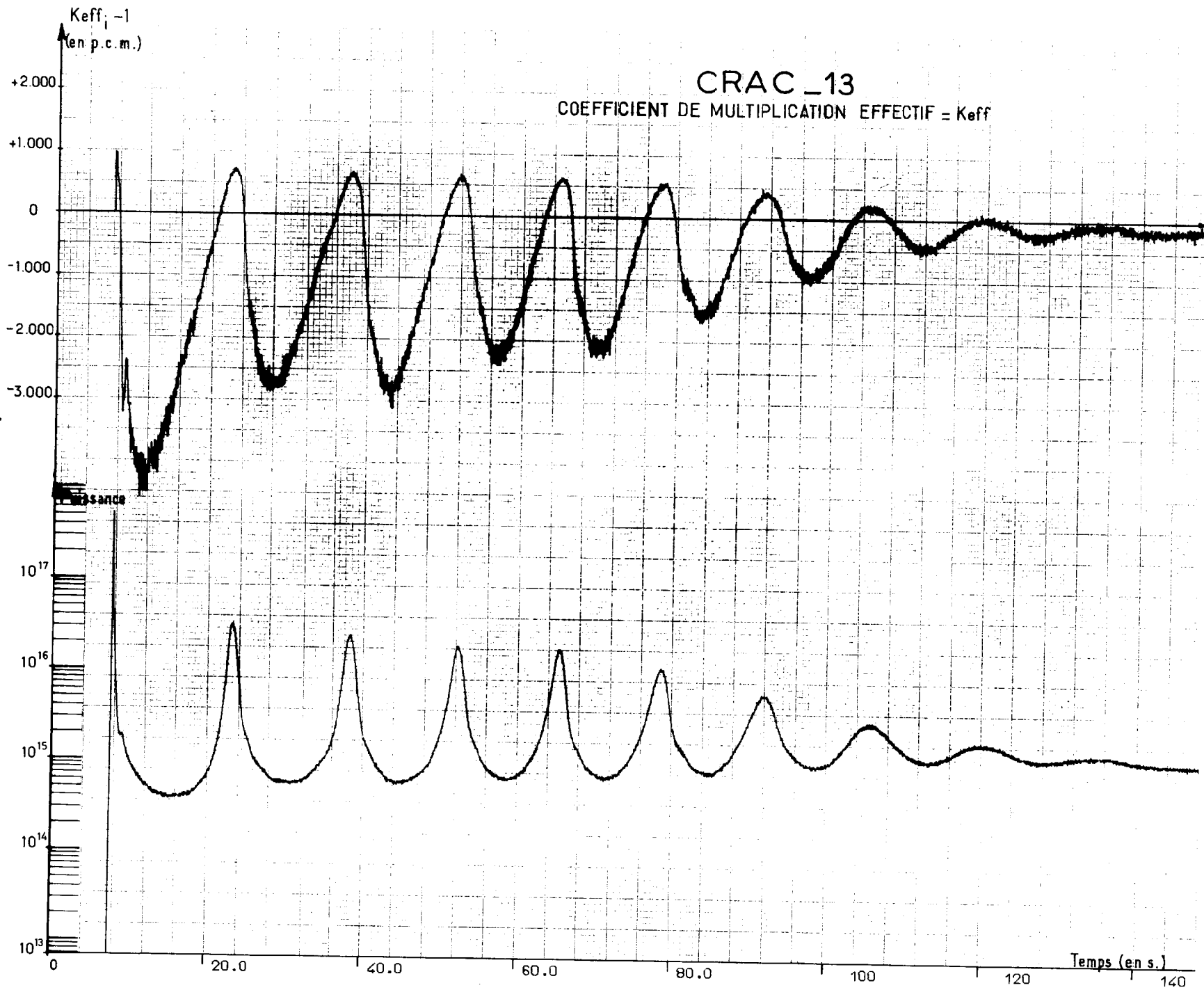


Fig:13 - Evolution de la puissance.

