

COMMISSARIAT A
L'ENERGIE ATOMIQUE

SEEC n° 69

Aôut 1969

DIRECTION DE LA PROTECTION
ET DE LA SURETE RADIOLOGIQUES

EXPERIENCES
CRAC .09.10.11

RESULTATS

SERVICE D'ÉTUDES DE CRITICITÉ

Section Expérimentale d'Études de Criticité

S O M M A I R E

1 - EXPERIENCE C.R.A.C. 09

1 - 1 - Configuration étudiée

1 - 2 - Nature de la solution fissile

1 - 3 - Détecteurs utilisés

1 - 4 - Résultats

2 - EXPERIENCE C.R.A.C. 10

2 - 1 - Objet de l'expérience

2 - 2 - Résultats

3 - CONCLUSIONS SUR LES EXPERIENCES C.R.A.C. 09 ET C.R.A.C. 10

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 11

4 - 1 - But de l'expérience

4 - 2 - Difficultés rencontrées

4 - 3 - Configuration - Solution fissile utilisée

4 - 4 - Résultats

4 - 5 - Conclusion

*

*

*

1 - EXPERIENCE C.R.A.C. 09

1 - 1 - CONFIGURATION ETUDIEE

La cuve expérimentale est constituée par l'élément inférieur de la cuve ayant servi aux précédentes expériences C.R.A.C. : c'est un cylindre de diamètre extérieur 300 mm (294 mm de diamètre intérieur) et d'environ 1 m. de hauteur (fig. 1).

1 - 2 - NATURE DE LA SOLUTION FISSILE

La solution fissile utilisée est du nitrate d'uranyle.

Densité	U Total g/l	U 235 g/l	H ⁺ N	NO ₃ ⁻ N
1,172	78,3	72,9	2,00	2,67

1 - 3 - DETECTEURS UTILISES

L'évolution neutronique a été suivie par une chambre d'ionisation du type 3C2B placée derrière un écran Pb + H₂O + Cd déjà décrit dans un précédent rapport.

Pour le rayonnement gamma, on utilise des chambres d'ionisation à haut flux (type CGHF).

La position de ces détecteurs est donnée en fig. 2.

1 - 4 - RESULTATS

1 - 4 - 1 - Données caractéristiques

- Hauteur critique	42,90 cm
- Hauteur de départ	10,10 cm
- Volume introduit	36 l.
- Hauteur atteinte en fin d'introduction	52,6 cm
- Temps total d'introduction	68,8 s.
- Débit moyen d'introduction	1510 l/h
- Durée de l'expérience (introduction incluse)	5 minutes
- Réactivité potentielle introduite	≈ 2500 pcm

1 - 4 - 2 - Chronologie

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

- Temps d'introduction après H_c	15 s.
- Sommet du 1er pic	6,4 s.
- Sommet du 2ème pic	23,3 s.
- Sommet du 3ème pic	37,7 s.
- Sommet du 4ème pic	51,6 s.
- Sommet du 5ème pic	64,6 s.

1 - 4 - 3 - Radiolyse - Effet Cerenkov

Des dégagements gazeux (radiolyse) ainsi qu'une intense émission de lumière (effet Cerenkov) ont accompagné l'apparition de chaque pic.

1 - 4 - 4 - Radiochimie - Nombre total de fissions

- Résultats des analyses radiochimiques :

P.F.	NOMBRE DE FISSIONS
Mo 99	$2,93 \cdot 10^{17}$
Ce 143	$2,95 \cdot 10^{17}$
Ce 144	$2,75 \cdot 10^{17}$
Te 132	$2,73 \cdot 10^{17}$
Ru 103	$3,25 \cdot 10^{17}$

Moyenne générale : $2,9 \cdot 10^{17}$

Dispersion : $\pm 7 \%$

1 - 4 - 5 - Evolution des divers paramètres

1 - 4 - 5 - 1 - Puissance - Nombre de fissions intégré - Temps de doublement (voir figures 3 et 4) :

Pour le 1er pic de puissance, nous avons :

- Puissance maximum : $2,7 \cdot 10^{17}$ f/s.
- Temps de doublement minimum : 15 ms

1 - 4 - 5 - 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). (fig. 5)

1 - 4 - 5 - 3 - Flux gamma (fig. 6) :

L'intensité du rayonnement gamma est donnée par la chambre CGHF placée à 4 m. de l'axe de la cuve expérimentale.

1 - 4 - 5 - 4 - Réactivité :

Des expériences préliminaires de divergence ont permis de déterminer la variation de la réactivité en fonction de la hauteur de solution introduite au-dessus de la hauteur critique. Avant de donner les résultats de ces expériences, indiquons la valeur des constantes utilisées pour leur exploitation.

- Neutrons retardés

GROUPES	1	2	3	4	5	6
β_i %	0,021	0,139	0,126	0,252	0,074	0,026
λ_i s ^{-s}	0,0124	0,0305	0,111	0,301	1,13	3,00
ξ_i efficacité	1,320	1,267	1,312	1,257	1,312	1,200

$$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \xi_i \beta_i = 814 \text{ pcm}$$

- Neutrons prompts

Temps de vie $\bar{\ell} = 31 \mu\text{s}$

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

$$\sum_{f_{th}} = 0,0790$$

$$\sum_{a_{th}} = 0,113$$

- Expériences de divergence

	H _c cm	H _{final} cm	Δ H mm	T ₂ s	ρ pcm	$\frac{\Delta \rho}{\Delta H}$ en pcm/mm
Expérience 1,	43,26	43,66	4,0	34,4	134,5	33,6
Expérience 2,	43,26	44,07	8,1	10,85	264	32,6
Expérience 3,	43,26	44,57	13,1	3,95	409	31,2

- Evolution de la réactivité

Les figures 7 et 8 traduisent l'évolution calculée de la réactivité. Les résultats des expériences de divergence nous permettent d'évaluer à environ 2500 pcm la réactivité introduite.

2 - EXPERIENCE C.R.A.C. 10

2 - 1 - OBJET DE L'EXPERIENCE

Il s'agit d'étudier l'influence d'une rampe d'introduction de réactivité plus faible sur l'évolution de la puissance. La solution fissile et la géométrie étudiée sont donc les mêmes que pour l'expérience C.R.A.C. 09 : par contre le débit a été ramené de 1500 à 500 l/h. Rien n'a été modifié quant aux détecteurs utilisés.

2 - 2 - RESULTATS

2 - 2 - 1 - Données caractéristiques

- Hauteur critique (neutrons retardés)	42,5 cm
- Hauteur de début d'introduction	10,1 cm
- Volume total introduit	44,6 l.
- Hauteur atteinte en fin d'introduction	65,9 cm
- Débit moyen d'introduction	570 l/h
- Temps total d'introduction	267 s.
- Durée de l'expérience (à partir de H_c)	800 s.
- Réactivité potentielle introduite	\approx 5000 pcm

2 - 2 - 2 - Chronologie

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

- Temps d'introduction après passage à H ₀	100 s.
- Sommet du 1er pic	6,62 s.
- Sommet du 2ème pic	19,8 s.

18 pics ont été observés au cours de l'évolution.

2 - 2 - 3 - Effet Cerenkov - Radiolyse

Les nombreux pics ont tous été accompagnés de l'émission lumineuse due à l'effet Cerenkov et des dégagements gazeux résultant de la radiolyse.

2 - 2 - 4 - Nombre total de fissions

C'est à partir de détecteurs étalonnés en puissance que l'on a calculé le nombre total de fissions.

Nombre total de fissions : $7,0 \cdot 10^{17}$ fissions
($\pm 10 \%$)

2 - 2 - 5 - Evolution des différents paramètres

2 - 2 - 5 - 1 - Puissance - Nombre de fissions intégré - Temps de doublement :

Voir figures 9 et 10

- Caractéristiques du 1er pic :

- Puissance maximum $\simeq 2,2 \cdot 10^{17}$ f/s.

