

## **THERMOGENESE: APPLICATION DES FILTRAGES ELECTRONIQUE ET NUMERIQUE INVERSES EN CALORIMETRE A CONDUCTION**

E CESARI, V TORRA

*Département de Thermologie, Université de Barcelone, Barcelone 28 (Espagne)*

J L MACQUERON, R PROST

*Laboratoire de Traitement du Signal, INSA, 69621 Villeurbanne Cedex (France)*

J P. DUBES, H. TACHOIRE

*Laboratoire de Thermochimie, Université de Provence, 13331 Marseille Cedex 3 (France)*

(Reçu le 1 juin 1981)

### **ABSTRACT**

The results of the application of the numerical and electronic inverse filtering to the same calorimetric output are presented. These two techniques, used to reduce the inertia of conduction calorimeters, give very similar results.

### **RESUME**

Les auteurs présentent l'application des filtres numériques et électroniques inverses aux mêmes signaux calorimétriques. Les deux techniques, qui permettent de réduire l'inertie des calorimètres à conduction, donnent des résultats très voisins.

### **INTRODUCTION**

Les propriétés dynamiques d'un calorimètre à conduction sont complètement représentées par la fonction de transfert de l'instrument. Celle-ci peut être déterminée expérimentalement, point par point, en étudiant la réponse calorimétrique à une thermogénèse variant sinusoidalement dans le temps. On relève alors, en fonction de la fréquence  $\nu$  du signal d'entrée, l'amplitude de la réponse et le déphasage  $\phi$ . Il est ainsi possible de construire les graphes représentant, en fonction de  $\nu$ , l'affaiblissement du signal (en dB) et le déphasage.

La fonction de transfert de l'instrument est également obtenue plus rapidement,

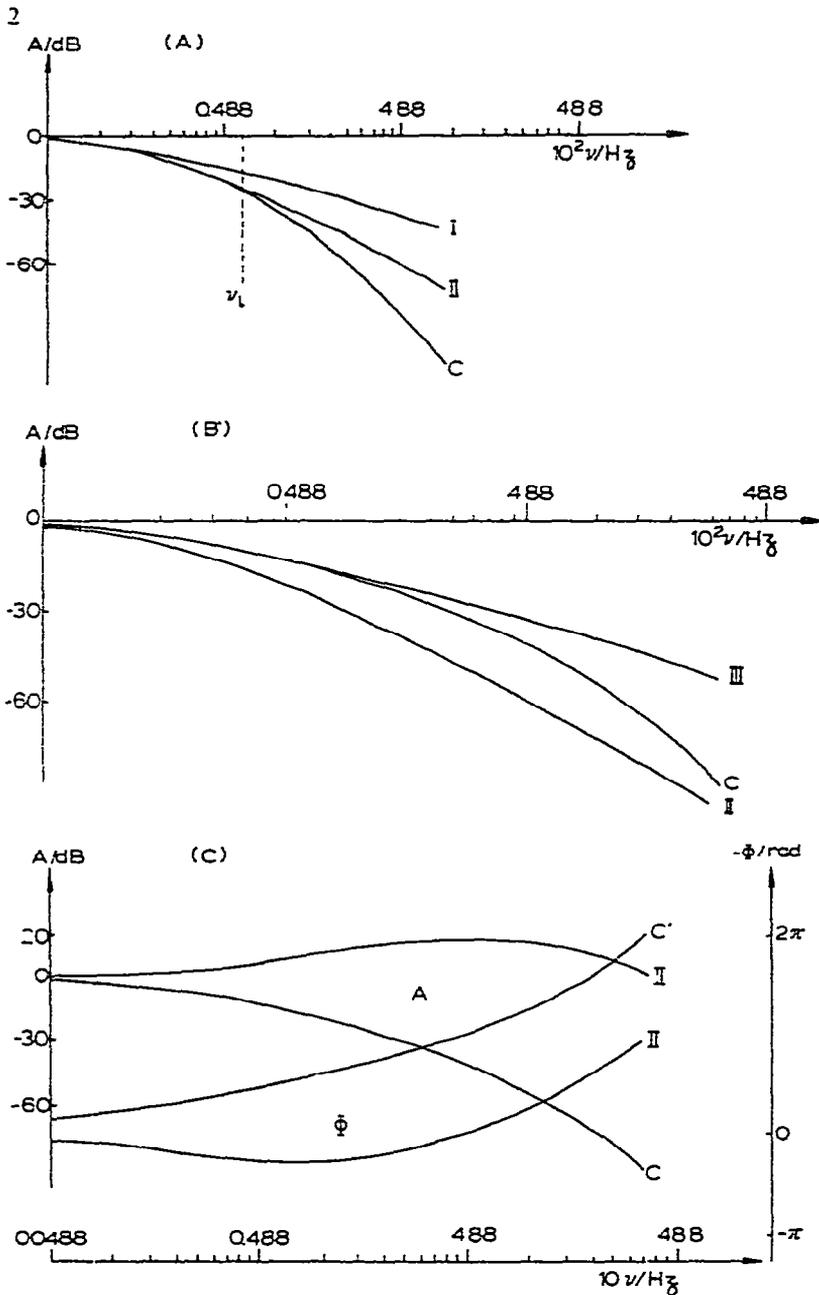


Fig. 1. Representation de la fonction de transfert du calorimetre utilisé. Variation du gain (en dB) en fonction de la fréquence  $\nu$ .