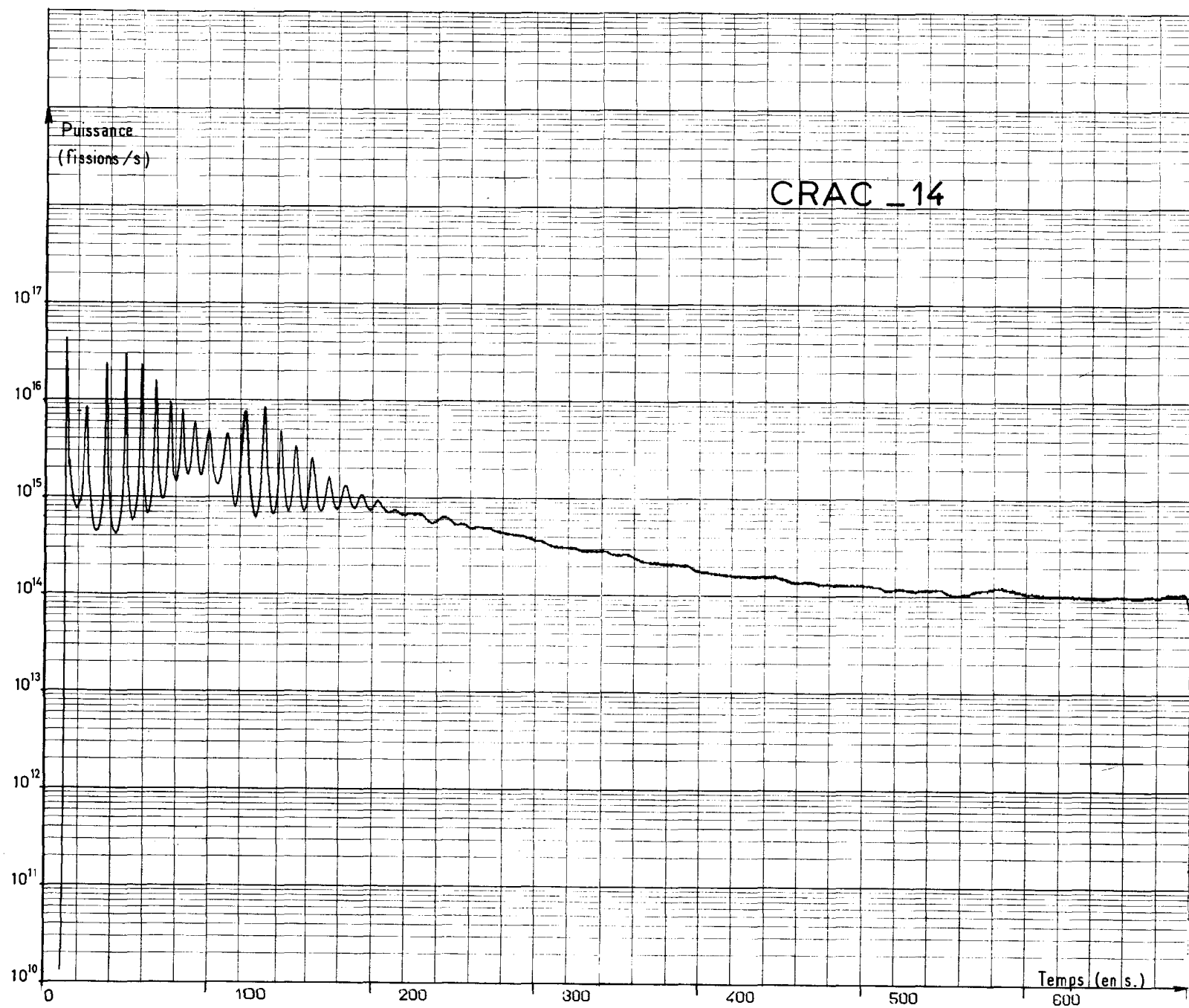


Fig.14 - Puissance (échelle dilatée)

