

Baleul

COMMISSARIAT A
L'ENERGIE ATOMIQUE

SEEC n°98

Mars 1971

DÉPARTEMENT
DE SURETÉ NUCLEAIRE

EXPERIENCES
CRAC.39.40.41
RESULTATS

F. BARBRY - J. C. BOULY - D. MANGIN - H. REVOL

SERVICE D'ÉTUDES DE CRITICITÉ
Section Expérimentale d'Études de Criticité

S O M M A I R E

1 - PREAMBULE

2 - EXPERIENCE C.R.A.C. 39

2 - 1 - Caractéristiques expérimentales

2 - 2 - Résultats

3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 40

3 - 1 - Caractéristiques expérimentales

3 - 2 - Résultats

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 41

4 - 1 - Caractéristiques expérimentales

4 - 2 - Résultats

5 - CONCLUSIONS

*

*

*

1 - PREAMBULE

La campagne expérimentale sur le cylindre de diamètre extérieur 800 mm commencée par deux expériences à faible concentration (21,4 g/l) se poursuit avec l'étude de deux concentrations plus élevées (30 g/l et 59 g/l). La hauteur critique du milieu fissile devenant petite devant le diamètre, la configuration obtenue se rapproche de celle d'une "plaque". Ce type de géométrie engendre des évolutions cinétiques différentes de celles déjà obtenues mais surtout, comme nous le verrons ultérieurement, est favorable à une fuite plus importante des rayonnements.

*

*

*

2 - EXPERIENCE C.R.A.C. 39

2 - 1 - Caractéristiques expérimentales

- Géométrie : cylindre diamètre extérieur 800 mm
- Composition chimique de la solution de nitrate d'uranyle

Densité	Concentration U _{total} g/l	Concentration ²³⁵ U g/l	H ⁺ N	NO ₃ ⁻ N
1,1043	30,6	28,50	1,92	2,18

- Hauteur critique H_c 27,25 cm
- Hauteur en début d'introduction 26,00 cm
- Hauteur en fin d'introduction 28,98 cm
- Volume critique 134,4 l.
- Volume total introduit 142,9 l.
- Masse critique en uranium (total) 4,11 kg
- Masse d'uranium (total) introduite 4,37 kg
- Temps d'introduction 37,8 s.
- Débit moyen d'introduction 1400 l/h.
- Durée de l'expérience (après passage à H_c) 3 mn

2 - 2 - Résultats

2 - 2 - 1 - Radiochimie

- Résultats des analyses radiochimiques effectuées par spectrométrie gamma (sonde Ge-Li - Sélecteur 4000 canaux)

Produit de fission	Nombre de fissions
Ce 143	$1,55 \cdot 10^{18}$
Te 132	$1,62 \cdot 10^{18}$
Tc 99	$1,55 \cdot 10^{18}$
Ru 103	$1,60 \cdot 10^{18}$

Moyenne : $1,6 \cdot 10^{18}$ fissions

Ecart type : 2,3 %

2 - 2 - 2 - Evolution de divers paramètres

Temps 0 = instant de passage de la solution fissile à l'état critique retardé H_c .

2 - 2 - 2 - 1 - Puissance - Nombre total de fissions :

Caractéristiques du 1er pic :

Sommet à l'instant t	11,0 s.
Puissance maximum	$8,8 \cdot 10^{17}$ f./s.
Temps de doublement minimum	31 ms.
$\int_0^{12 \text{ s.}}$ nombre de fissions	$1,80 \cdot 10^{17}$ f.
Apparition de gaz à l'instant t_{gaz}	10,99 s.
Intégrale du nombre de fissions à l'instant t_{gaz}	$8,2 \cdot 10^{16}$ f.

Les évolutions sont données en figures 1-2 et 3. Le nombre total de fissions à la fin des oscillations (soit de 0 à 50 s.) est de $1,1 \cdot 10^{18}$ fissions.

2 - 2 - 2 - 2 - Fluences gamma :

Les évolutions des fluences gamma sont suivies par des chambres d'ionisation gamma placées respectivement à 4 et 8 m. de l'axe de la source (fig. 4 - 5 et 6)

2 - 2 - 2 - 3 - Température :

Deux thermocouples (TC 2 et TC paroi) donnent l'échauffement de la solution fissile en cours d'expérience (fig. 7).

2 - 2 - 2 - 4 - Réactivité :

Des expériences préliminaires de divergence ont été réalisées en vue de déterminer l'effet en réactivité du millimètre de solution.

(Expérience	H _c cm	H _{surcritique} cm	Δ H mm	Temps de dou- blement T ₂ s	Réactivité ρ p.c.m.	$\frac{\rho}{\Delta H}$ p.c.m./mm
D 39-01	27,24	27,42	1,8	11,3	239	133
D 39-02	27,24	27,54	3,0	3,24	404	135

Ces résultats ainsi que le calcul de l'évolution du K_{eff} lors de l'expérience C.R.A.C. 39 (fig. 8) ont été obtenus à partir des constantes suivantes :

- neutrons prompts

$$\begin{aligned}
 \text{temps de vie } \bar{l} &= 61 \mu\text{s} \\
 L^2 &= 3,0 \text{ cm}^2 \\
 \bar{v} &= 2,67 \cdot 10^5 \text{ cm/s.}
 \end{aligned}$$

$$\sum_{a_{th}} = 0,05920 \text{ cm}^{-1}$$

$$\sum_{f_{th}} = 0,03367 \text{ cm}^{-1}$$

- neutrons retardés

Groupe	1	2	3	4	5	6
$\beta_i \%$	0,021	0,139	0,126	0,252	0,074	0,026
$\lambda_i \text{ s}^{-1}$	0,0124	0,0305	0,111	0,301	1,13	3,00
ξ_i efficacité	1,195	1,183	1,167	1,175	1,167	1,1

$$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \xi_i \cdot \beta_i = 747 \text{ p.c.m.}$$

2 - 2 - 3 - Dosimétrie individuelle en salle de contrôle

Les doses mesurées en salle de contrôle sont plus importantes que lors des expériences précédentes si l'on tient compte du nombre de fissions plus faible réalisé (environ 2 fois moins).

Dose gamma \simeq 15 mrem

Dose neutron \simeq 6 mrem

*

* *

3 - EXPERIENCE C.R.A.C. 40

3 - 1 - Caractéristiques expérimentales

- Composition chimique de la solution fissile

Densité	Concentration U _{total} g/l	Concentration ²³⁵ U g/l	H ⁺ N	NO ₃ ⁻ N
1,1565	58,7	54,7	2,32	2,82

- Hauteur critique H_c 18,66 cm
- Hauteur en début d'introduction 18,00 cm
- Hauteur en fin d'introduction 19,31 cm
- Volume critique 92,0 l.
- Volume total introduit 95,2 l.
- Masse critique en uranium (total) 5,40 kg
- Masse totale d'uranium introduite 5,59 kg
- Temps d'introduction 28 s.
- Débit moyen d'introduction 830 l/h.
- Durée de l'expérience (après passage à H_c) 2 mn

3 - 2 - Résultats

3 - 2 - 1 - Radiochimie

- Résultats des analyses radiochimiques (dépouillement Ge-Li)

Produit de fission	Nombre de fissions
Ce 143	$1,06 \cdot 10^{18}$
Te 132	$1,025 \cdot 10^{18}$
Ru 103	$1,058 \cdot 10^{18}$
Mo 99	$1,079 \cdot 10^{18}$
Zr 95 724 Kev	$1,155 \cdot 10^{18}$

Moyenne : $1,1 \cdot 10^{18}$ fissions
 Ecart type : $\pm 4,5 \%$

3 - 2 - 2 - Evolution de divers paramètres

- Puissance : nombre de fissions intégré (fig. 9 et 10)

. Caractéristiques du 1er pic

Sommet à l'instant t =	4,1 s.
Puissance maximum	$1,2 \cdot 10^{18}$ fissions/s.
Temps de doublement minimum	18 ms
$\int_0^{4,8 \text{ s.}}$ nombre de fissions	$1,3 \cdot 10^{17}$ fissions
Apparition de gaz à l'instant t_{gaz}	4,10 s.
Intégrale du nombre de fissions à l'instant t_{gaz}	$6,8 \cdot 10^{16}$ fissions

Il est intéressant de noter que le second pic est plus violent que le premier. Une explication probable de ce phénomène est la suivante : le dégagement gazeux du 1er pic se produisant au centre du cylindre refoule la solution fissile vers la périphérie : par réflexion sur la paroi, la solution revient s'accumuler au centre de la "plaque" fissile créant une convexité favorable à un état surcritique du système.

. Caractéristiques du 2ème pic

Puissance maximum	$3,3 \cdot 10^{18}$ fissions/s.
Temps de doublement minimum	11 ms
$\left. \begin{array}{l} 5,8 \\ \text{nombre de fissions} \\ 4,8 \end{array} \right\}$	$1,1 \cdot 10^{17}$ fissions

- Evolution des fluences gamma (fig. 11 et 12)
- Evolution de la température (fig. 13)
- Réactivité (fig. 14)

Comme pour l'expérience C.R.A.C. 39, des expériences préliminaires de divergence ont permis la détermination de l'effet en réactivité du millimètre de solution.

Expérience	H_c cm	$H_{\text{surcritique}}$ cm	ΔH mm	Temps de doublement T_2 s	Réactivité ρ p.c.m.	$\frac{\rho}{\Delta H}$ p.c.m./mm
D 40-01	18,613	18,763	1,50	4,60	371	247
D 40-02	18,613	18,791	1,78	2,48	460	258

Les constantes utilisées pour les calculs du K_{eff} sont les suivantes :

- Neutrons prompts

$$\begin{aligned} \bar{l} \text{ temps de vie} &= 38 \mu\text{s} \\ \bar{v} &= 2,79 \cdot 10^5 \text{ cm/s.} \\ L^2 &= 2,13 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sum_{a_{th}} = 0,0904 \text{ cm}^{-1}$$

$$\sum_{f_{th}} = 0,0616 \text{ cm}^{-1}$$

- Neutrons retardés

Groupe	1	2	3	4	5	6
β_i %	0,021	0,139	0,126	0,252	0,074	0,026
λ_i s ⁻¹	0,0124	0,0305	0,111	0,301	1,13	3,00
ξ_i	1,242	1,230	1,246	1,202	1,246	1,2

$$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \xi_i \cdot \beta_i = 780 \text{ p.c.m.}$$

3 - 2 - 3 - Dosimétrie individuelle en salle de contrôle

Les doses reçues sont plus importantes que lors des expériences précédentes.