(a) Le graphe C décrit le calorimètre dont les trois premières constantes de temps sont égales à 198, 49 et 21 s. La source thermique ne se trouve pas à proximité du détecteur: la fonction de transfert ne comporte que des pôles. Les graphes I et II concernent, respectivement, un système du premier ordre de constante de temps 198 s et un système du second ordre de constantes de temps 198 et 49 s.

(b) Le graphe C décrit le calorimètre lorsque la source thermique est proche du détecteur. sa fonction de transfert possède des pôles et au moins un zéro. Les constantes de temps sont encore égales à 198, 49 et 21 s, le premier zéro à 65 s. Le graphe II se rapporte à un système du second ordre dont les constantes sont égales à 198 et 49 s. Le graphe III se rapporte à un système du second ordre possédant deux pôles (198 et 49 s) et un zéro (65 s).

(c) Le graphe C décrit encore les caractéristiques dynamiques du calorimètre: C' représente le déphasage observé. Les graphes II et II' donnent, respectivement, le gain à la sortie de l'ensemble calorimètre-filtre inverse à deux étages et le déphasage  $\phi$  correspondant (la source thermique est encore proche du détecteur).

par le calcul, en appliquant la transformation intégrale de Fourier au thermogramme représentant la réponse  $h(t)$  du calorimètre à une "impulsion"  $\delta(t)$  [1]. Cette réponse en fréquence de l'instrument est donnée, dans deux cas particuliers, par la Fig. 1.

Le calorimètre est un appareil comprenant deux éléments jumelés. Chaque cellule a 15 mm de diamètre et 70 mm de hauteur. Les couples thermoélectriques détecteurs sont constitués par des semi-conducteurs [2].

Pour réaliser l'étude que nous présentons, la cellule laboratoire a été munie de deux résistances électriques permettant de développer une puissance déterminée soit au centre de la cellule soit à la périphérie seulement. La cellule calorimétrique contient de l'huile de silicone ( $10 \text{ cm}^3$ ) et un support poreux qui évite la convection. Les deux résistances précédentes sont reliées soit à une alimentation stabilisée soit à un générateur de fonction Schlumberger GBM 661 A.

L'application du filtrage numérique inverse [3], pour procéder à une déconvolution partielle de la réponse calorimétrique, exige une acquisition des données sous forme numérique. La chaîne que nous utilisons comprend essentiellement:

un amplificateur galvanométrique Sefram Amplispot (gain égal à 10000);

un voltmètre numérique Datron 1051 (200000 points). Sa résolution, dans le montage utilisé, correspond à un signal de 1 nV à la sortie  $[s(t)]$  de la pile thermoélectrique. Ce voltmètre est commandé par une horloge (période d'échantillonnage  $\Delta t$  égale à 0,5 s),

une interface Datron 1235,

un téléimprimeur Periferic, Zip 30.

Un enregistreur à quatre voies analogiques Linseis 2000 et un filtre électronique

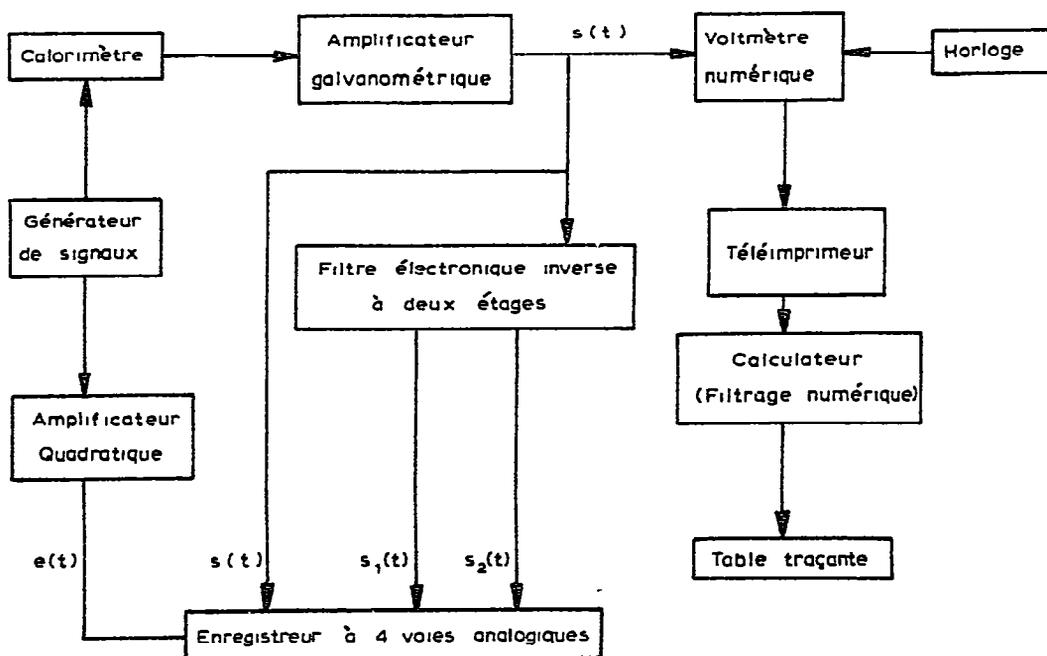


Fig. 2. Schéma du dispositif d'acquisition et de traitement du signal calorimétrique.

inverse à deux étages permettent d'appliquer, en temps réel, une technique analogique de déconvolution déjà décrite [4].

Le diagramme représenté par la Fig. 2 indique la composition globale de la chaîne d'acquisition des données expérimentales. Dans tous les cas, la puissance dissipée au sein des résistances placées dans la cellule calorimétrique n'excède pas quelques mW, domaine habituel d'emploi de la microcalorimétrie. Nous nous proposons, dans cet article, de montrer que le filtrage inverse est une technique valable quelle que soit la position de la source thermique dans la cellule laboratoire.