- Temps de doublement minimum $T_2 = 17$ ms

2 - 2 - 5 - 2 - Flux gamma - Température

L'évolution du flux gamma est donnée sur la figure 11 par une chambre CGHF placée à 4 m. de l'axe de la cuve.

Deux thermocouples TC₂ et TC paroi ont suivi l'échauffement de la solution (fig. 12).

3 - CONCLUSIONS SUR LES EXPERIENCES C.R.A.C. 09 ET C.R.A.C. 10

Il est étonnant de remarquer que la variation du débit d'introduction n'a eu que peu d'influence sur le 1er pic. Par contre le fort potentiel de réactivité introduit lors de l'expérience C.R.A.C. 10 s'est traduit par un nombre total de fissions beaucoup plus important que pour l'expérience précédente. Les deux expériences que l'on vient de décrire sont d'ailleurs les premières d'une campagne au cours de laquelle seront plus particulièrement étudiées les relations liant les paramètres rampe et potentiel de réactivité au nombre total de fissions obtenu lors de tels accidents.

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 11

4 - 1 - BUT DE L'EXPERIENCE

L'expérience a pour objet d'étudier un accident de criticité provoqué par une brusque introduction de réactivité dans une solution fissile très concentrée.

4 - 2 - DIFFICULTES RENCONTREES

Les résultats figurant dans ce rapport ne sont que très sommaires par suite des difficultés rencontrées : en effet certains ennuis ont perturbé l'acquisition des données sur bandes magnétiques : en outre les enregistreurs classiques ne suivent plus des évolutions aussi rapides.

4 - 3 - CONFIGURATION . SOLUTION FISSILE UTILISEE

La configuration étudiée ainsi que les détecteurs utilisés sont les mêmes que pour les expériences précédentes.

- Composition de la solution fissile :

Densité	U Total g/l	U 235 g/l	H ⁺ N	NO ₃ ⁻ N
1,602	383	357	2,87	6,13

4 - 4 - RESULTATS

4 - 4 - 1 - Données caractéristiques

- Hauteur critique (neutrons retardés)	28,94 cm
- Hauteur de début d'introduction	10,10 cm
- Volume total introduit	25,03 l.
- Hauteur atteinte en fin d'introduction	36,40 cm
- Débit moyen d'introduction	1610 l/h
- Temps total d'introduction	39,8 s.
- Durée de l'expérience	10 minutes
- Réactivité potentielle introduite	≈ 5600 pcm

4 - 4 - 2 - Chronologie

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

- Temps d'introduction après passage à H_c	11,3 s.
- Sommet du 1er pic	7,7 s.

4 - 4 - 3 - Effet sonore - Effet Cerenkov - Radiolyse

Au moment du 1er pic, les micros placés à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte ont retransmis un bruit d'explosion. Un flash d'une luminosité intense a été observé tandis qu'une partie de la solution était projetée hors de la cuve expérimentale par la violence du dégagement gazeux (radiolyse).

4 - 4 - 4 - Evolution de la puissance

Aucune radiochimie n'a été faite par suite des divers ennuis déjà mentionnés. La figure 13 donne une idée de l'évolution de la puissance : cette évolution est naturellement faussée après le 1er pic puisqu'une partie de la solution fissile a été éjectée.

Toutefois, à l'aide de divers moyens (recoupement avec C.R.A.C. 08, variation de température lors du 1er pic, calculs théoriques, expériences préliminaires de divergence) nous pouvons donner quelques éléments sur le pic de puissance obtenu.

- Réactivité introduite au moment du 1er pic	3800 pcm
- Temps de doublement probablement obtenu	0,2 ms
- Puissance maximum	$\approx 9 \cdot 10^{19}$ fissions/
- Energie du 1er pic	$\approx 9 \cdot 10^{16}$ fissions
- Largeur du pic	≈ 1 ms

4 - 4 - 5 - Conclusion

Cette expérience sera reprise ultérieurement dans de meilleures conditions expérimentales pour compléter les résultats intéressants qui nous ont échappé. Néanmoins les expériences C.R.A.C. 08 et C.R.A.C. 10 montrent de façon certaine la possibilité d'obtenir sur l'appareillage actuel pour des concentrations allant de 200 à 400 g/l en Uranium 235 des "burst" extrêmement violents ayant des fronts de montée de période inférieure à la milliseconde et une énergie de l'ordre de 10^{17} fissions.