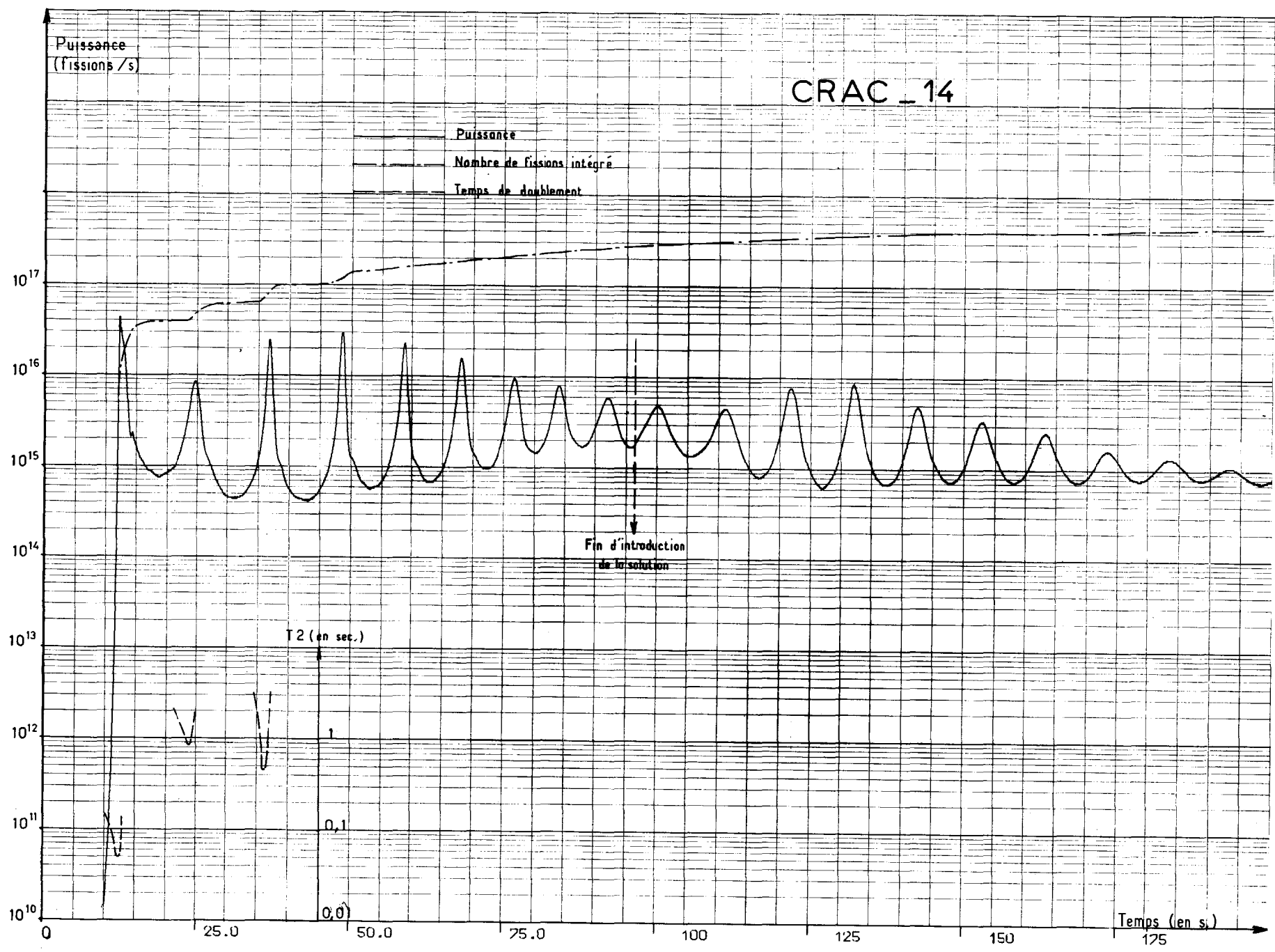


Fig. 15 - Températures.