#### INFLUENCE DE LA POSITION DE LA SOURCE THERMIQUE SUR LA FONCTION DE TRANSFERT INSTRUMENTALE

La fonction de transfert est la transformée de la réponse impulsionnelle  $h(t)$  qui, dans tous les cas, peut être décrite par la somme

$$h(t) = \sum_1^n a_i \exp(-t/\tau_i)$$

$a_i$  et  $\tau_i$  sont, respectivement, les coefficients d'amplitude et les constantes de temps du dispositif expérimental,  $n$  représente soit le nombre de termes retenus de la série mathématique pour laquelle  $n$  est infini soit le nombre d'éléments introduits dans un modèle à constantes localisées [5]

Dans le domaine de Laplace, la fonction de transfert  $H(p)$  est de la forme

$$H(p) = \sum_1^n \frac{a_i \tau_i}{1 + \tau_i p}$$

Le plus souvent, lorsqu'un problème de déconvolution de signaux se pose, en calorimétrie à conduction, la source du phénomène étudié ne se trouve pas à proximité des thermocouples détecteurs et l'on observe, sur la réponse instrumentale, un "temps mort" qui peut atteindre plusieurs secondes. Dans ce cas, la fonction  $H(p)$  peut être mise sous une forme particulièrement simple. La présence d'un temps mort permet d'admettre qu'à l'instant initial ( $t=0$ ) la réponse  $h(t)$  et ses  $(n-2)$  premières dérivées sont nulles. On obtient, dans ces conditions

$$H(p) = \left( \sum_1^n a_i \tau_i \right) \prod_1^n \frac{1}{1 + \tau_i p} = S \prod_1^n \frac{1}{1 + \tau_i p}$$

$S$  = "gain statique" ou sensibilité du système calorimétrique.

Les constantes de temps  $\tau_1, \tau_2, \dots$  formant une série décroissant rapidement, seuls les premiers termes de ce produit jouent un rôle déterminant. La Fig. 1(a) représente la fonction de transfert obtenue dans le cas particulier où la source thermique ne se trouve pas à proximité des couples détecteurs.

Dans le domaine des très basses fréquences ( $\nu < 0,0015$  Hz), l'appareil est assimilable à un système du premier ordre de constante de temps  $\tau_1$ . Lorsque  $\nu$  est compris entre 0,0015 et 0,0075 Hz, il est assimilable à un système de second ordre de

constantes de temps  $\tau_1$  et  $\tau_2$  égales à 198 et 49 s, respectivement. Lorsque la fréquence augmente, le système calorimétrique doit être assimilé à un système d'ordre de plus en plus élevé.

Si l'on place en chaîne avec un tel dispositif un filtre inverse (numérique ou électronique) dont la fonction de transfert est de la forme

$$(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)$$

le signal  $s_2(t)$  obtenu à la sortie de ce filtre ne comprend plus les deux premiers pôles de la fonction  $H(p)$  puisque la fonction de transfert de l'ensemble est égale au produit

$$S \prod_1^n \frac{1}{(1 + \tau_i p)} (1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p) = S \prod_3^n \frac{1}{(1 + \tau_i p)}$$

La réponse calorimétrique est accélérée de façon remarquable puisque c'est  $\tau_3$  qui devient la constante de temps principale.

La Fig. 1(b) représente la fonction de transfert du dispositif calorimétrique lorsque la source de la thermogenèse se trouve à proximité des thermocouples détecteurs. Dans ce cas, les hypothèses restrictives faites sur la réponse  $h(t)$  et ses premières dérivées à l'instant  $t = 0$  ne sont pas valables. Il n'est plus possible de mettre la fonction de transfert  $H(p)$  de l'instrument sous la forme d'un produit.

On peut cependant l'écrire

$$H(p) = \frac{\text{Polynôme en } p \text{ de degré } (n - 2) \text{ au plus}}{\prod_1^n (1 + \tau_i p)}$$

Dans le cas général,  $H(p)$  possède plusieurs pôles et un ou plusieurs zéros

## RESULTATS

Quelle que soit la technique de filtrage (numérique ou électronique) utilisée, la réponse  $s_1(t)$  du premier étage correcteur est de la forme

$$s_1(t) = s(t) + \tau_1 \frac{ds(t)}{dt} \quad (1)$$

et celle du second étage

$$s_2(t) = s_1(t) + \tau_2 \frac{ds_1(t)}{dt}$$

soit

$$s_2(t) = s(t) + (\tau_1 + \tau_2) \frac{ds(t)}{dt} + \tau_1 \tau_2 \frac{d^2s(t)}{dt^2} \quad (2)$$

Le filtrage numérique inverse est appliqué à un ensemble de données recueillies par échantillonnage. Un lissage initial est réalisé sur un nombre de points compris entre 5 et 9. Au cours de ce lissage, chaque donnée  $x_m$  de rang  $m$  est recalculée

(moyenne pondérée). On obtient par exemple, après un lissage sur sept points

$$x_m(\text{lissé}) = \frac{x_{m-3} + 2x_{m-2} + 3x_{m-1} + 7x_m + 3x_{m+1} + 2x_{m+2} + x_{m+3}}{19}$$

Puis, après double correction, par différence centrée sur la donnée  $x_m$ , nous obtenons  $x_{m,2}$  avec

$$x_{m,2} = x_m + (\tau_1 + \tau_2) \frac{x_{m+n} - x_{m-n}}{2n \Delta t} + \tau_1 \tau_2 \frac{x_{m+n} + x_{m-n} - 2x_m}{n^2 \Delta t^2} \quad (3)$$

Le filtrage numérique consiste en effet à appliquer, de façon discrète, les relations (1) et (2) précédentes ( $\Delta t$  représente la période d'échantillonnage égale à 0,5 sec). La relation exprimant  $x_{m,2}$  montre que les dérivées associées à la donnée  $x_m$  sont calculées à partir des données de rang  $(m+n)$ ,  $m$  et  $(m-n)$ ;  $n \Delta t$  représente l'incrément de temps\*.