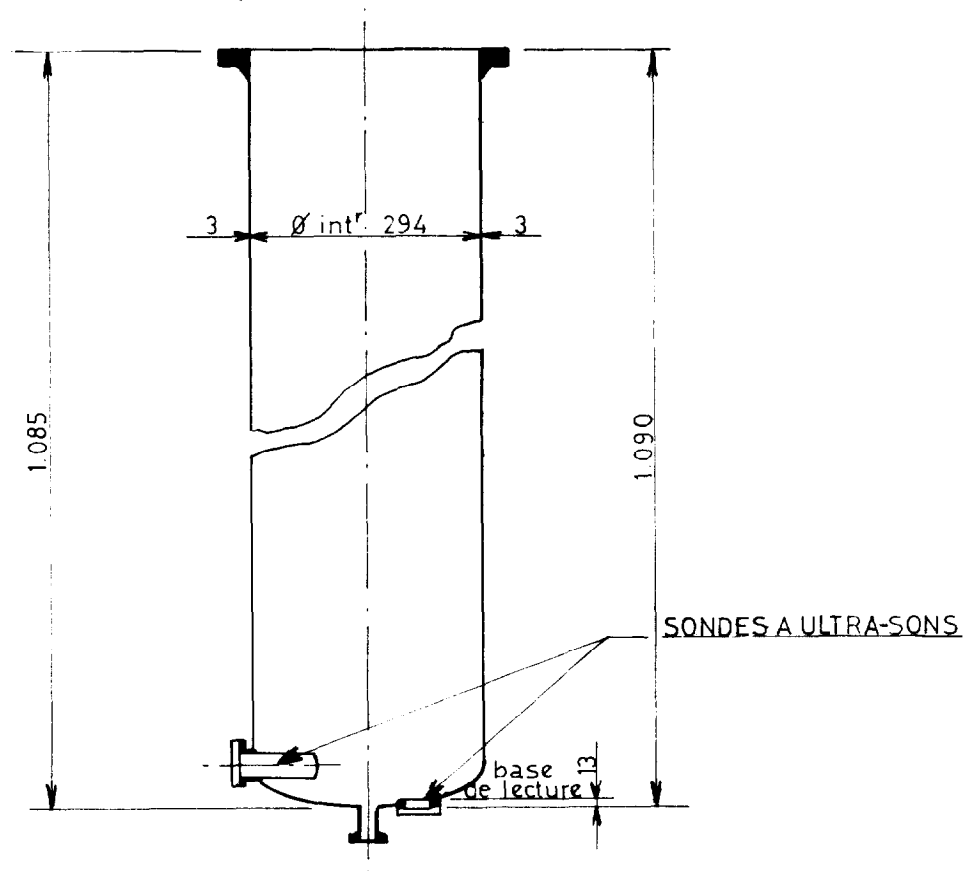


Fig. 1 - Schéma de la cuve expérimentale

CRAC 09.10.11

Fig. 2 Implantation des détecteurs