Dose gamma \simeq 34 mrem

Dose neutron \simeq 11 mrem

*

* *

4 - EXPERIENCE C.R.A.C. 41

4 - 1 - Caractéristiques expérimentales

- Composition chimique de la solution

Densité	Concentration U_{total} g/l	Concentration ^{235}U g/l	H^+ N	NO_3^- N
1,1550	59,3	55,2	2,29	2,79

- Hauteur critique H_c 18,55 cm
- Hauteur de départ 18,00 cm
- Hauteur en fin d'introduction 19,16 cm
- Volume critique 91,5 l.
- Volume total introduit 94,5 l.
- Masse critique en uranium (total) 5,42 kg
- Masse totale d'uranium introduite 5,60 kg
- Temps d'introduction 112 s.
- Débit moyen d'introduction 97 l/h.
- Durée de l'expérience (après passage à H_c) 4 mn

4 - 2 - Résultats

4 - 2 - 1 - Analyses radiochimiques (sonde Ge-Li)

Produit de fission	Nombre de fissions
Ce 143	1,015 . 10 ¹⁸
Tc 99	0,966 . 10 ¹⁸
Te 132	1,040 . 10 ¹⁸
Mo 99	1,006 . 10 ¹⁸
Ru 103	1,080 . 10 ¹⁸

Moyenne : 1,0 . 10¹⁸ fissions

Ecart type : 4,1 %

4 - 2 - 2 - Evolution de divers paramètres

- Puissance : nombre total de fissions (fig. 15 et 16)

Caractéristiques du 1er pic

Sommet à l'instant t	49,7 s.
Puissance maximum	5,8.10 ¹⁶ fissions/s.
Temps de doublement minimum	0,18 s.
\int_0^{51} nombre de fissions	8,0.10 ¹⁶ fissions
Apparition de gaz à l'instant t _{gaz}	49,82 s.
Intégrale du nombre de fissions à t _{gaz}	4,6.10 ¹⁶ fissions

Caractéristiques du 2ème pic

Puissance maximum	4,3.10 ¹⁷ fissions/s.
Temps de doublement minimum	39 ms
\int_{51}^{59} nombre de fissions	1,1.10 ¹⁷ fissions

- Fluences gamma (fig. 17 et 18)
- Température (fig. 19)
- Réactivité (fig. 20)

*

* *

5 - CONCLUSIONS

Cette nouvelle série d'expériences confirme l'influence prépondérante de la géométrie de la source sur le champ de fuite des rayonnements ainsi que sur leur "dureté". En outre, ce type de géométrie en forme de "plaque" paraît donner naissance à un second pic plus important que le premier : cet élément est à prendre en considération quant à d'éventuelles estimations de doses reçues par un individu évacuant un bâtiment par suite du déclenchement d'une alarme (sonde de criticité par exemple).

*

*

*

Fig. 1 - Evolution de la puissance

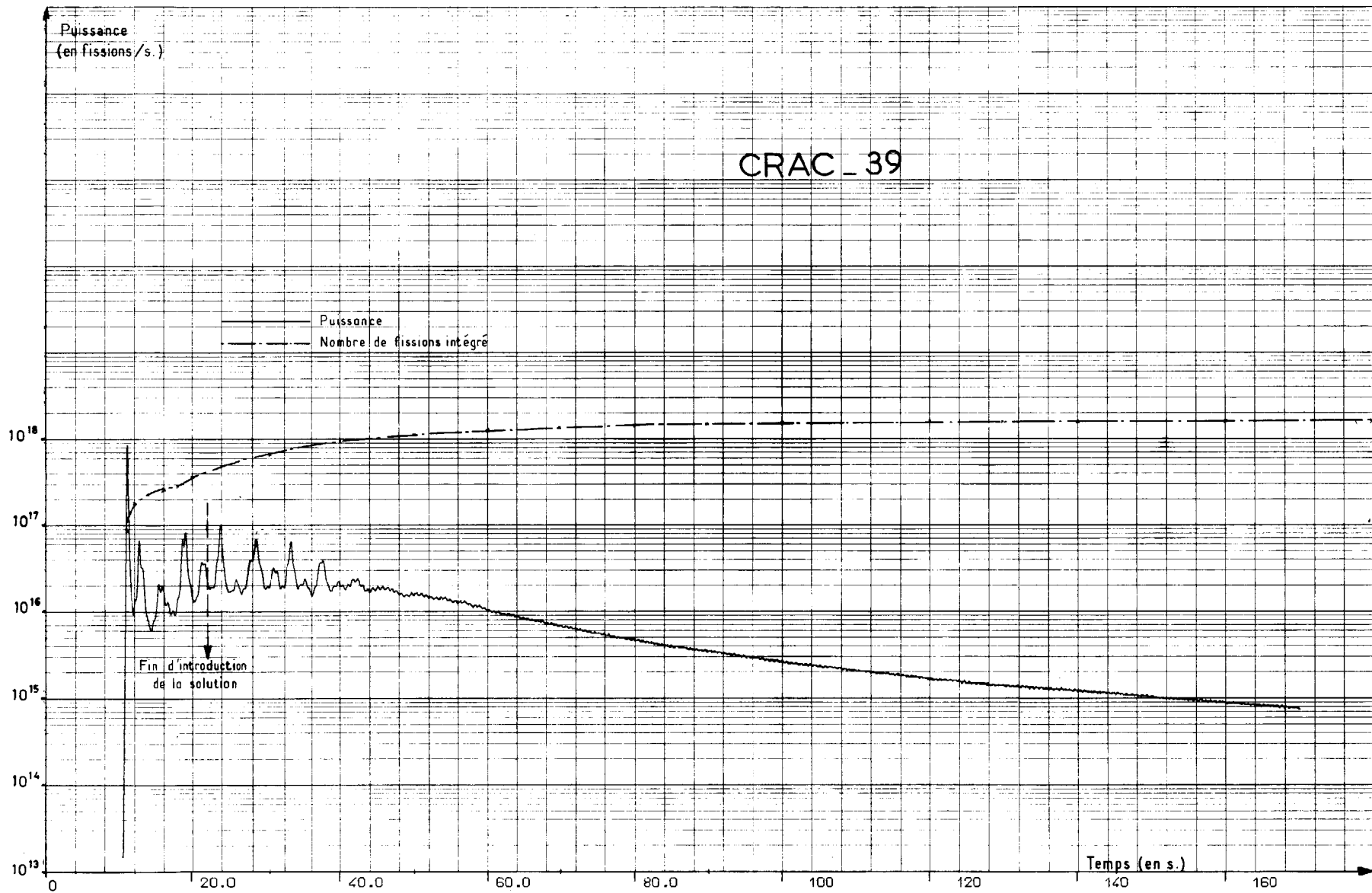
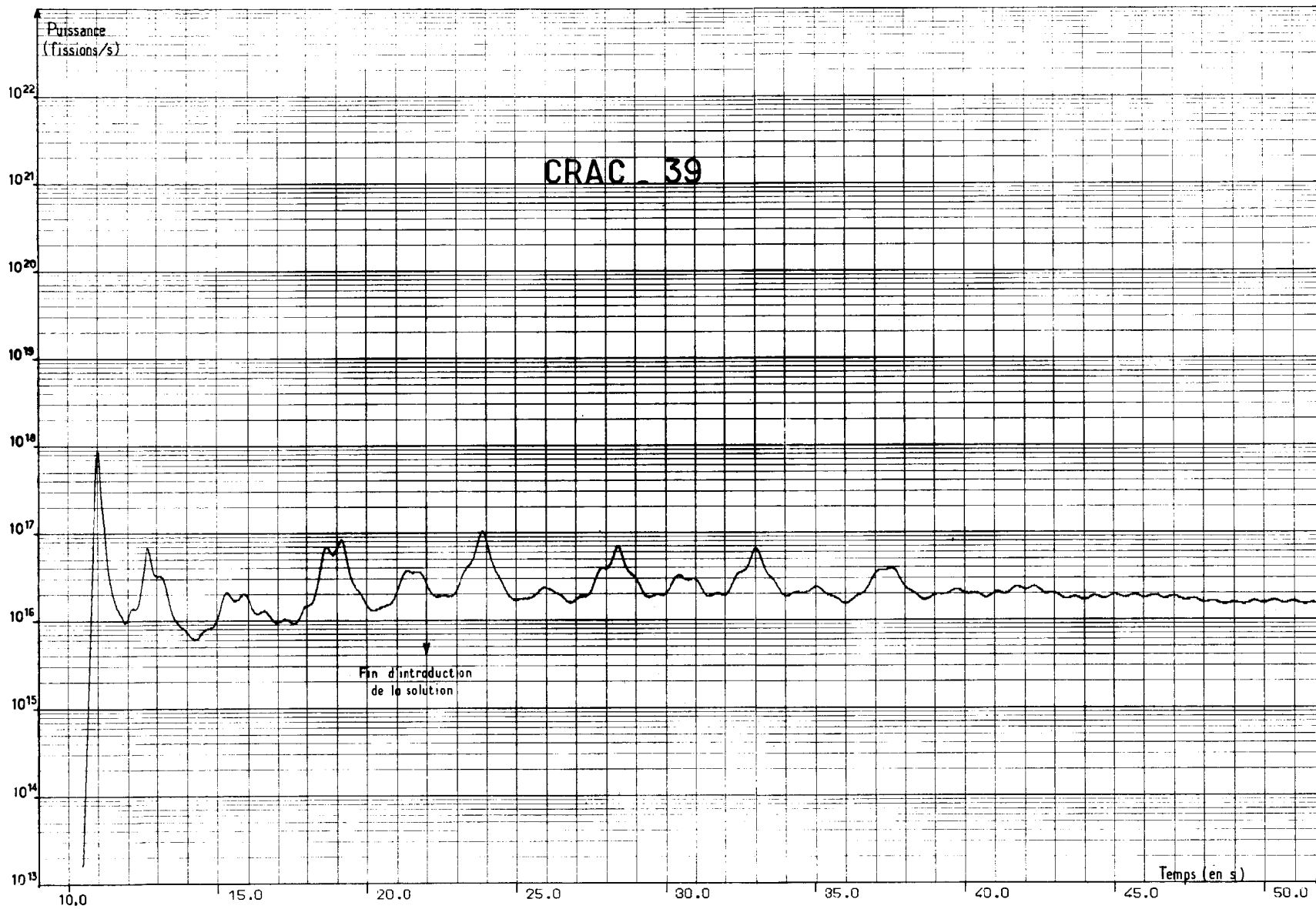


Fig. 2 - Puissance (détail)



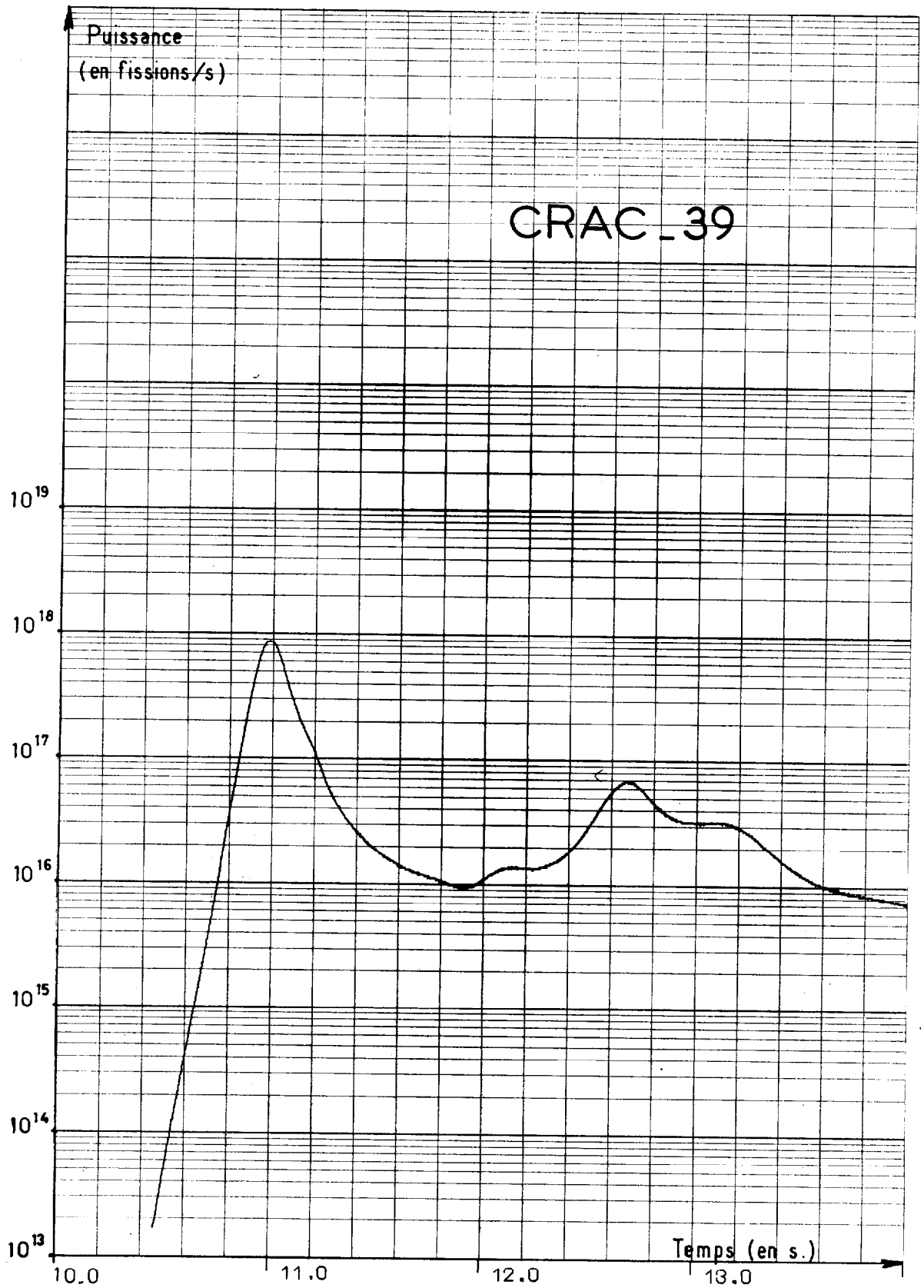


Fig. 3 - Puissance (1^{er} pic)