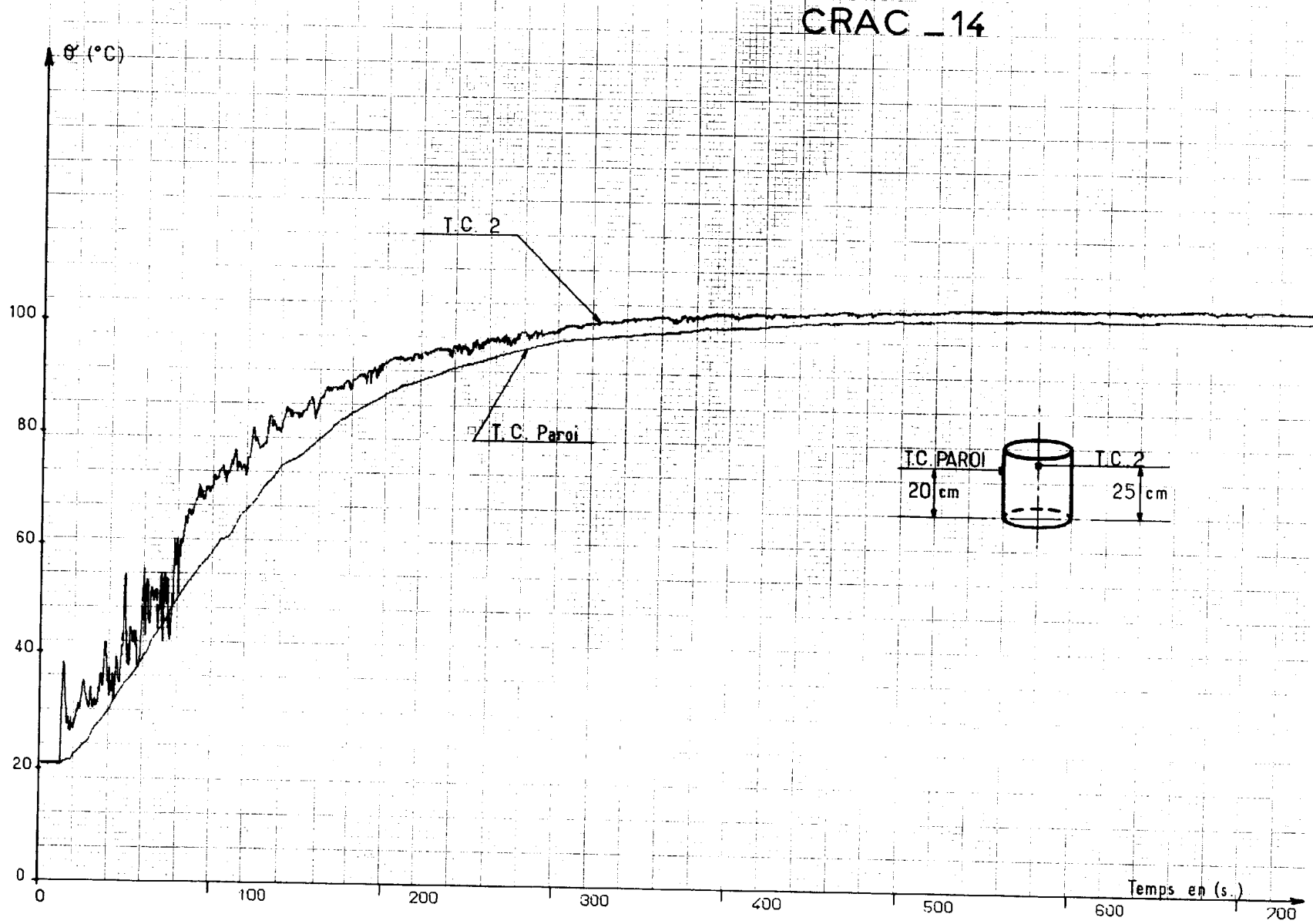


Fig:16\_Flux gamma.