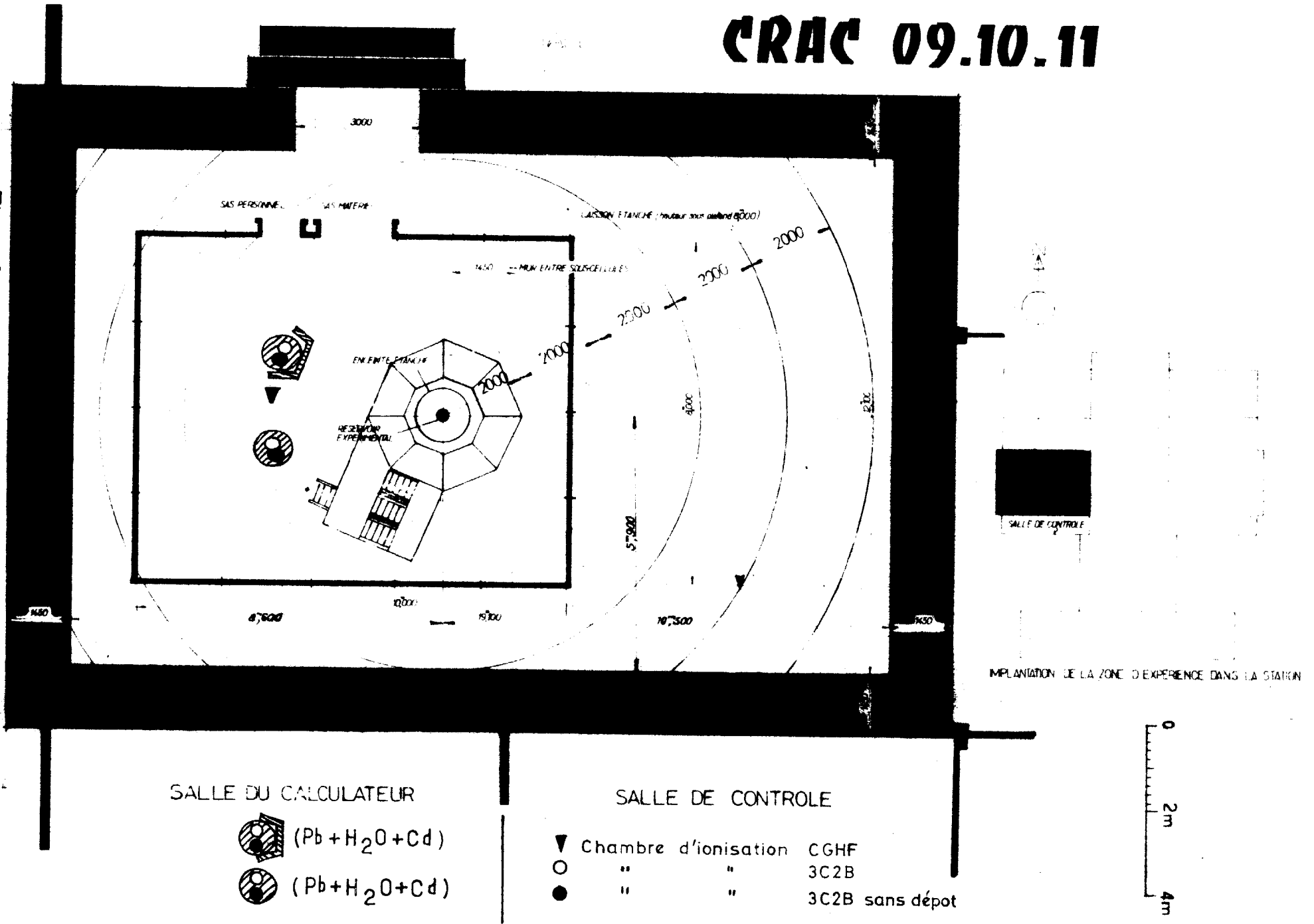


Fig. 3 - Evolution de la puissance

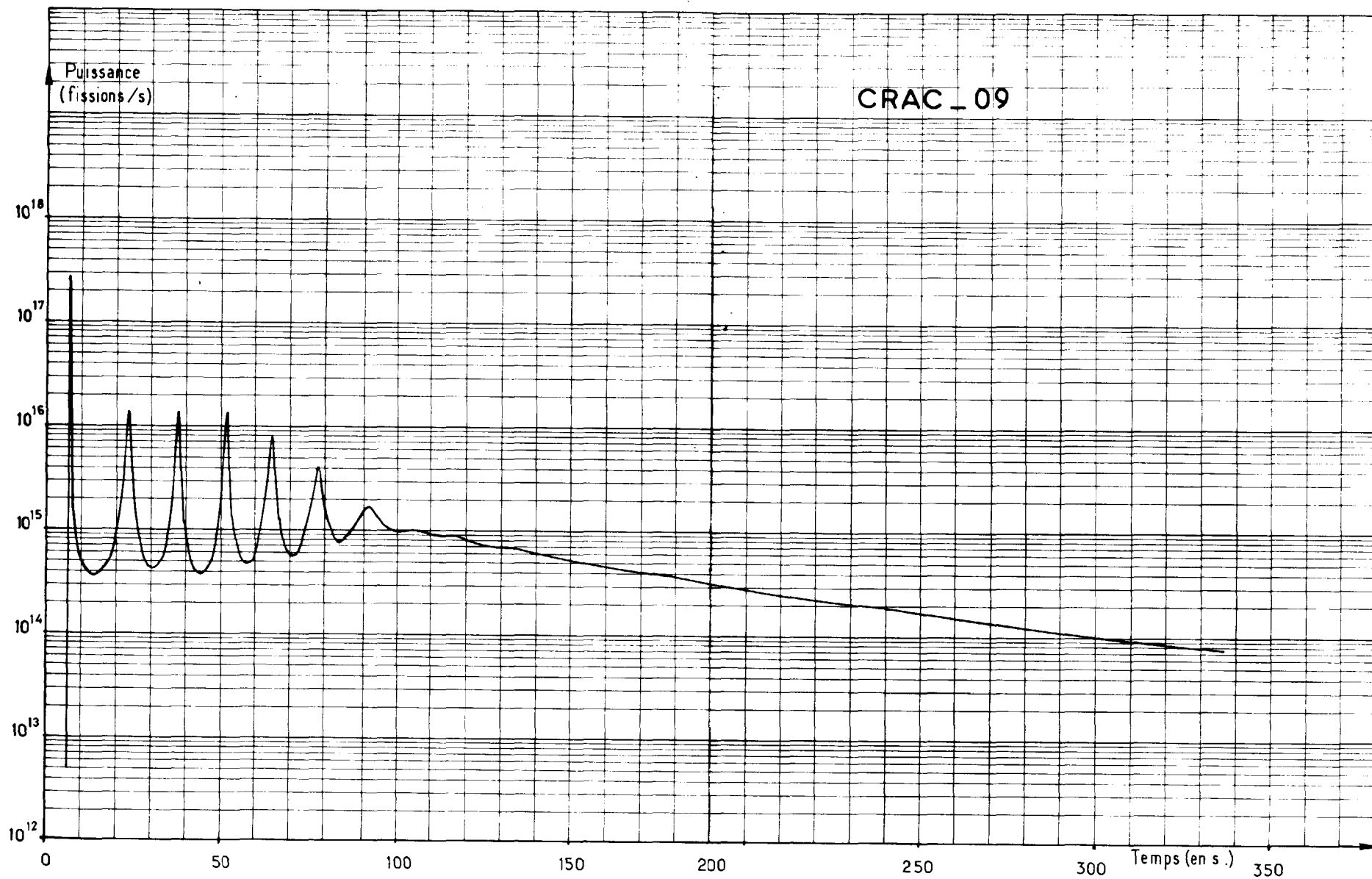
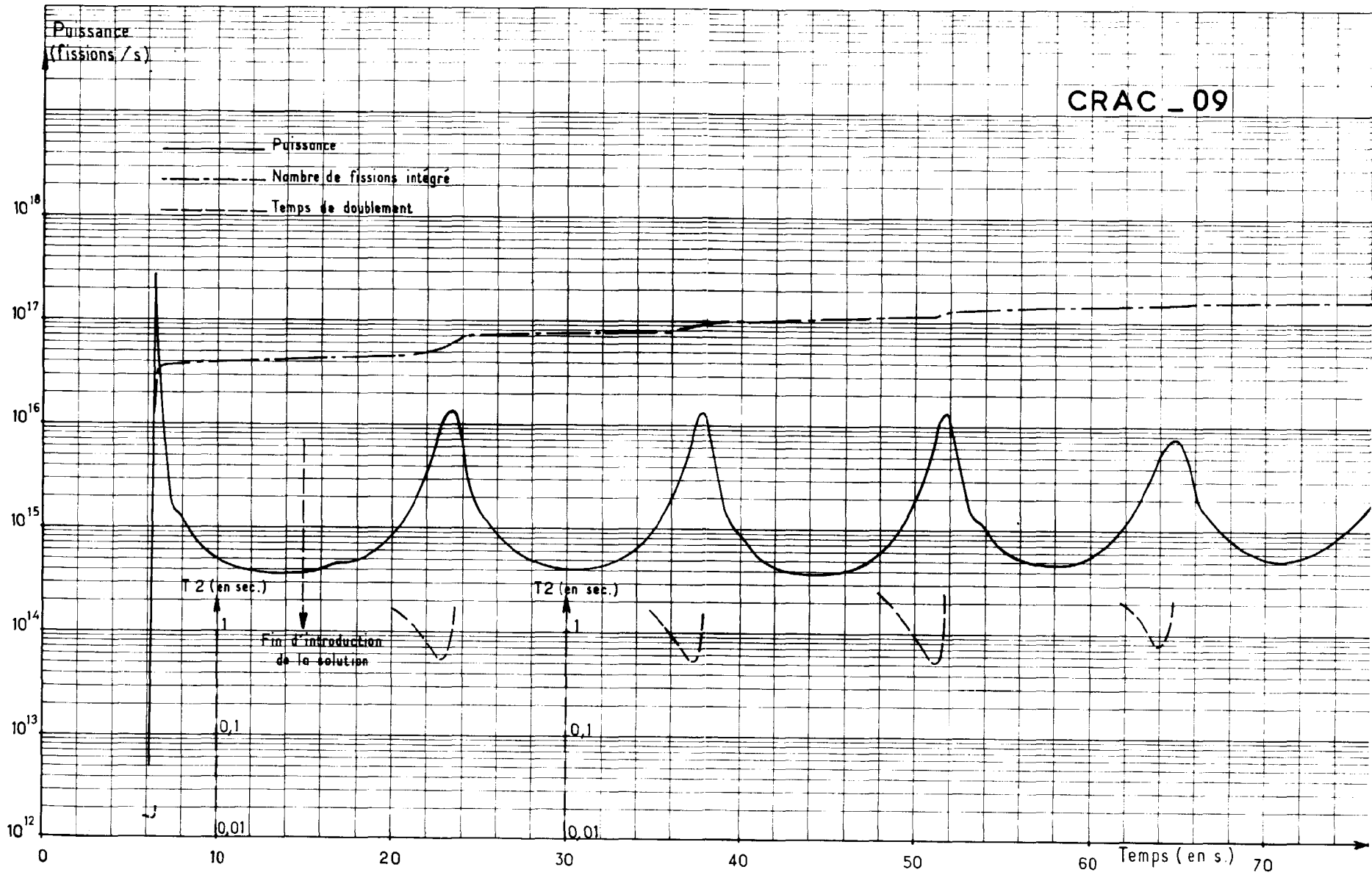