Fig. 4 - Evolution de la fluence gamma

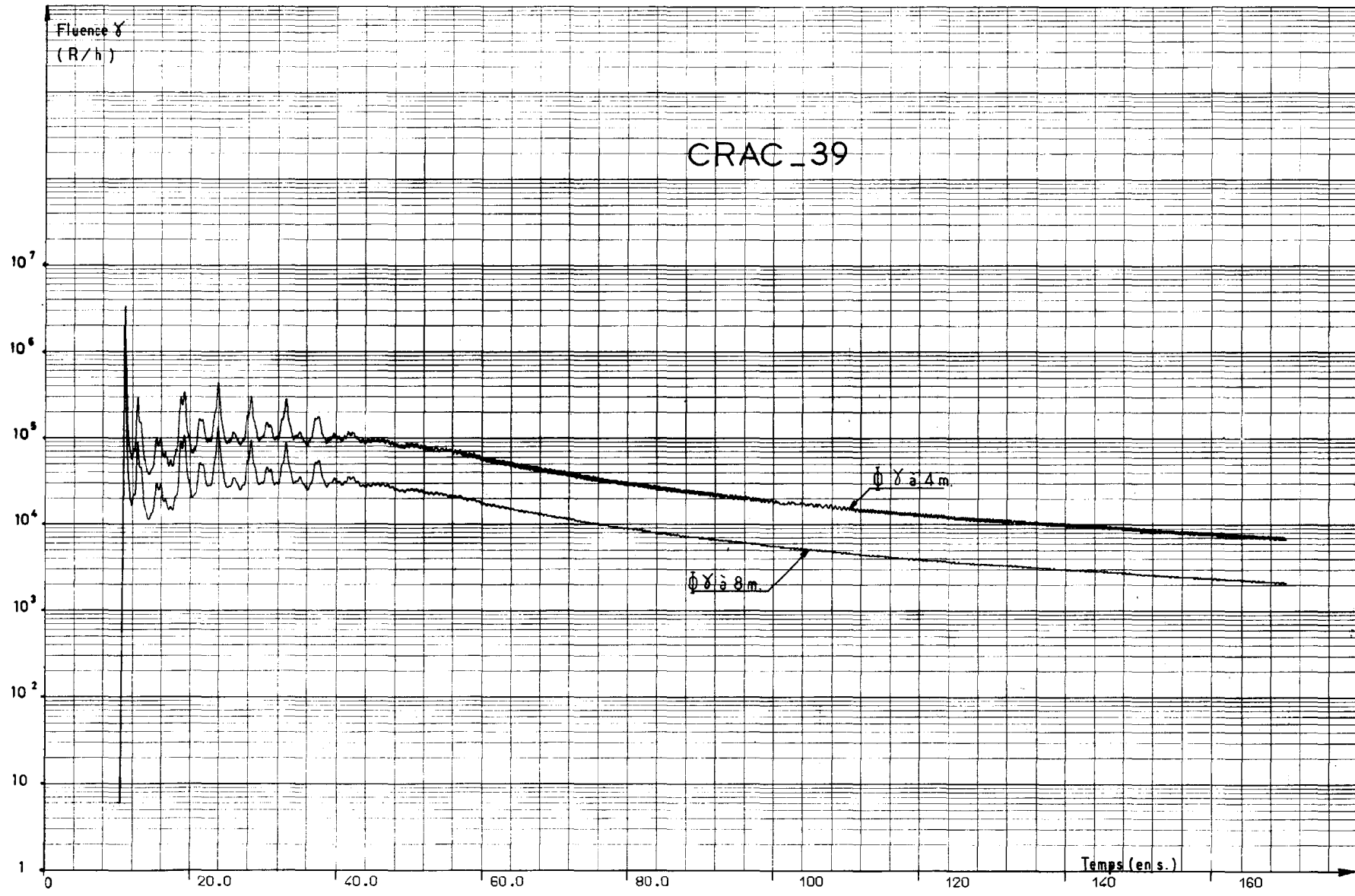
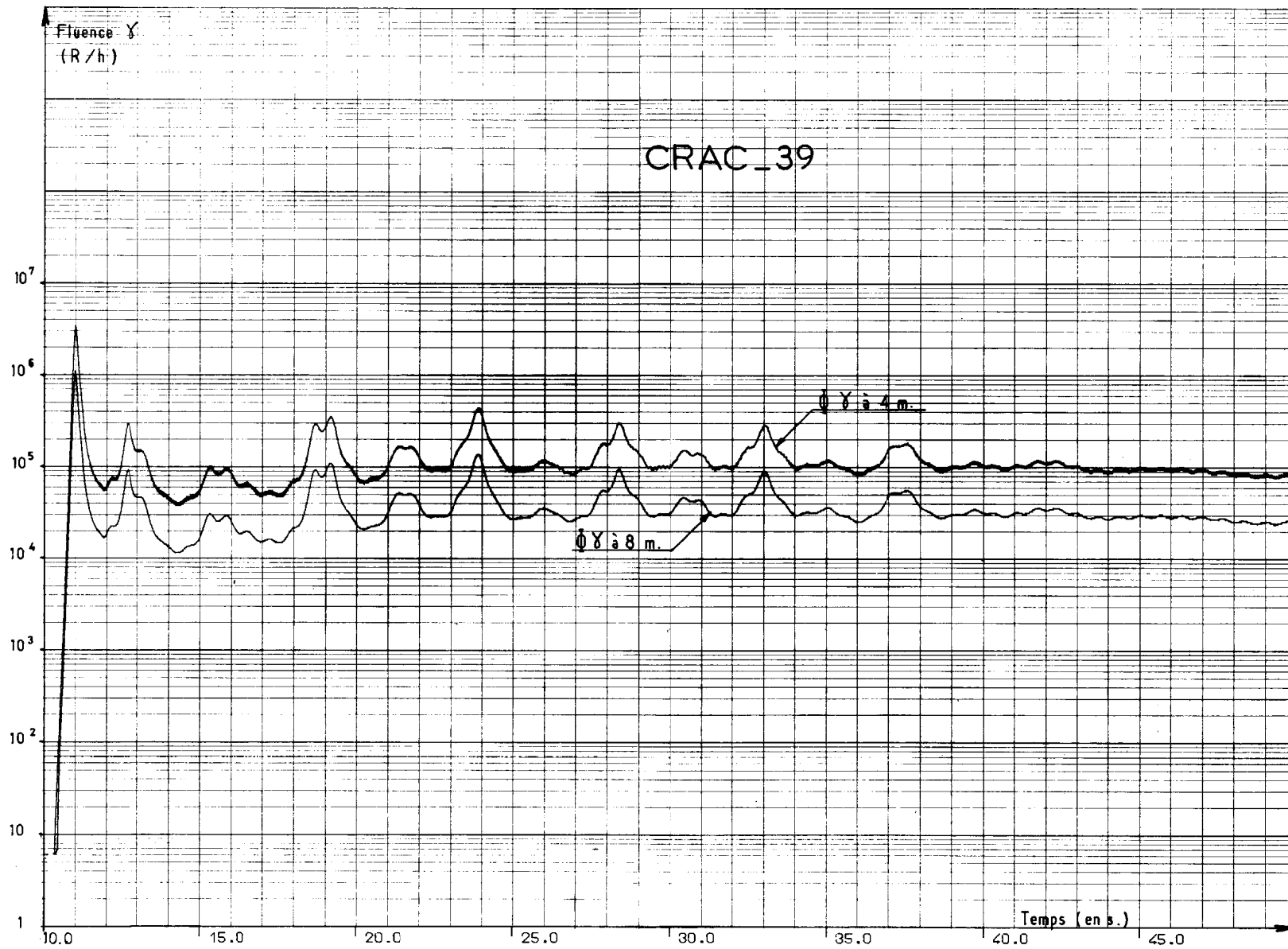