La relation (3) montre également que l'effet du bruit est amplifié par la présence du troisième terme de son second membre lorsque nous utilisons une faible valeur pour le nombre  $n$ \*\* . Ainsi, dans le cas d'un bruit dont l'amplitude varie dans l'intervalle  $\pm 1$ , ce troisième terme introduit des oscillations d'amplitude  $\pm \tau_1 \tau_2 / (\Delta t)^2$  si  $n$  est égal à 1. Si l'on choisit  $n$  égal à 10, cette amplitude n'excède pas  $\pm \tau_1 \tau_2 / 100 (\Delta t)^2$ .

La Fig. 3 montre, dans un cas particulier, cette influence de la valeur de  $n$  sur la qualité du signal obtenu après traitement numérique.

Dans notre exemple, tant que l'incrément  $n \Delta t$  n'excède pas une dizaine de secondes, son augmentation n'entraîne pas une perte sensible d'information: elle se traduit seulement par une décroissance très nette du "bruit" affectant le signal restitué. On peut justifier cela. La Fig 1(a) montre que, si l'on utilise un filtrage inverse à deux étages, on restitue la thermogenèse dans le domaine de fréquence compris entre 0 et une limite  $\nu_1$ . Augmenter l'incrément  $n \Delta t$  revient à introduire une coupure fréquentielle pour  $\nu = 1/2n \Delta t$ : la qualité de la restitution ne sera affectée que si cette fréquence de coupure se trouve en deçà de  $\nu_1$ .

Dans le filtrage électronique inverse [4], il n'est pas possible d'utiliser des circuits purement dérivateurs à cause des bruits et des parasites d'origine électrique. Dans chaque étage de correction, il est nécessaire d'introduire une capacité d'intégration. Là encore, les effets de cette capacité doivent se manifester dans le domaine de fréquence situé au delà de  $\nu_1$ . Dans le cas contraire, au fur et à mesure que sa valeur augmente, l'amplitude du "bruit" diminue mais l'efficacité du dispositif correcteur diminue également (Fig. 4).

L'utilisation d'un filtre à front raide du second ordre, relié en chaîne au filtre inverse, permet de pallier cet inconvénient. On obtient un signal de bonne qualité malgré l'emploi de capacités d'intégration très faibles [6]: la réponse du filtre est exempte de bruit de fréquence élevée et l'efficacité de l'instrument devient optimale.

\* Le filtrage numérique inverse peut donc introduire une certaine "anticipation" de la thermogenèse restituée

\*\* L'influence du second terme est moins significative

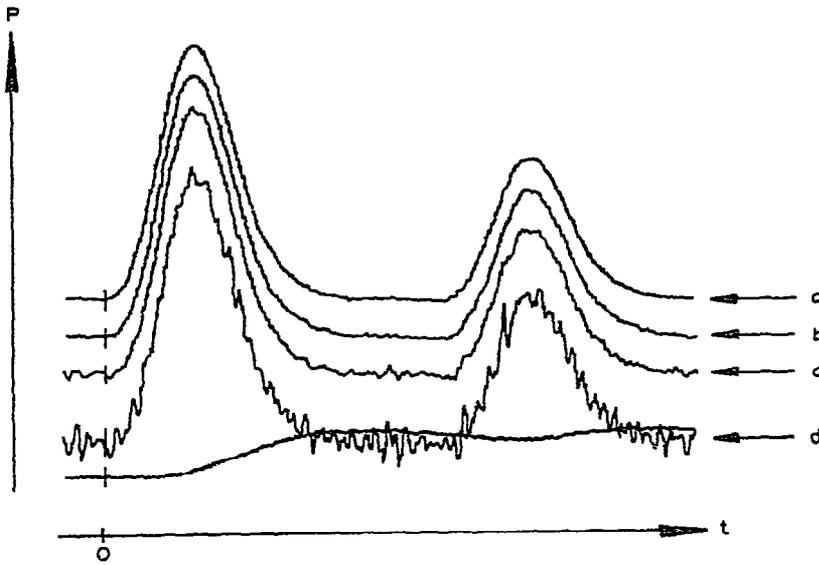


Fig 3 Application du filtrage numerique inverse Influence de la valeur de l'increment de temps  $n \Delta t$  utilise dans le calcul des derivees a.  $n \Delta t = 15$  s, b.  $n \Delta t = 10$  s, c.  $n \Delta t = 6$  s, d.  $n \Delta t = 3$  s (On a represente egalement le thermogramme experimental)