Fig. 4 - Puissance, Nombre de fissions intégré, Temps de doublement



CRAC_09
THERMOCOUPLE

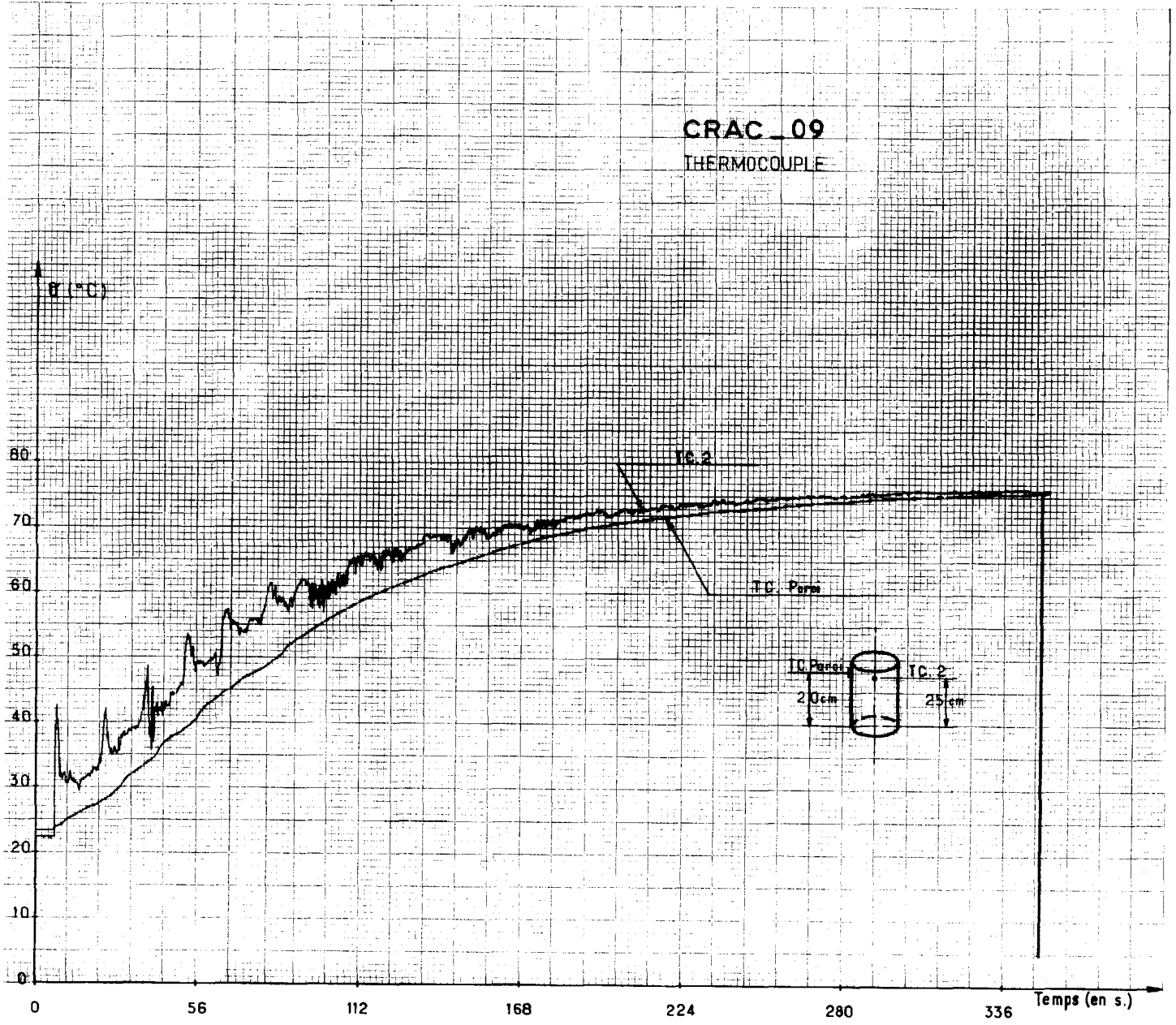
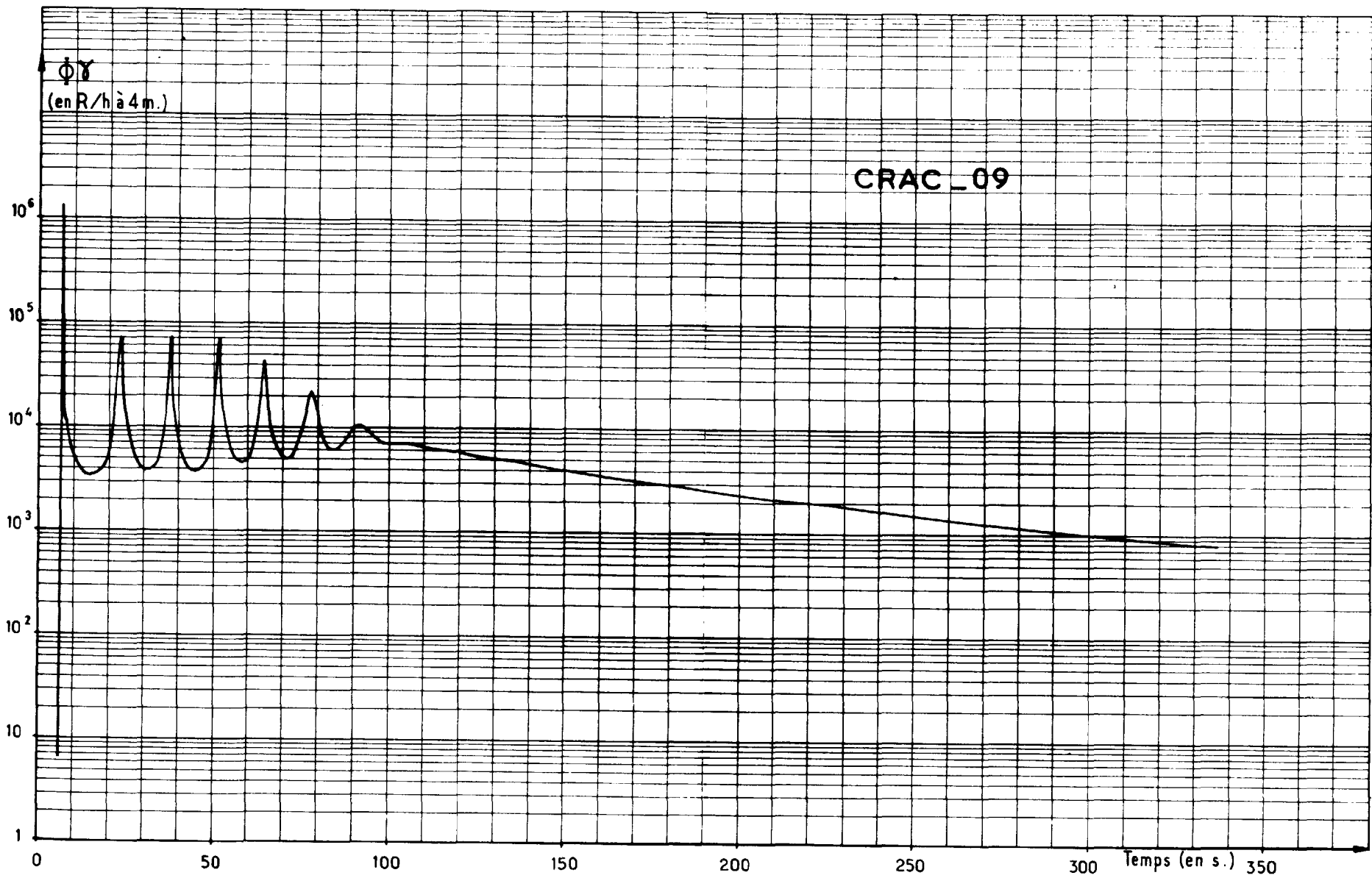