Fig. 5 - Fluence gamma



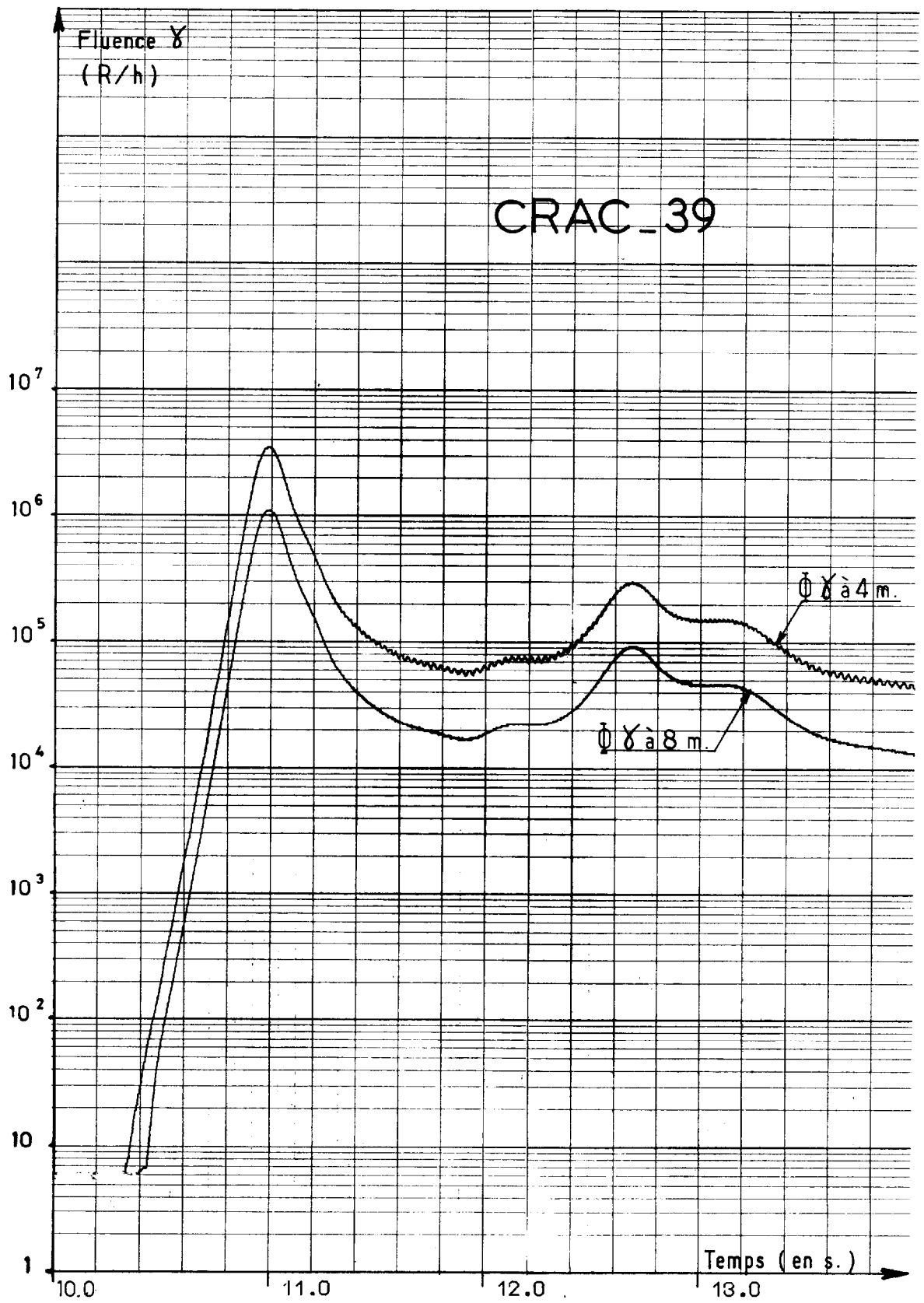


Fig. 6 - Fluence gamma (1^{er} pic)