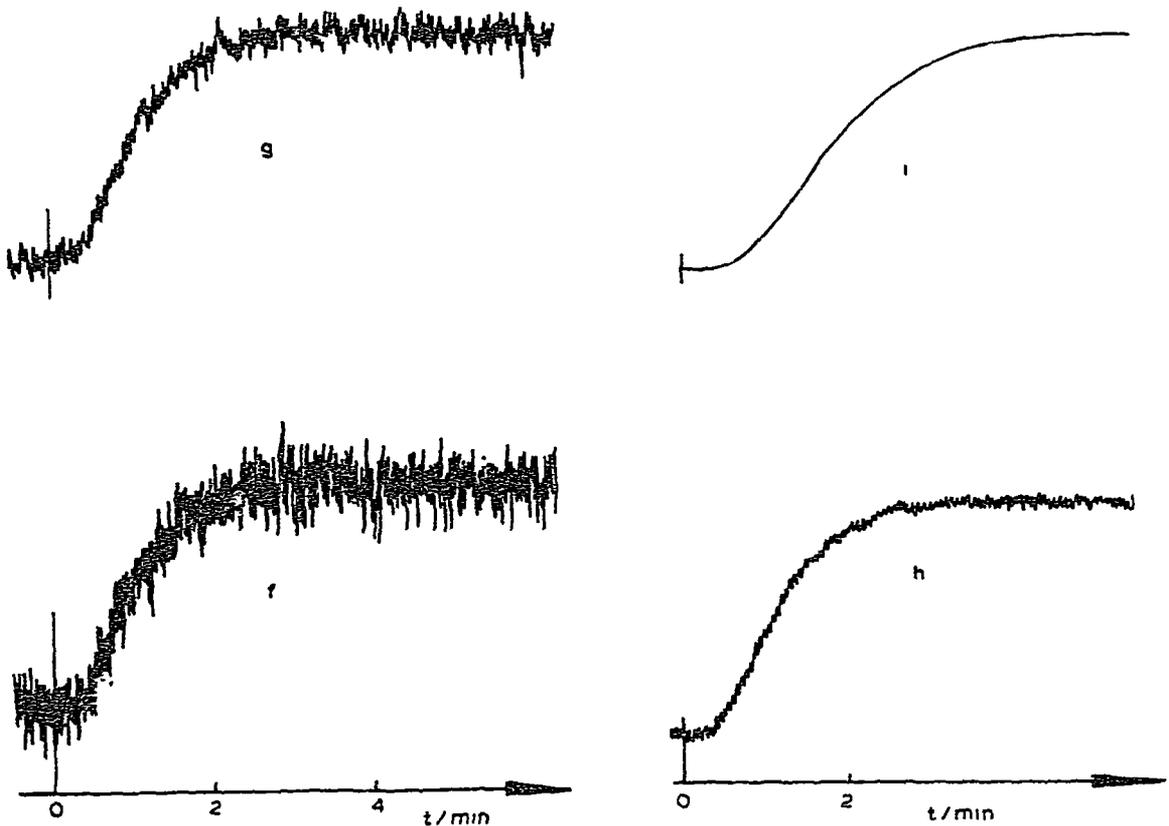


Fig. 4. Application du filtrage electronique inverse Influence des constantes de temps  $\tau_1'$  et  $\tau_2'$  des circuits d'integration associes aux deux etages correcteurs eliminant les poles  $\tau_1$  et  $\tau_2$  Dans le cas particulier etudie, on a  $\tau_1 = 484$  s et  $\tau_2 = 90$  s. f.  $\tau_1' = 3,3$  s,  $\tau_2' = 1$  s g.  $\tau_1' = 3,3$  s;  $\tau_2' = 3,3$  s h.  $\tau_1' = 10$  s,  $\tau_2' = 3,3$  s i.  $\tau_1' = 47$  s,  $\tau_2' = 10$  s

Plusieurs expériences nous ont montré que les deux techniques de filtrage, numérique et électronique, conduisent à des résultats de qualités pratiquement identiques (Fig. 5) pour une même valeur du rapport signal/bruit affectant la thermogenèse constituée. Ce résultat est d'un grand intérêt car il nous permet d'étudier les conditions optimales d'emploi du filtrage physique uniquement sur le plan numérique.

Lorsque la source de la thermogenèse est "éloignée" des thermocouples détecteurs, le filtrage inverse ne pose pratiquement pas de problème. Les graphes représentés par la Fig. 5 correspondent à cette configuration: chaque dessin indique la thermogenèse, le thermogramme expérimental et les réponses obtenues à la sortie des filtres inverses (un et deux étages). Lorsque la source de la thermogenèse se trouve à proximité des thermocouples détecteurs, la fonction de transfert  $H(p)$  comporte des pôles comme dans le cas précédent mais aussi des zéros. La Fig. 1(b) représente cette fonction de transfert: on voit qu'en reliant en chaîne avec le système calorimétrique un filtre inverse à deux étages, on éliminera les deux premiers pôles mais non le (ou les) zéro(s) qu'elle possède. Pour illustrer cela, on a représenté (Fig. 6) la réponse obtenue à la sortie de ce filtre inverse dans ce cas particulier (source de la thermogenèse située à proximité des couples détecteurs). On voit que cette réponse met en évidence un dépassement important par le signal soit de sa valeur en régime permanent soit du zéro expérimental, dépassement ne possédant évidemment aucune signification physique.

Ce dépassement est lié à l'avance de phase imposée par les deux étages de filtrage et par l'allure de la courbe d'affaiblissement [Fig. 1(c)]. L'examen de cette réponse pourrait conduire à penser que, si la source de la thermogenèse est proche des couples détecteurs, le filtrage inverse, numérique ou électrique, ne peut être utilisé sans une étude critique approfondie des résultats.

Si la restitution de la thermogenèse est aussi peu satisfaisante, c'est que nous n'avons pas supprimé, par filtrage, le(s) zéro(s) de la fonction de transfert de l'instrument. La suppression d'un pôle se fait par dérivation; celle d'un zéro est réalisée par intégration.