Fig. 5 - Température

Fig. 6 - Flux gamma



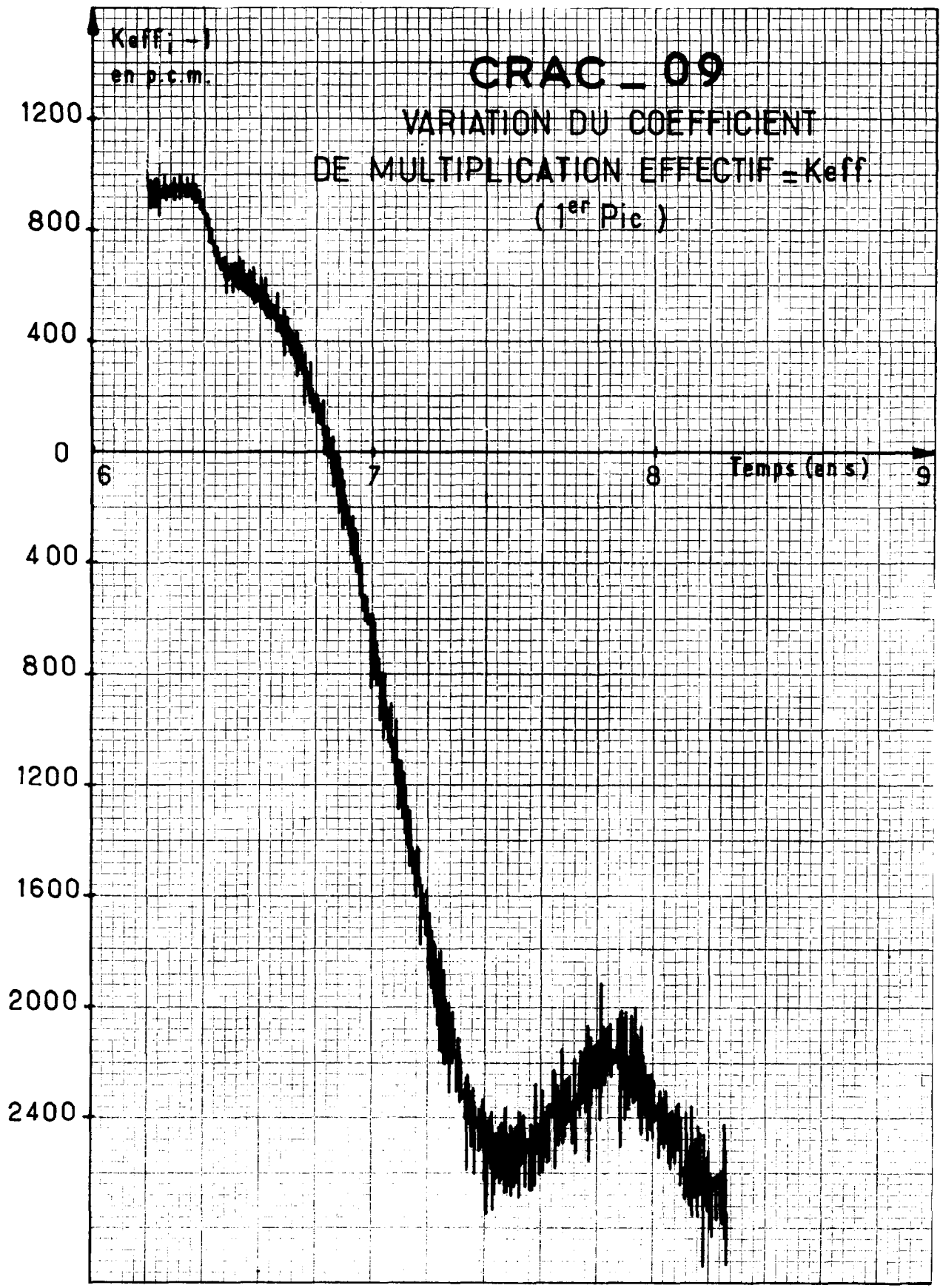


Fig. 7 - Réactivité (1^{er} Pic)

Fig. 8 - Réactivité (suite)