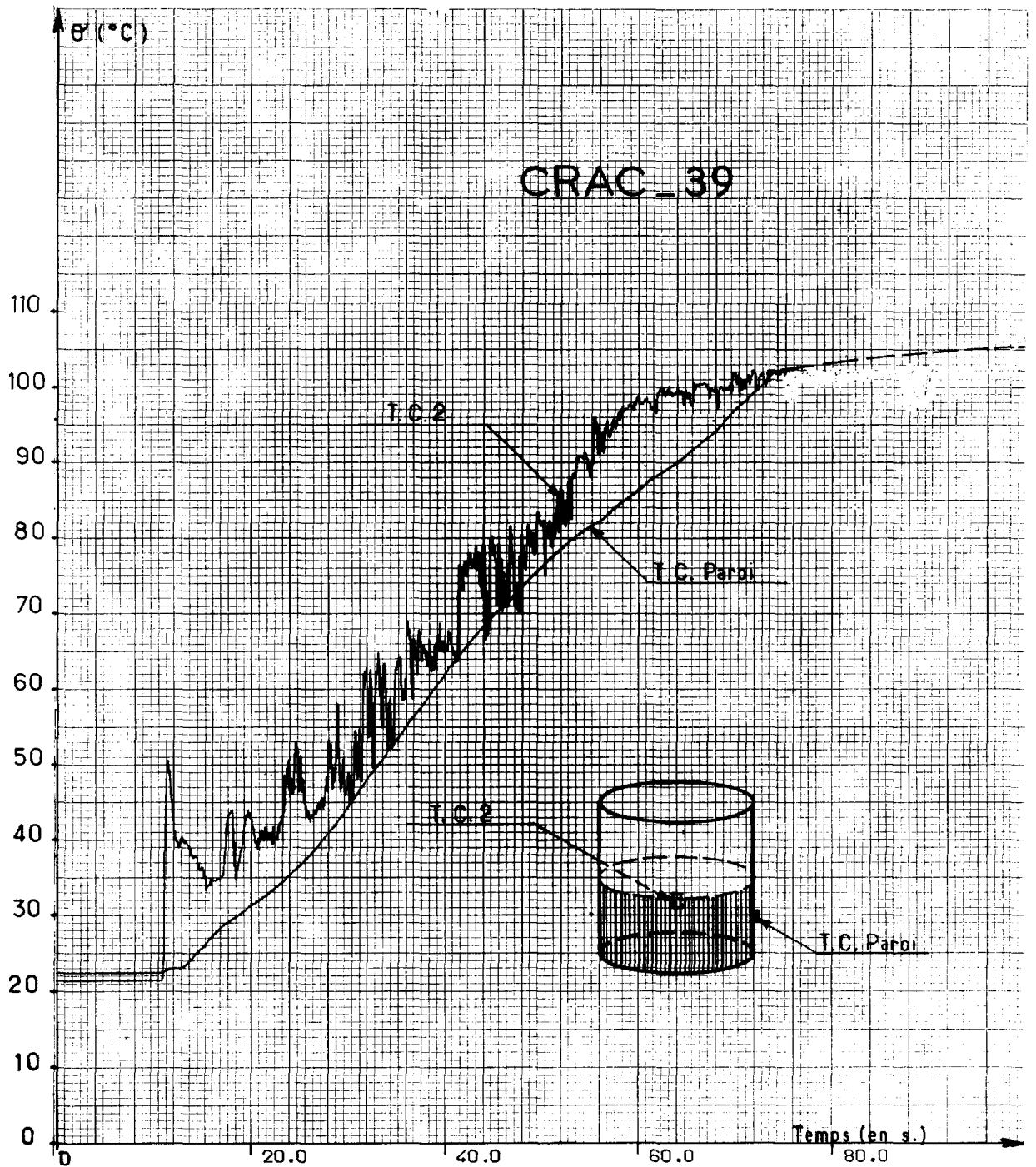


Fig. 7 - Température

Fig. 8 - Réactivité

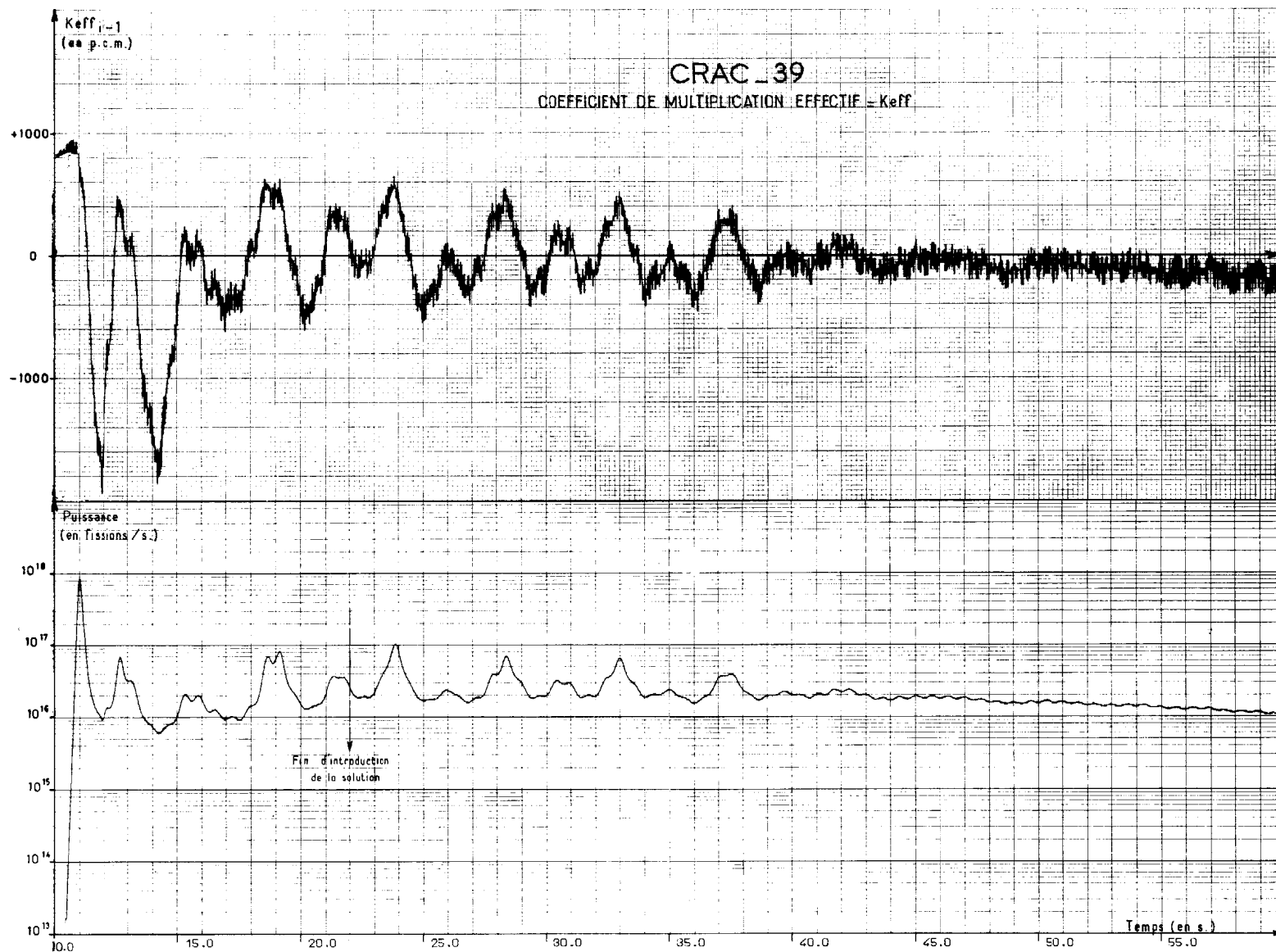


Fig. 9 - Evolution de la puissance

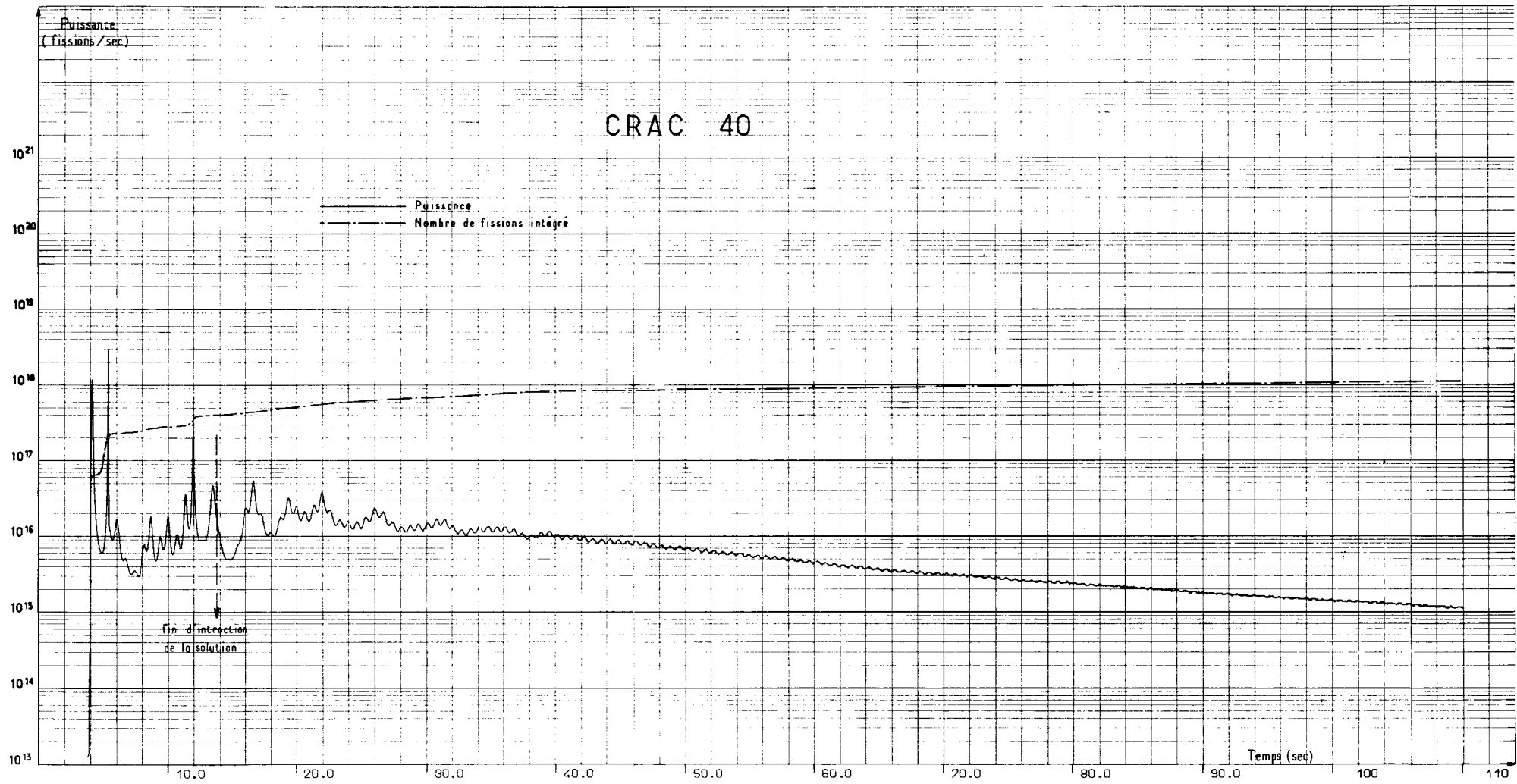


Fig. 10 - Puissance (détail)

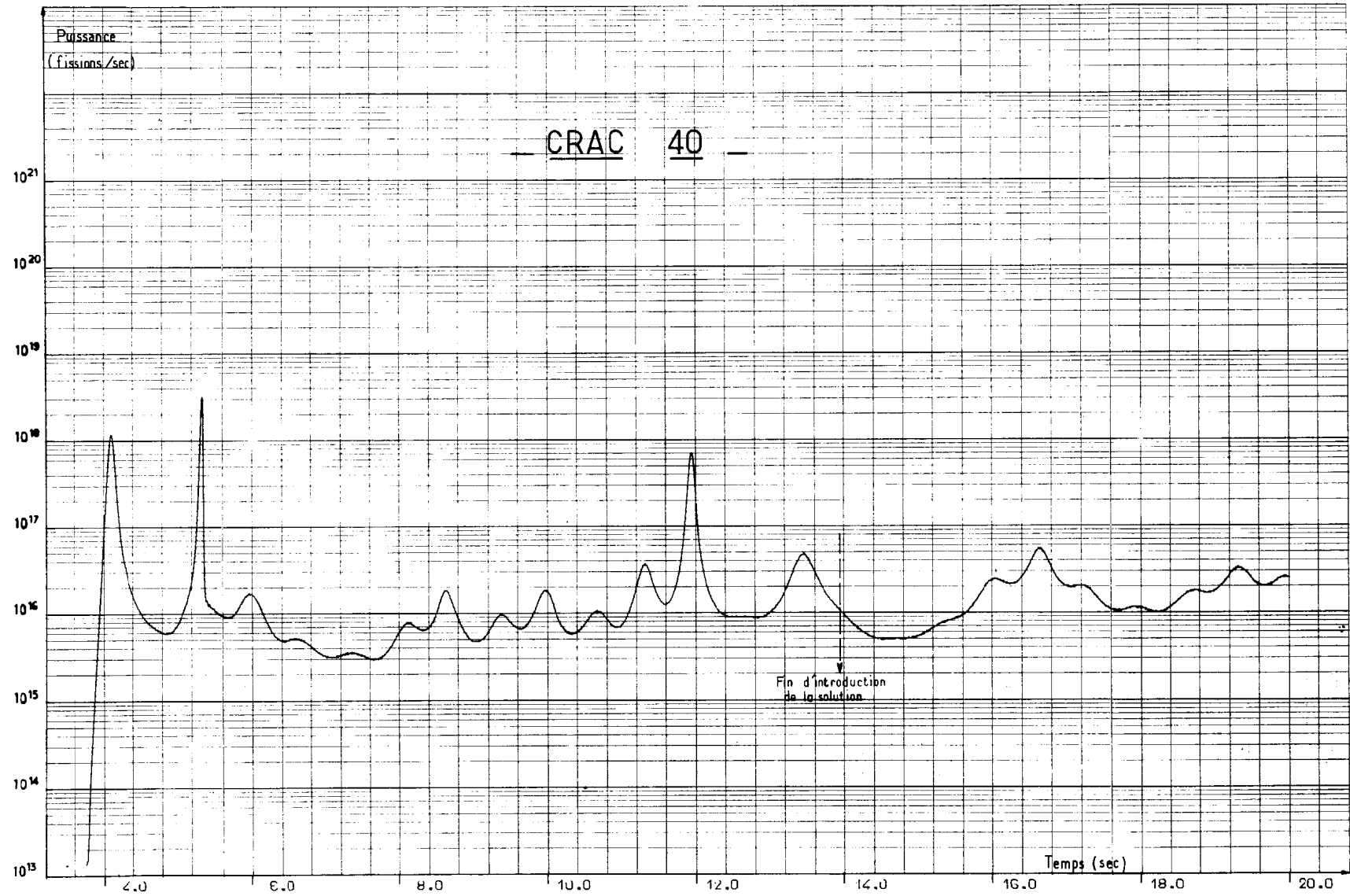


Fig. 11 - Evolution de la fluence gamma

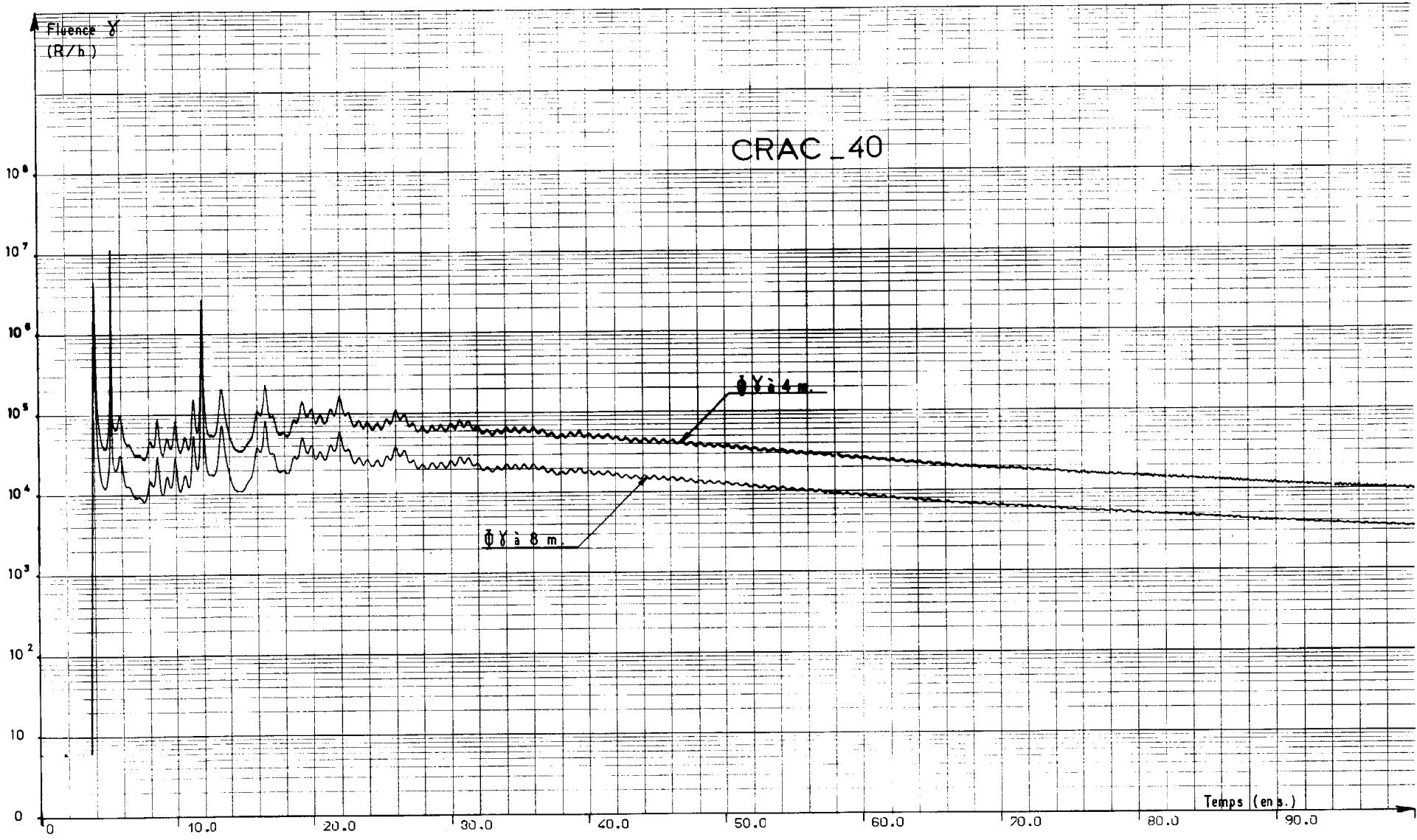


Fig.12 - Fluence gamma (détail)