La fonction de transfert instrumentale étant de la forme

$$H(p) = S \frac{(1 + \tau_1^* p)(1 + \tau_2^* p) \dots}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p) \dots} = S \frac{\prod_j^m (1 + \tau_j^* p)}{\prod_i^n (1 + \tau_i p)}$$

Après élimination du premier zéro, cette fonction devient

$$H_1^*(p) = S \frac{(1 + \tau_2^* p) \dots}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p) \dots}$$

En appliquant à la réponse instrumentale  $s(t)$  l'opération définie par la somme  $s(t) + \tau_1 [ds(t)/dt]$ , on a déjà montré qu'on obtenait un signal  $s_1(t)$  dans lequel ne figurait plus le premier pôle de la fonction de transfert.

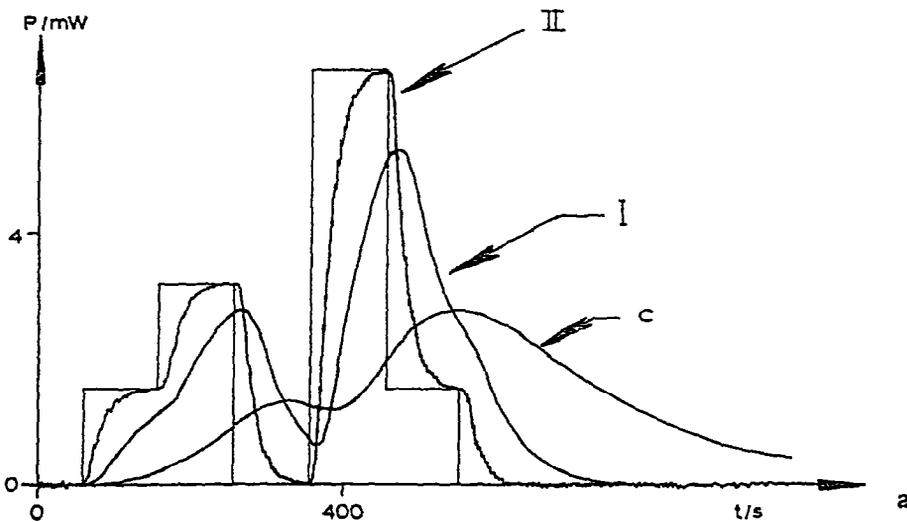
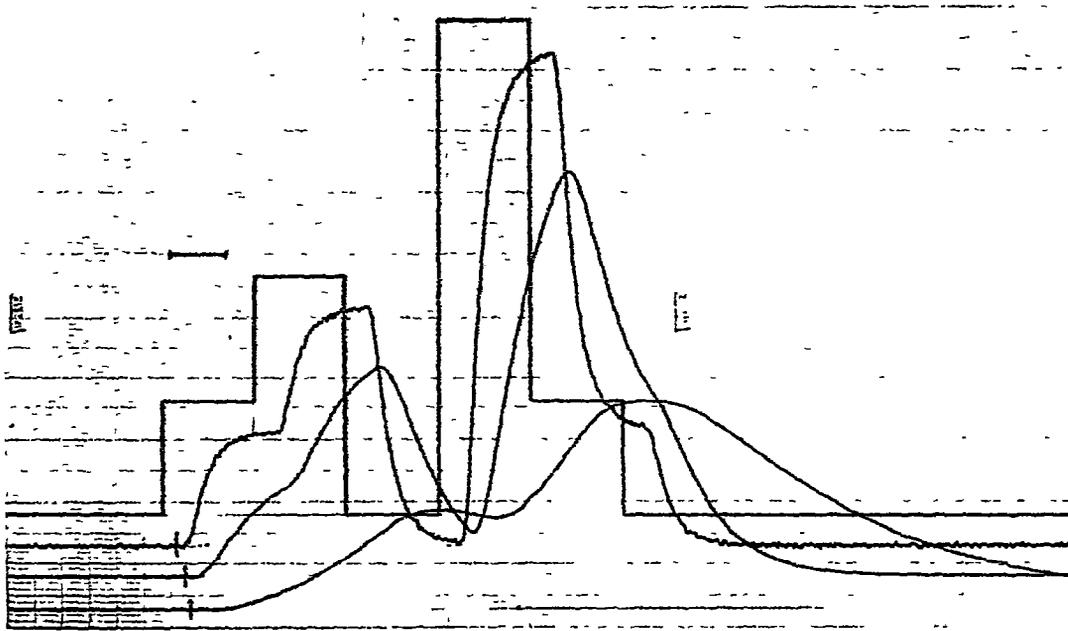


Fig. 5 Etude comparative des filtrages électronique et numérique inverses. C représente le thermogramme expérimental, I et II représentent les réponses d'un filtre inverse à un et deux étages ( $\tau_1 = 198$ ,  $\tau_2 = 49$  s). Les diagrammes sur fond blanc correspondent au filtrage numérique, ceux sur fond grille au filtrage électronique (échelles identiques). Les trois exemples donnés montrent que les résultats obtenus sont pratiquement identiques. La thermogénèse a pu être représentée dans le cas (a). Dans les cas (b) et (c), cette thermogénèse est constituée, respectivement, par une série de quatre impulsions dont les maximums sont séparés par 40 s et de deux impulsions dont les maximums sont séparés par 20 s.