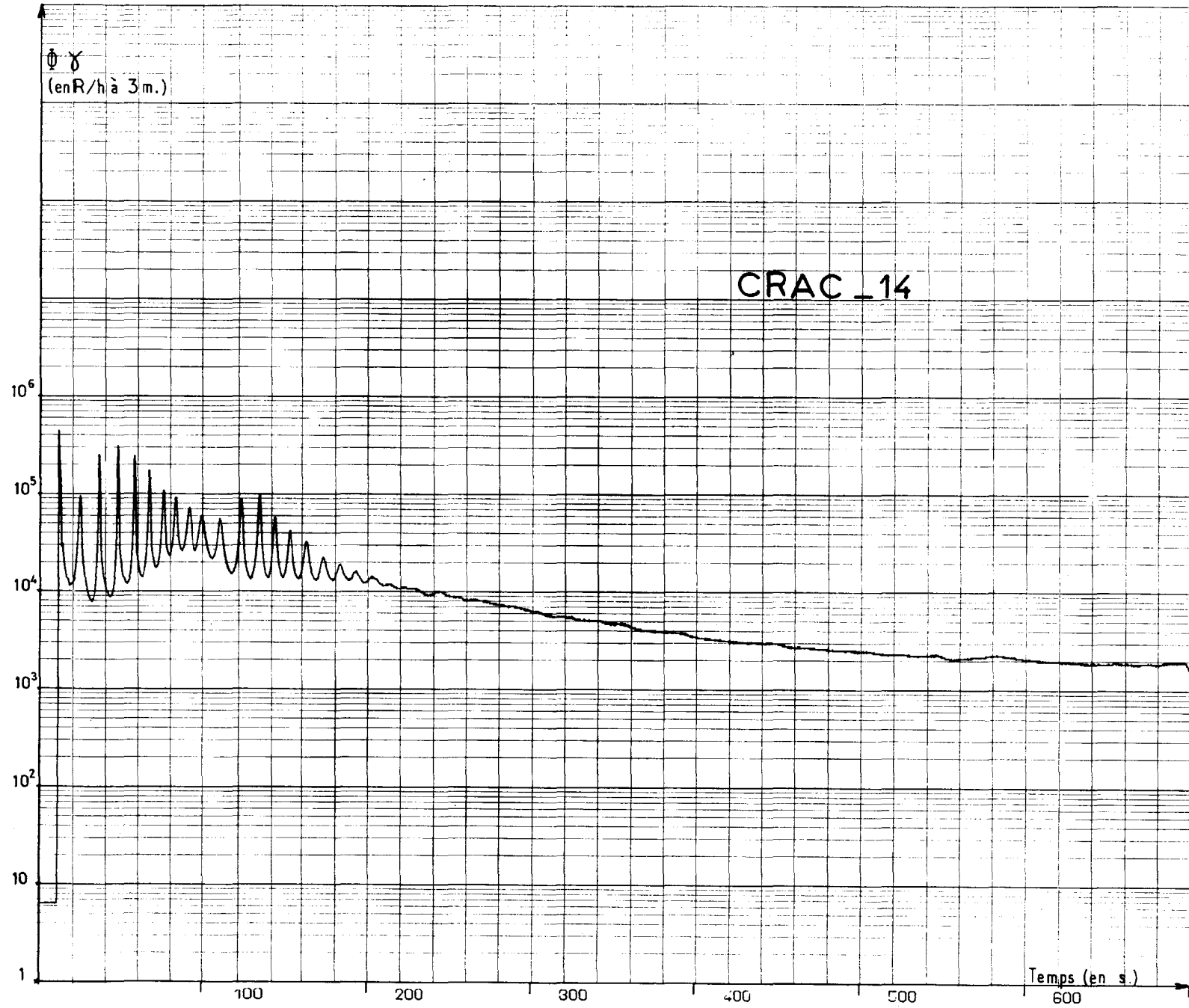
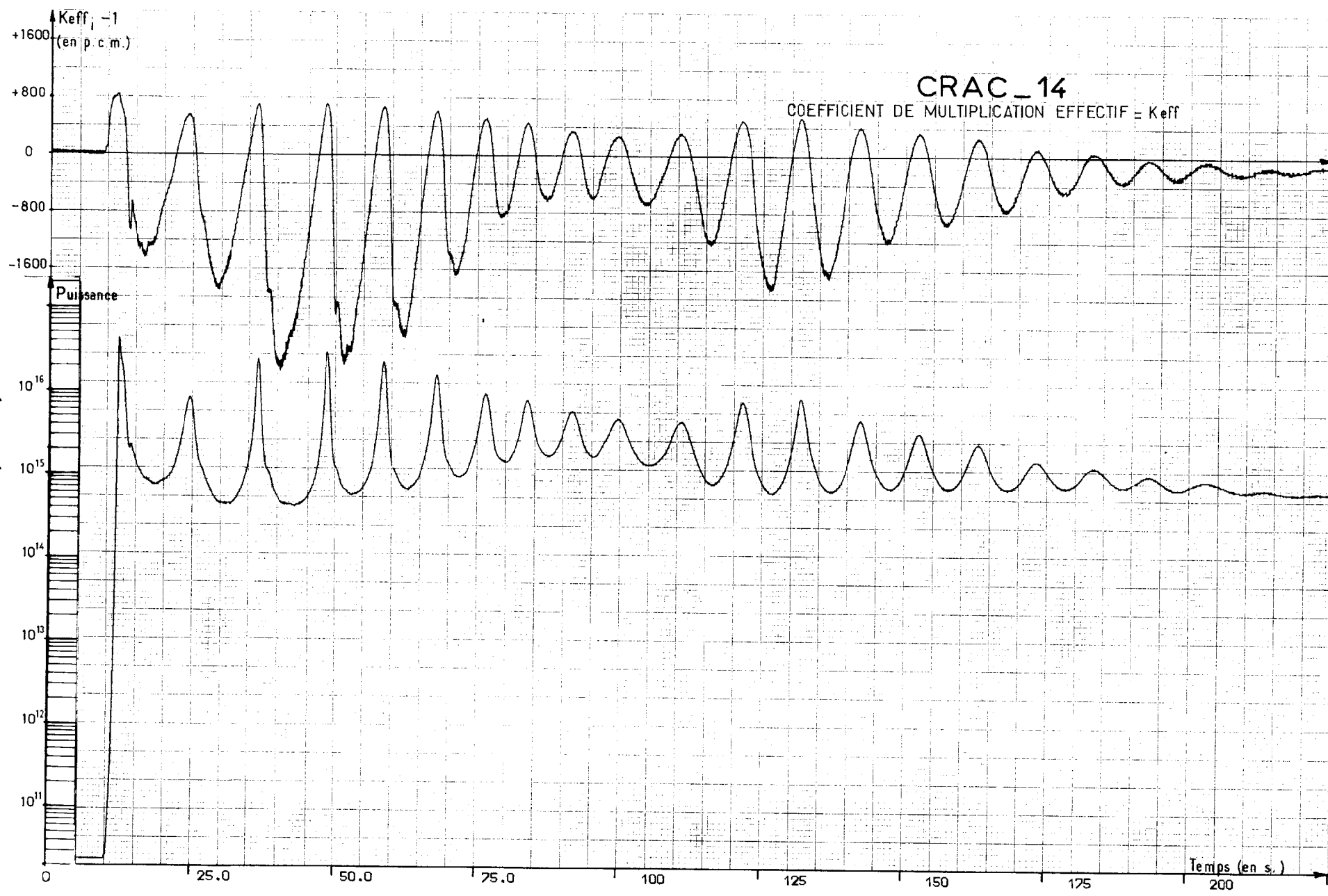


Fig. 17 - Réactivité.



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

- 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.
- M. le Directeur des Production / FAR .....	1 ex.
- M. le Chef du Service des Combustibles Irradiés / FAR .....	1 ex.
- M. le Chef de Centre du Bouchet .....	1 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. ....	1 ex.
- M. le Directeur des Applications Militaires .....	3 ex.
dont 1 ex. Sous-Direction des Recherches	
1 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 1 ex. Documentation	
- M. le Chef du Service d'Electronique Industrielle .....	1 ex.
- M. le Directeur du Centre de GRENOBLE .....	1 ex.
- M. le Directeur chargé des CEN-FAR et CADARACHE (SIEGE) .....	1 ex.
- M. le Chef du Département des Piles Expérimentales / SACLAY .....	2 ex.

DESTINATAIRES (Suite)

- 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 des 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 de Service de Fabrication et 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 Chef de l'Annexe Recherche / VALDUC .....	5 ex.
dont 1 ex. C.VA/DIR	
3 ex. C.VA/R	

\*

\*

\*