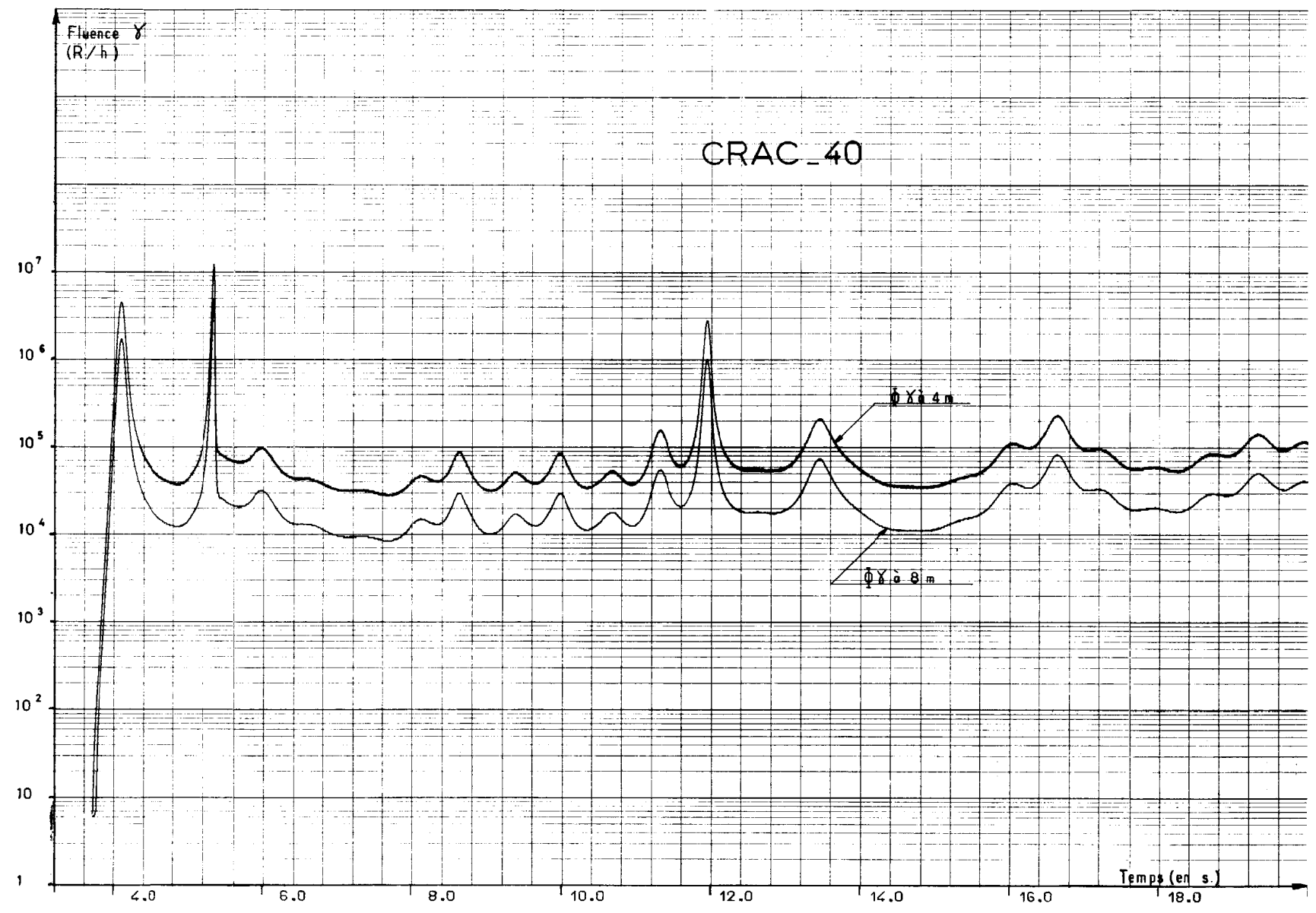


Fig. 13 - Temperature

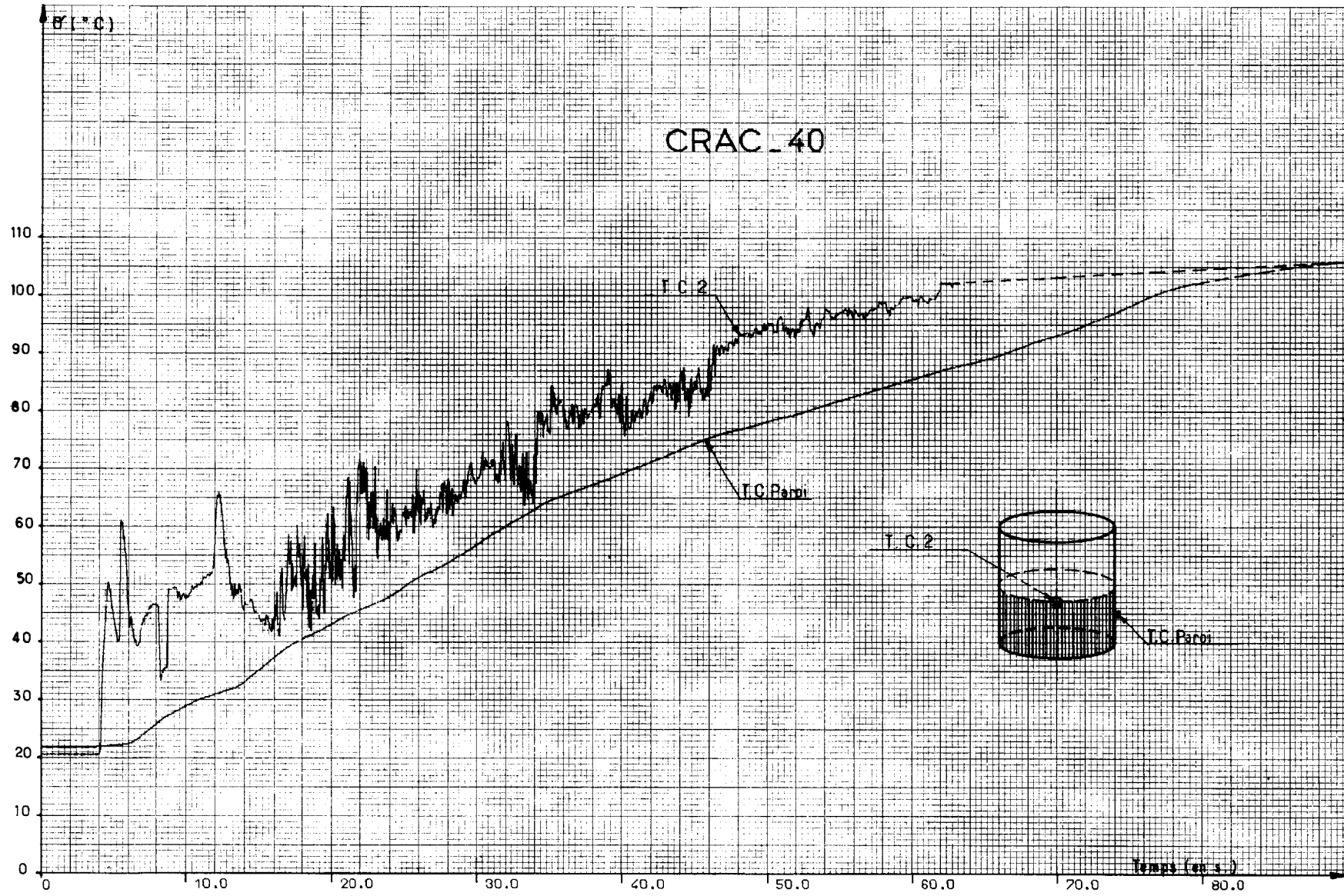


Fig.14 - Réactivité

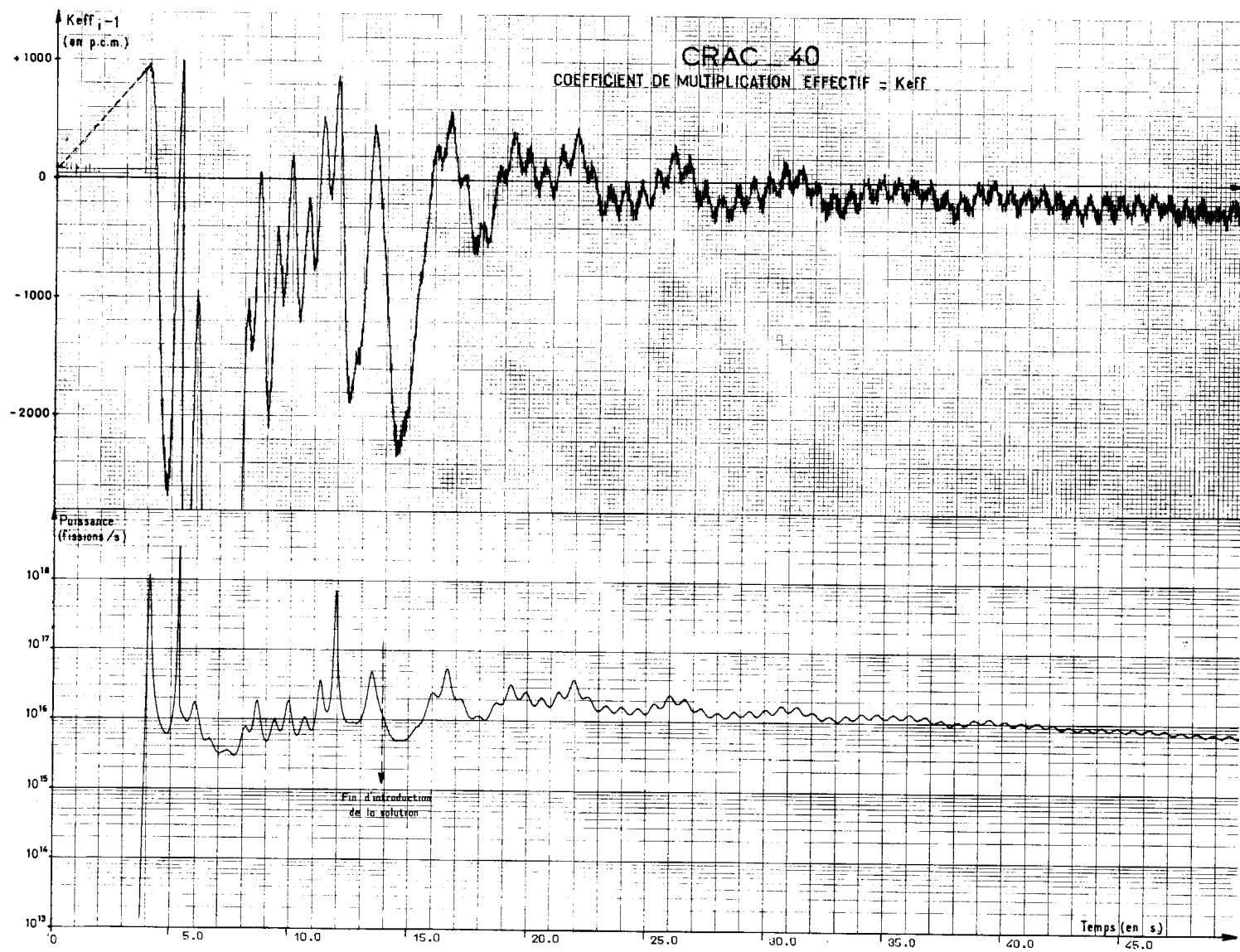


Fig. 15 - Evolution de la puissance

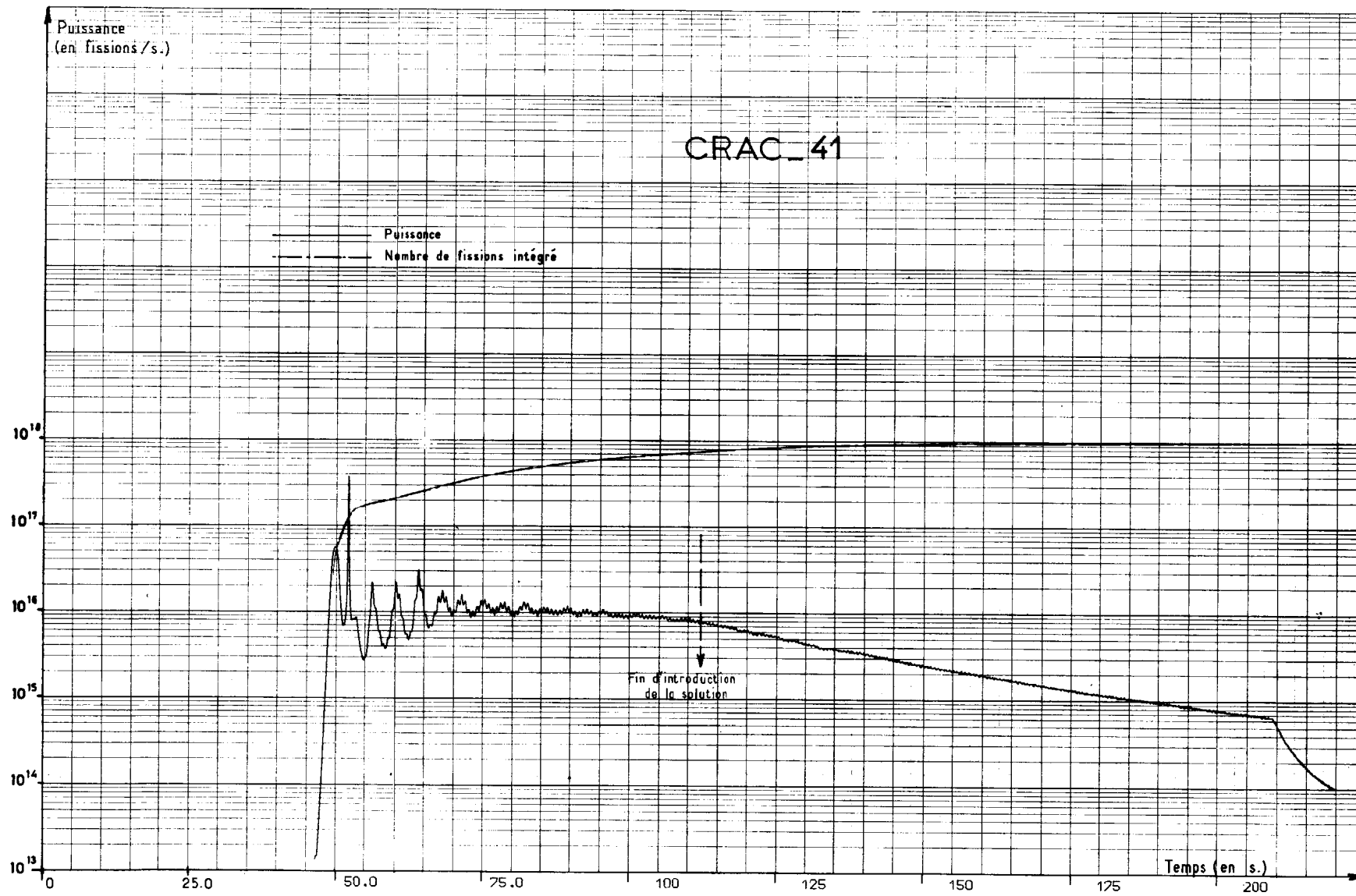


Fig.16 - Puissance (détail)