En appliquant à  $s(t)$  l'opération définie par la relation

$$s(t) = s_1^*(t) + \tau_1^* \frac{ds_1^*(t)}{dt}$$

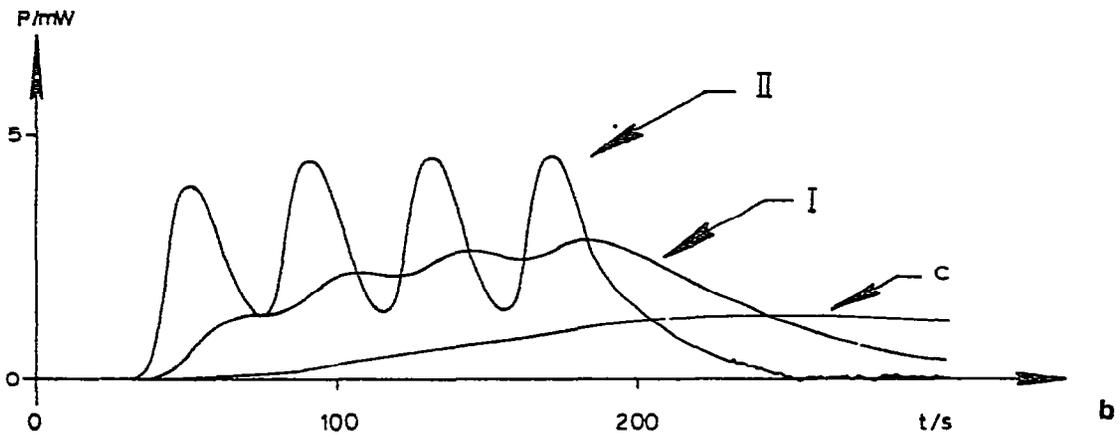
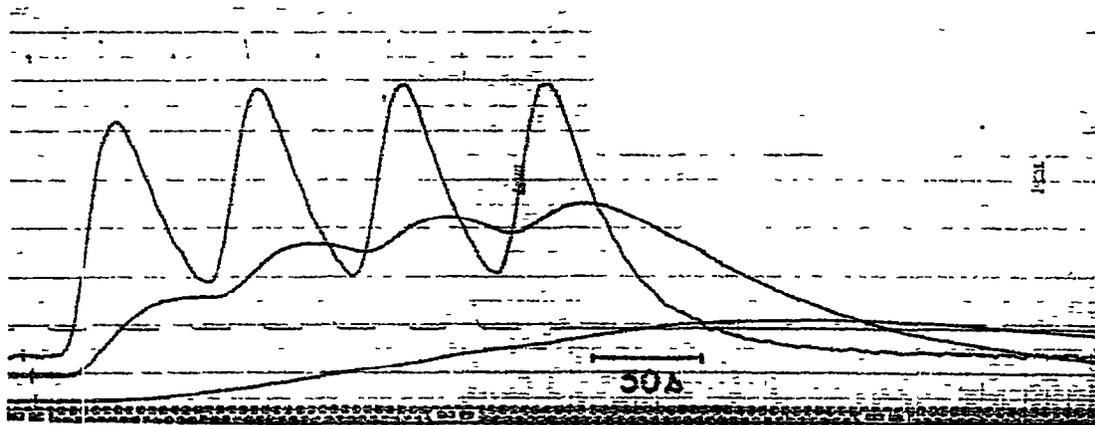


Fig 5 (continued)

on obtient un signal  $s_1^*$  dans lequel le premier zéro de la fonction de transfert est éliminé.

Le calcul numérique de  $s_1^*(t)$  est simple

$$s(t) = s_1^*(t) + \tau_1^* \frac{s_1^*(t) - s_1^*(t - \Delta t)}{\Delta t} = s_1^*(t) \left\{ 1 + \frac{\tau_1^*}{\Delta t} \right\} - s_1^*(t - \Delta t) \frac{\tau_1^*}{\Delta t}$$

On déduit de cette relation

$$s_1^*(t) = \frac{s(t) + s_1^*(t - \Delta t) \frac{\tau_1^*}{\Delta t}}{1 + \frac{\tau_1^*}{\Delta t}} = \frac{s(t) \Delta t + s_1^*(t - \Delta t) \tau_1^*}{\tau_1^* + \Delta t}$$

Si, pour le calcul de  $s_1^*(t)$ , on utilise la réponse d'un modèle calorimétrique, il est nécessaire de résoudre l'équation différentielle