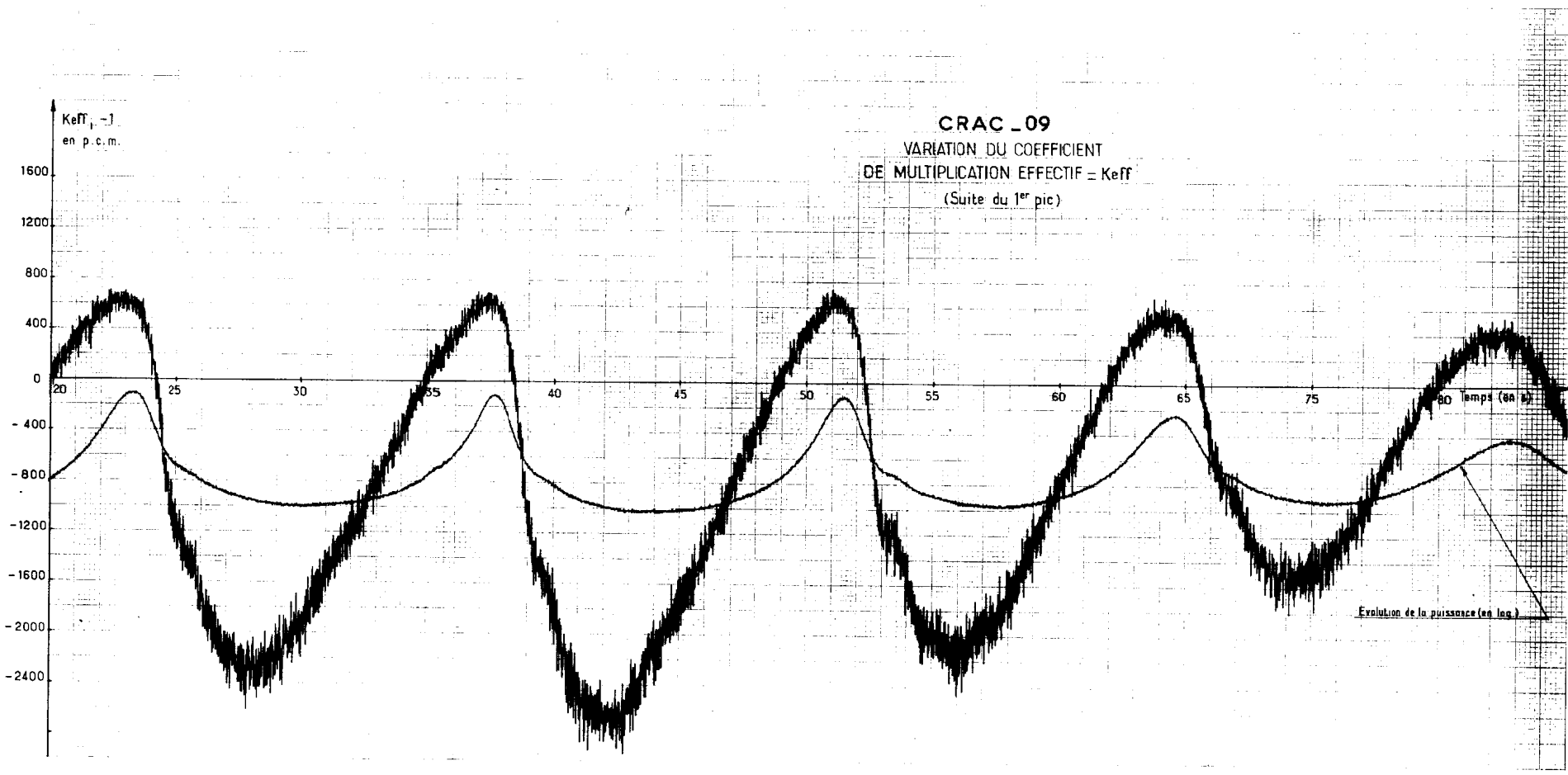


Fig. 9 - Evolution de la puissance

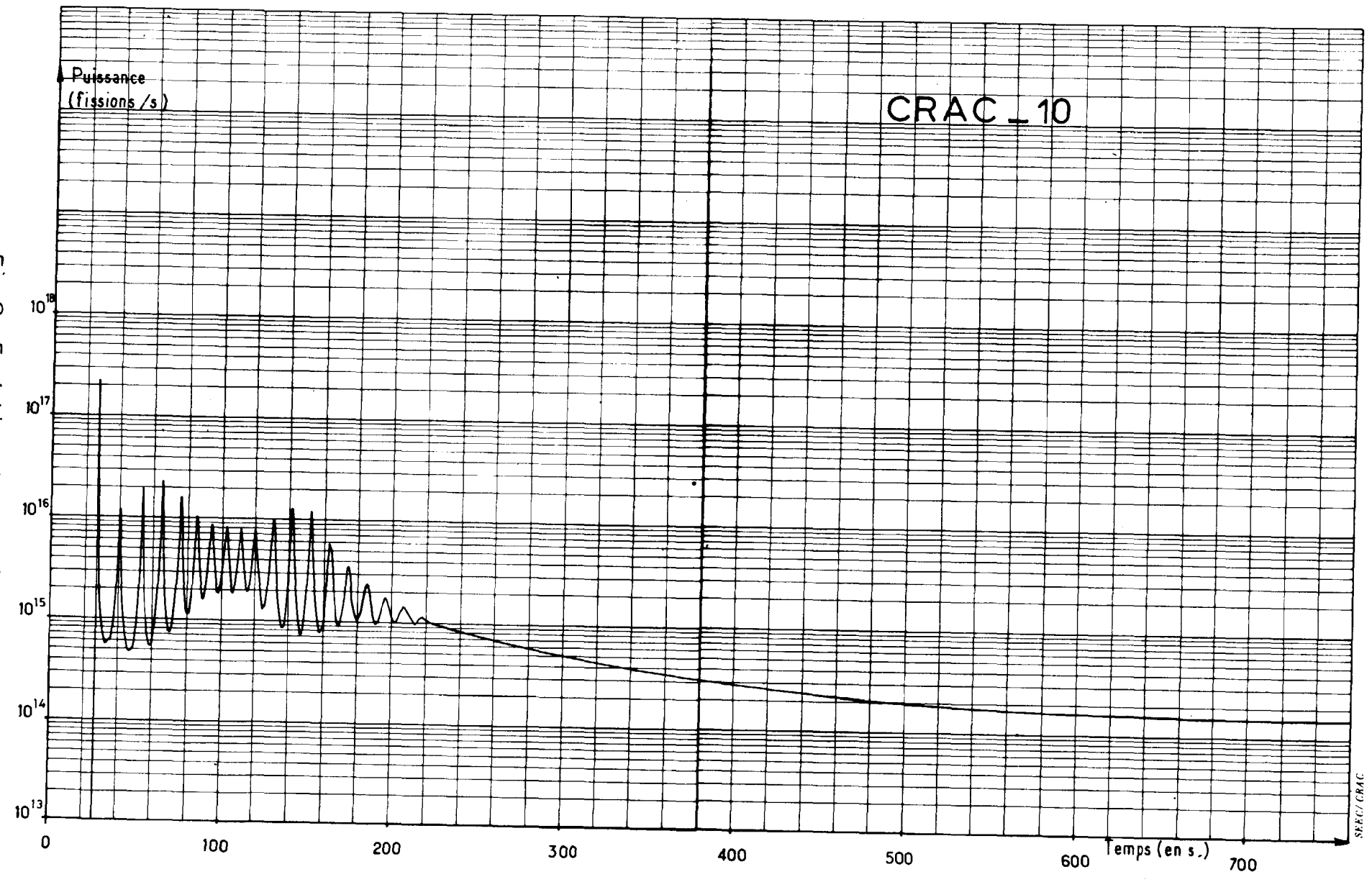
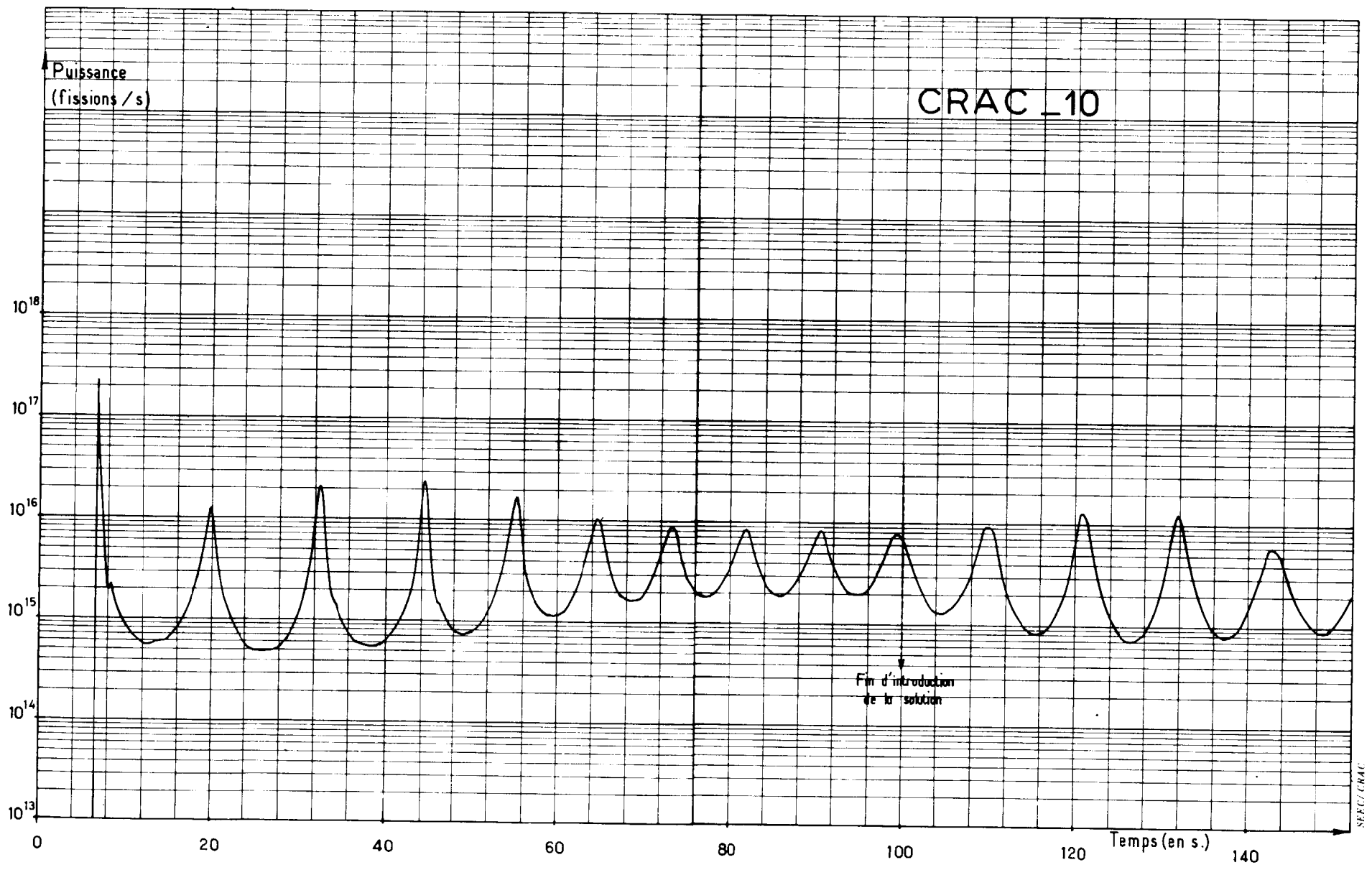