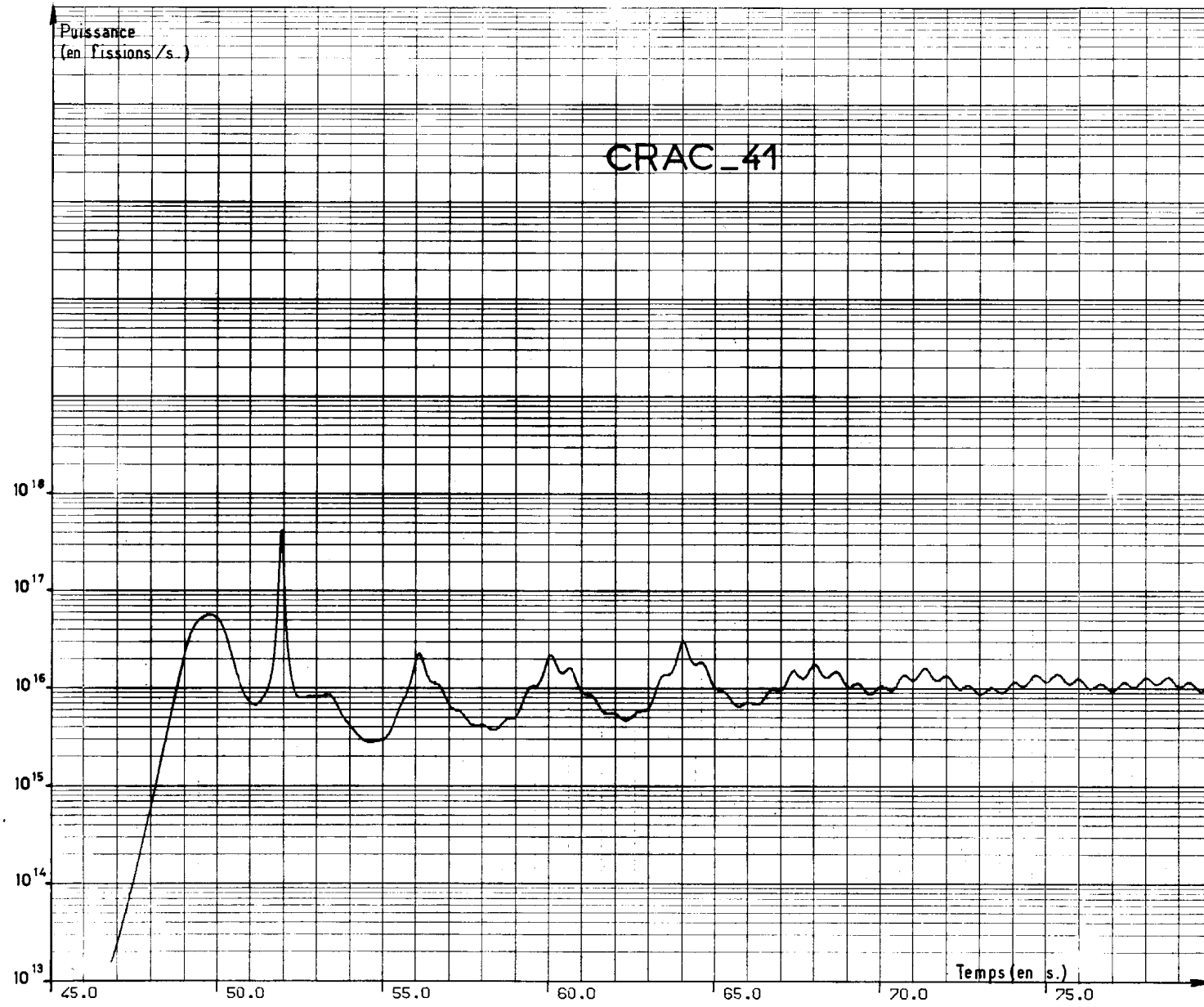


Fig.17 - Evolution de la fluence gamma

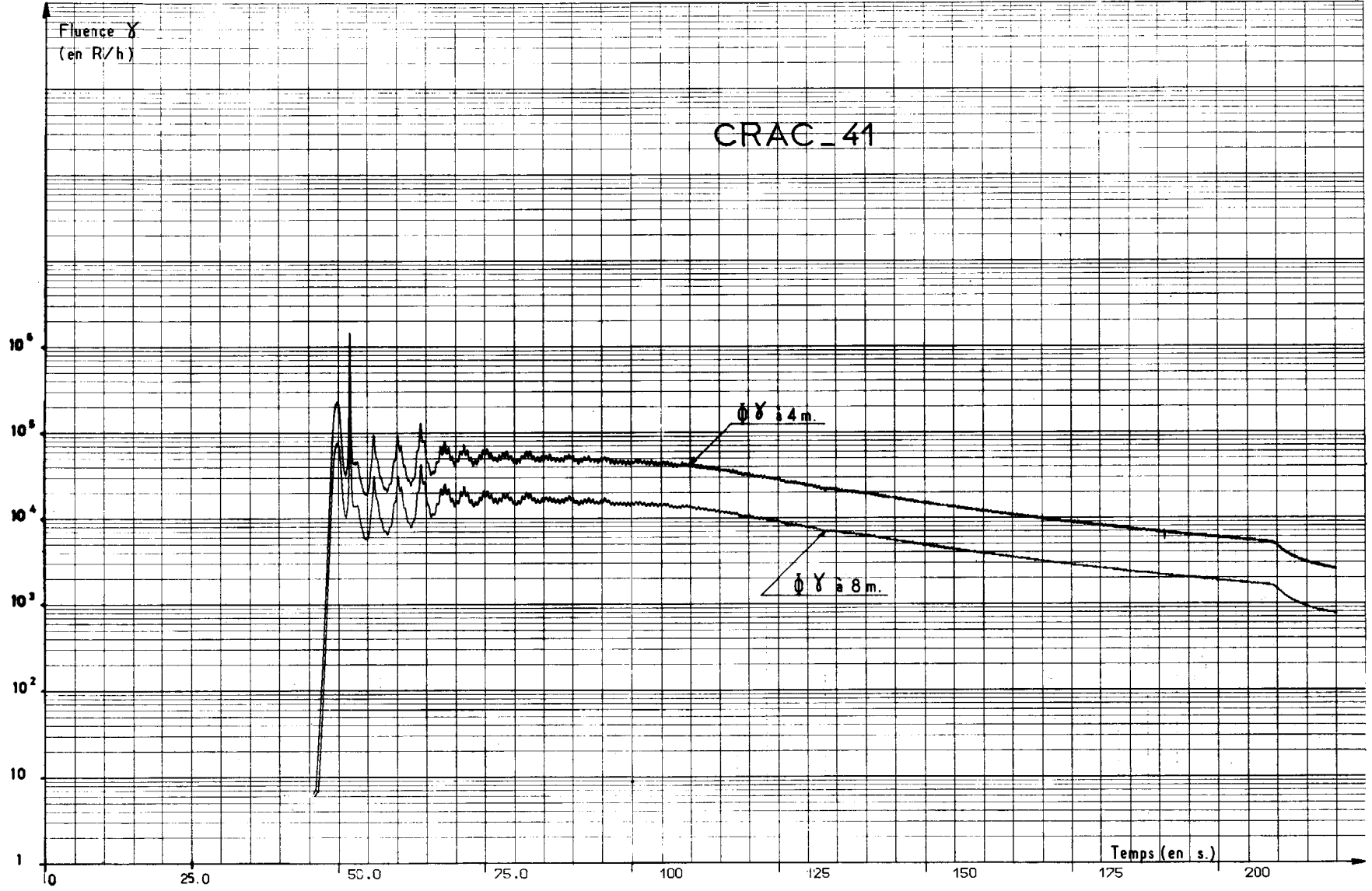


Fig. 18 - Fluence gamma (détail)

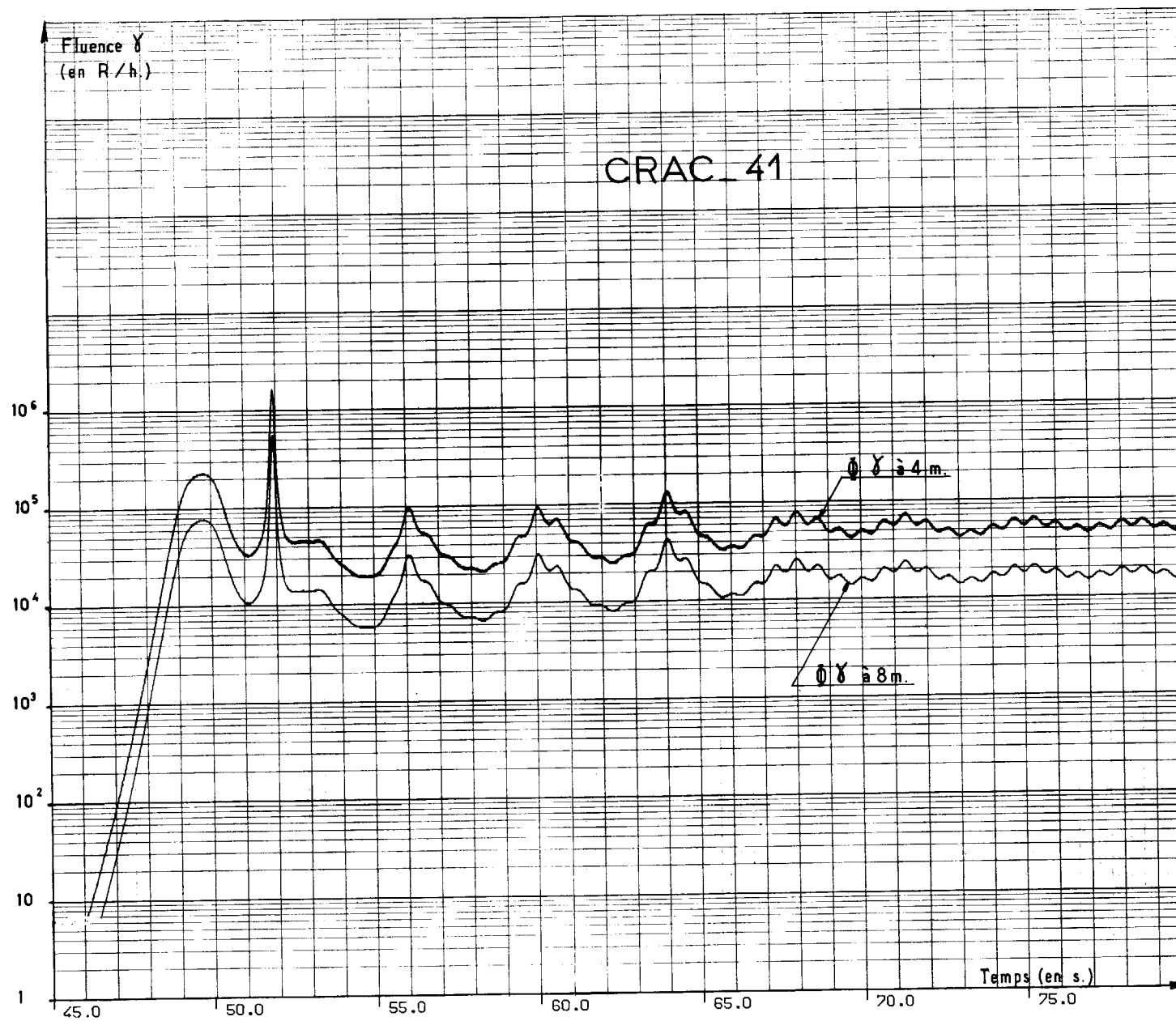


Fig.19 - Température

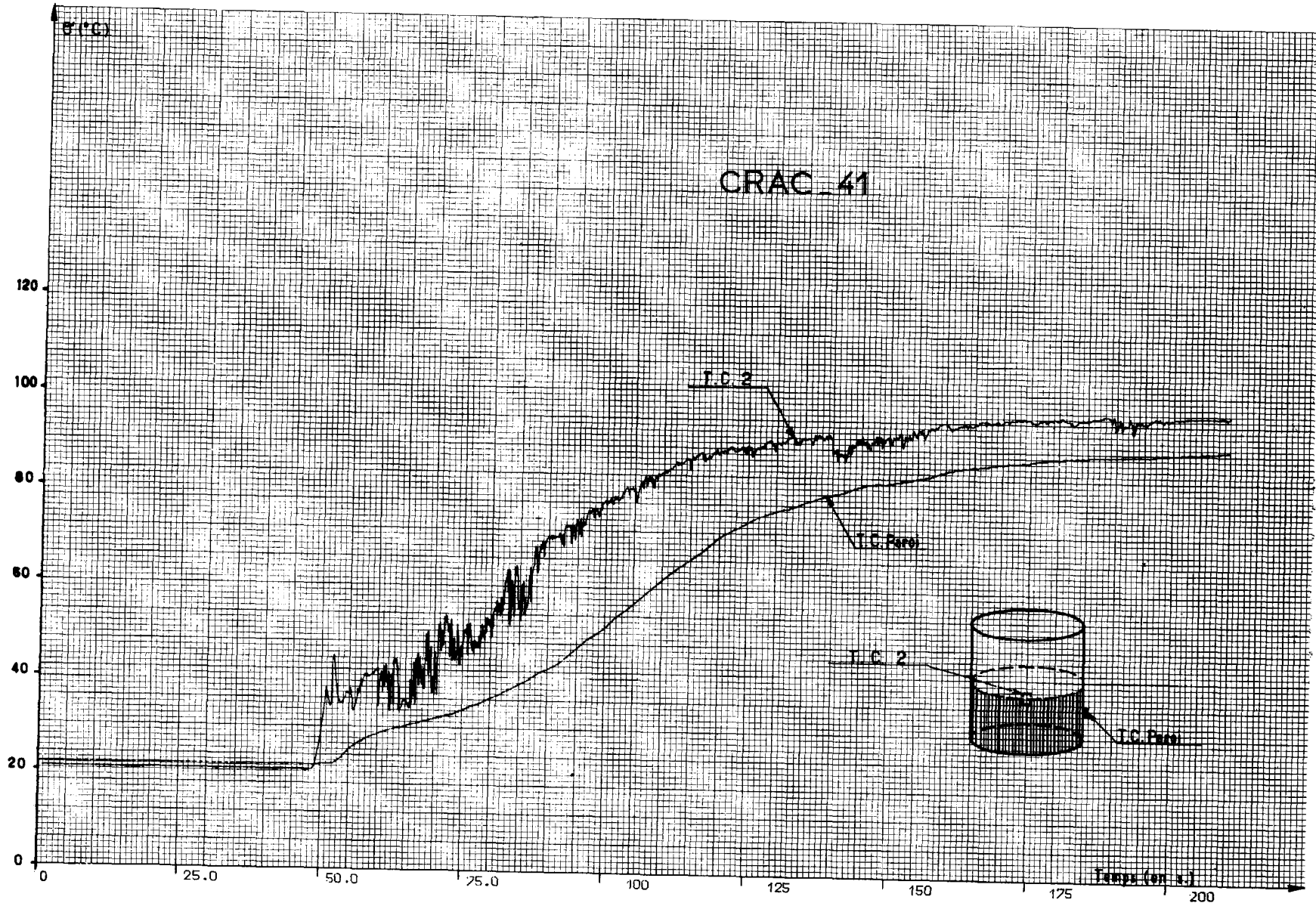
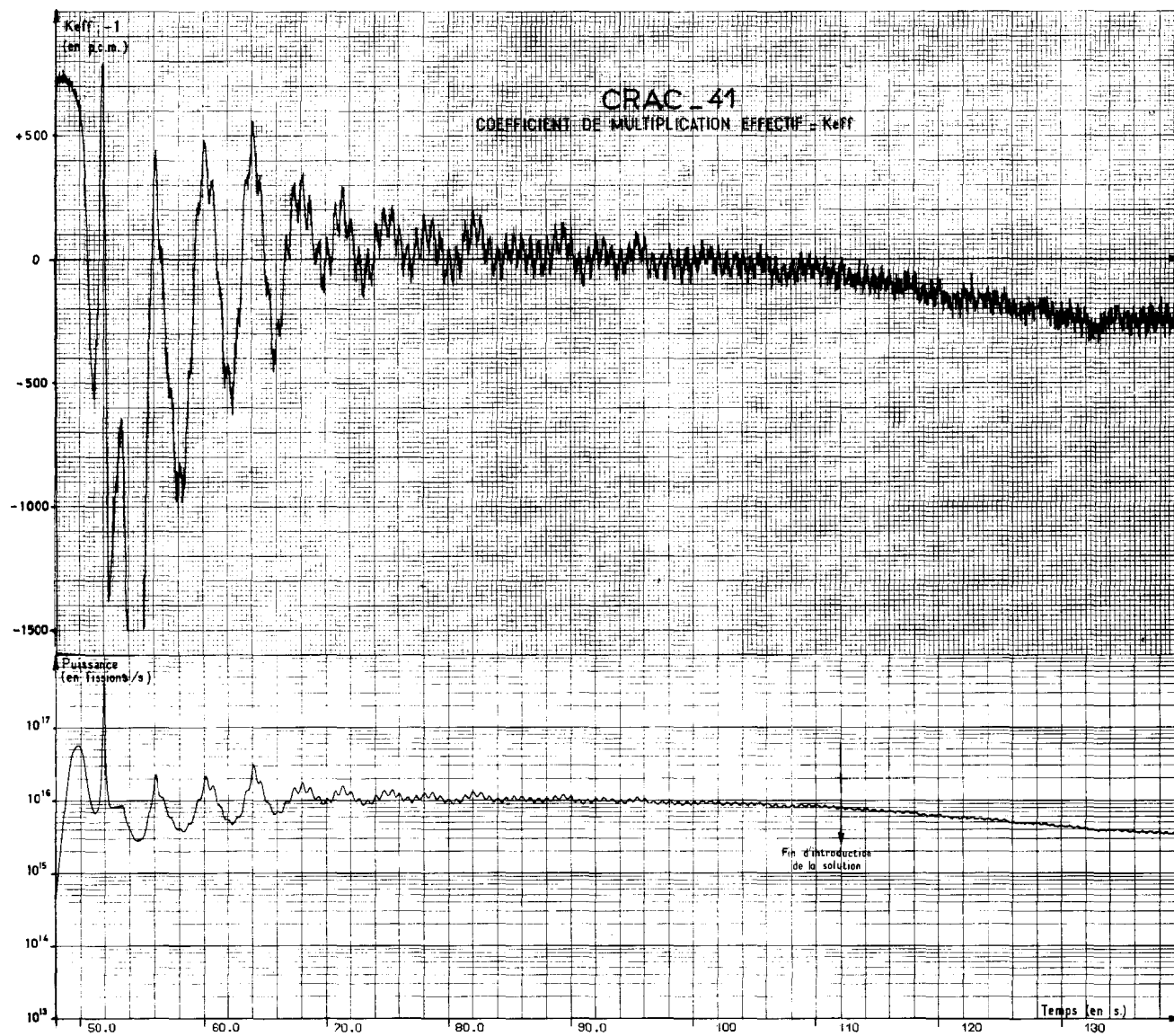


Fig. 20 - Réactivité



DESTINATAIRES

- M. le Haut-Commissaire 1 ex.
- M. le Chef du Cabinet du H.C. 1 ex.
- M. le Délégué à la mission Protection et Sûreté Nucléaires..... 2 ex.
- M. le Délégué à la mission Programmes d'Intérêt Général..... 1 ex.
- M. le Délégué à la mission Coopération Industrielle non Nucléaire..... 1 ex.
- M. le Chef du Département de Sûreté Nucléaire/SACLAY..... 2 ex.
- M. le Chef du Département de Protection/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..... 7 ex.
 - dont 4 ex. CADARACHE
- M. le Chef du Service de Techniques et de Pollution Atmosphérique/FAR.. 4 ex.
 - dont 1 ex. M. SOUDAIN
 - 1 ex. M. MARCHAL
 - 1 ex. M. RENARD
- 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/SIEGE..... 1 ex.
- M. le Directeur des Productions/FAR..... 1 ex.
- M. le Chef du Service des Combustibles Irradiés/FAR..... 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 Construction des Usines/SIEGE..... 1 ex.
- M. le Directeur des Applications Militaires/SIEGE..... 3 ex.
 - dont 1 ex. Direction Scientifique
 - 1 ex. Direction Technique
- M. le Directeur du Centre de BRUYERES-le-CHATEL..... 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/SACLAY..... 1 ex.
- M. le Directeur du Centre de GRENOBLE..... 1 ex.
- M. le Chef du Service des Piles/SACLAY..... 2 ex.
- M. le Directeur du Centre de FONTENAY..... 1 ex.
- M. le Directeur de la Division d'Etude et de Développement des Réacteurs/
SACLAY.. 1 ex.

DESTINATAIRES (Suite)

- M. le Directeur du Centre de CADARACHE.....	1 ex.
- M. le Chef de la Division 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 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.....	2 ex.
- M. le Président de la Sous-Commission des Masses Critiques/SACLAY.....	10 ex.
- M. le Directeur du Centre de VALDUC.....	4 ex.
dont 3 ex. C.VA/S.P.R.	
- M. le Chef de la S.E.C.R./VALDUC.....	2 ex.
- M. le Chef du Groupe Médical/VALDUC.....	1 ex.

*

*

*