Fig. 10 - Evolution de la puissance (Echelle dilatée)



SEEC/CRAC

Fig. 11 - Flux gamma

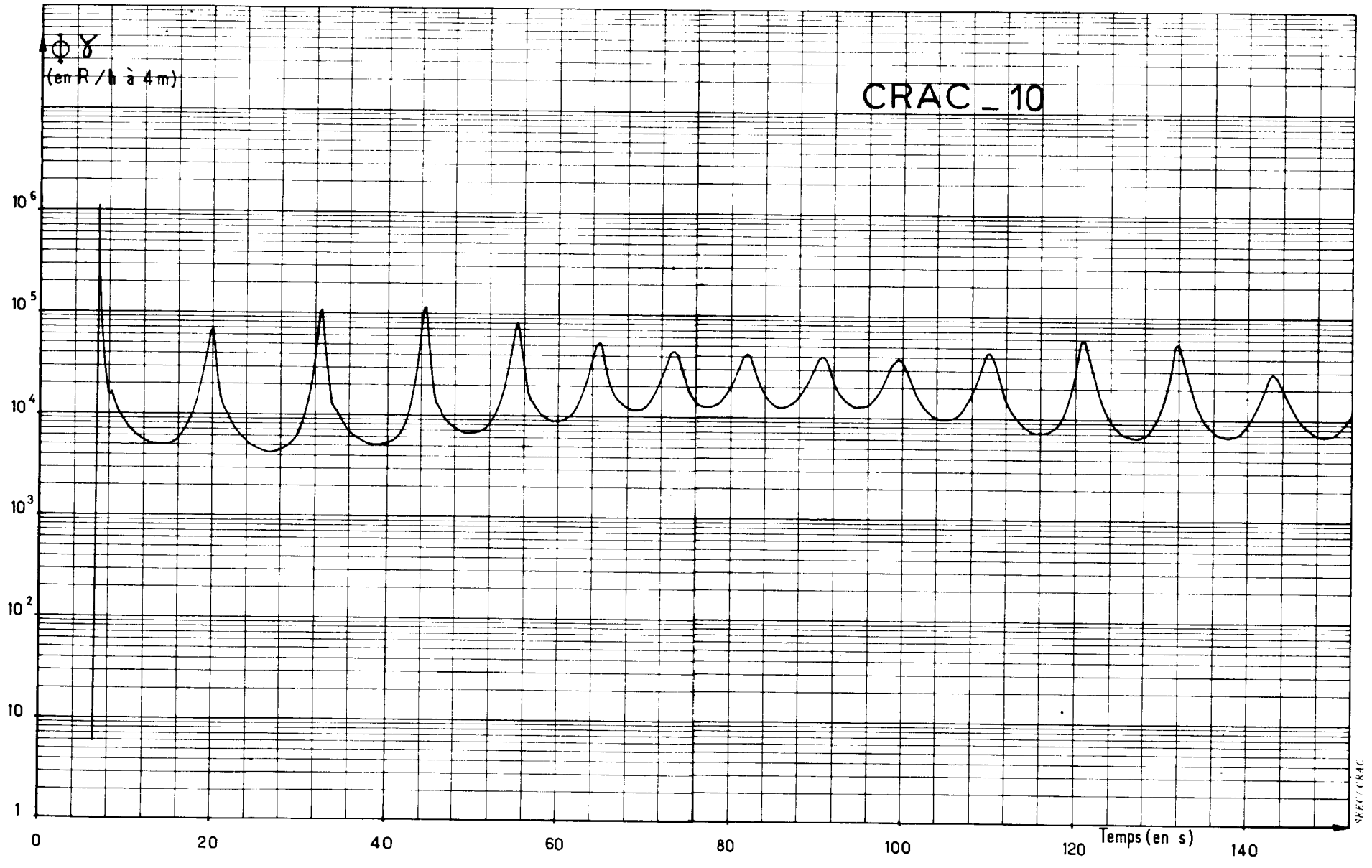


Fig. 12 - Température

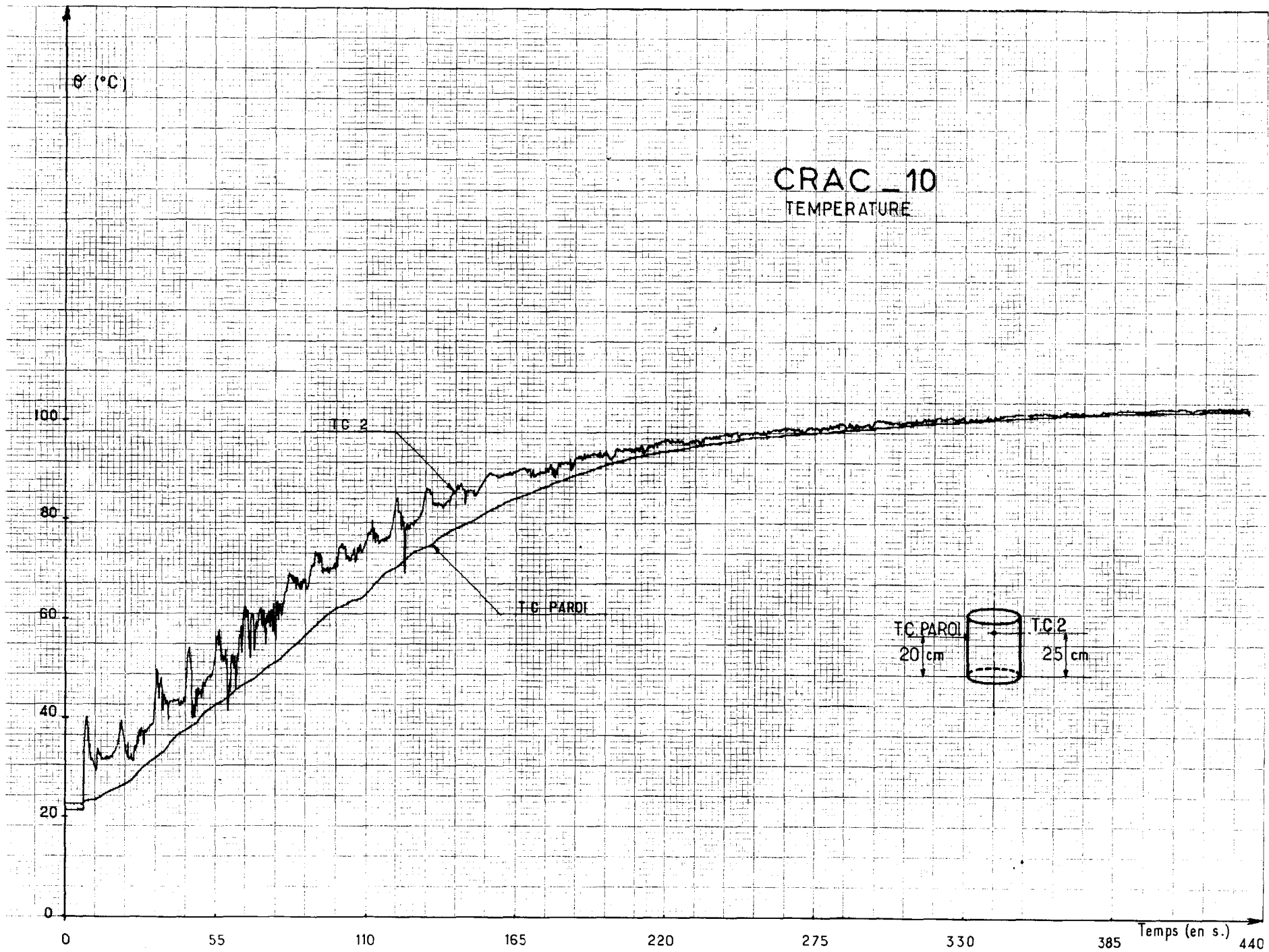
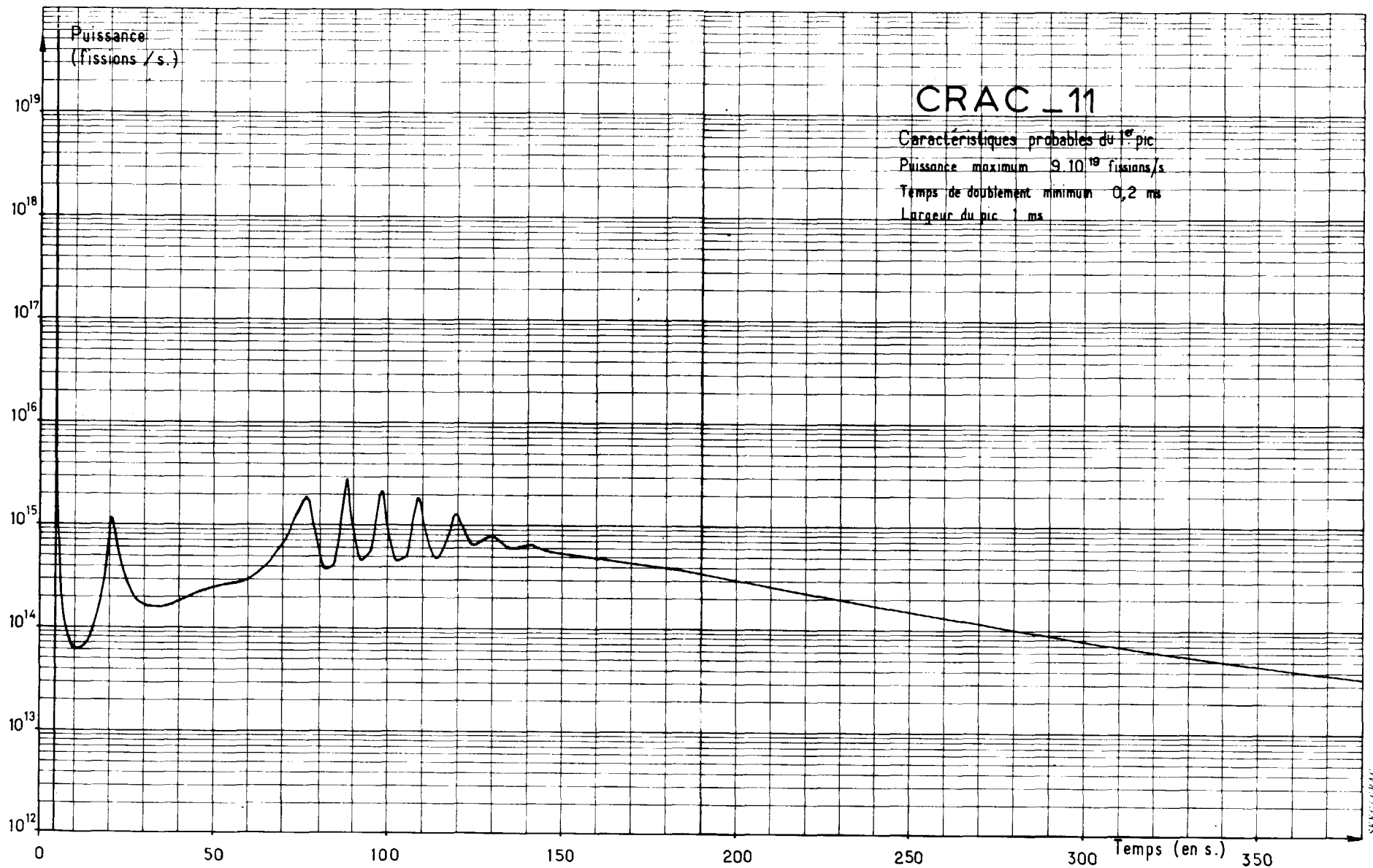


Fig. 13 - Evolution de la puissance



SEFC/CRAC

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.
- M. le Directeur des Productions / 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 BIII	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. Documentatinn	
- 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 des Services des Eléments Combustibles au Plutonium et
d'Etudes Radio-Métallurgiques / FAR 1 ex.
- M. le Chef du Service des Techniques Appliquées au Plutonium /
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 Recherches / VALDUC 5 ex.
 dont 1 ex. C.VA/DIR
 3 ex. C.VA/R

*

*

*