$$s(t) = s_1^*(t) + \tau_1^* \frac{ds_1^*(t)}{dt}$$

Pour une réponse impulsionnelle

$$h(t) = \sum_1^n a_i e^{-t/\tau_i}$$

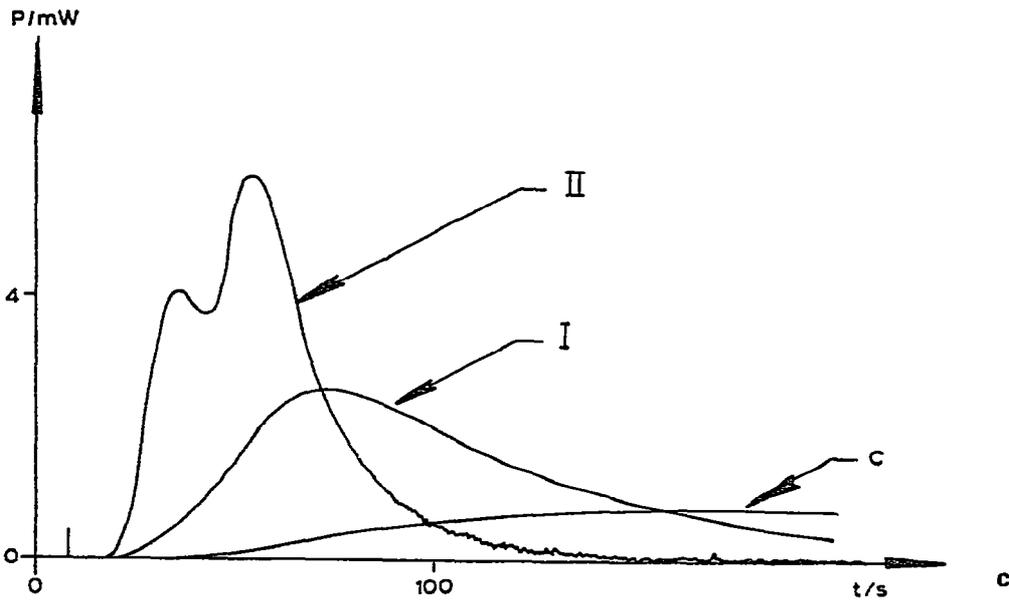
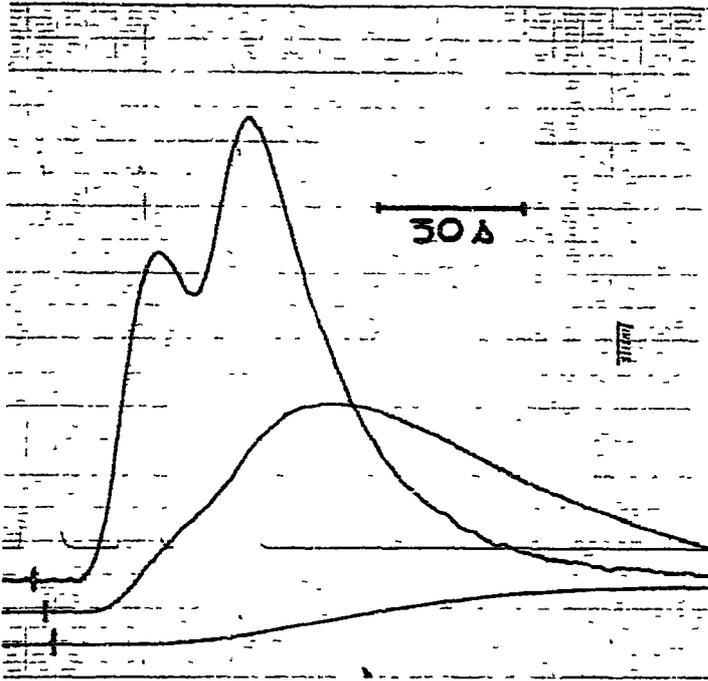


Fig 5 (continued)

on obtient

$$s_i^*(t) = \sum_i \frac{a_i \tau_i}{\tau_i - \tau_1^*} e^{-t/\tau_i} + A e^{-t/\tau_1^*}$$

expression dans laquelle on a  $[s_i^*(t=0) = 0]$

$$A = - \sum_i \frac{a_i \tau_i}{\tau_i - \tau_1^*}$$

$\tau_1^*$  représentant un zéro de la fonction de transfert instrumentale, on a  $A = 0$ .

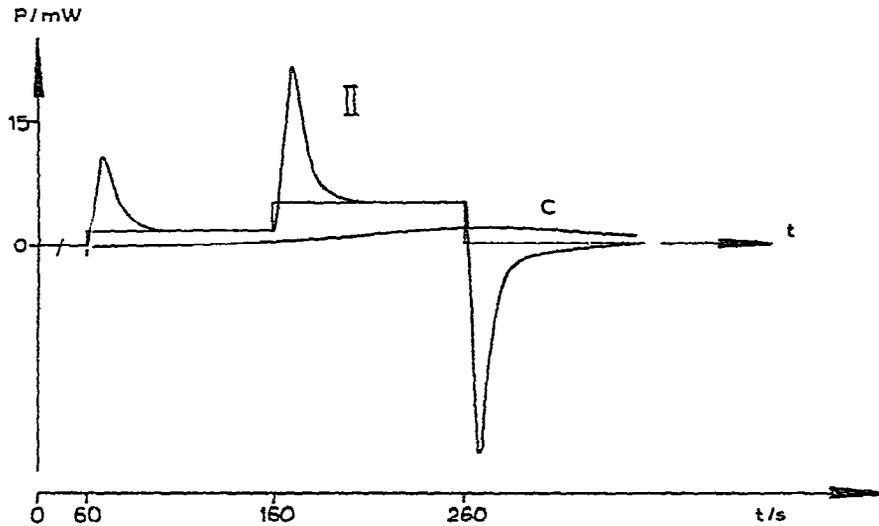


Fig 6 Application du filtrage inverse dans le cas où la source de la thermogenèse est "proche" des couples détecteurs. Le graphe C représente le thermogramme expérimental, le graphe II la réponse d'un filtre inverse comprenant deux étages correcteurs. On a également indiqué, en trait fin, la thermogenèse (suite d'échelons)  $\tau_1 = 198$  s,  $\tau_2 = 49$  s

Cette approche permet de résoudre le problème de façon très satisfaisante comme l'indique la Fig. 7. L'intégration de la réponse  $s_2(t)$  issue du second étage de filtrage inverse conduit à un signal qui ne présente aucun dépassement. L'expérience montre que le choix de la constante de temps d'intégration joue un rôle important pour la qualité du signal final. La Fig. 8 confirme qu'une faible variation de cette grandeur autour de la valeur convenable entraîne une restitution de mauvaise qualité.

A priori, si l'on ignore la valeur exacte des constantes de temps  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , on peut

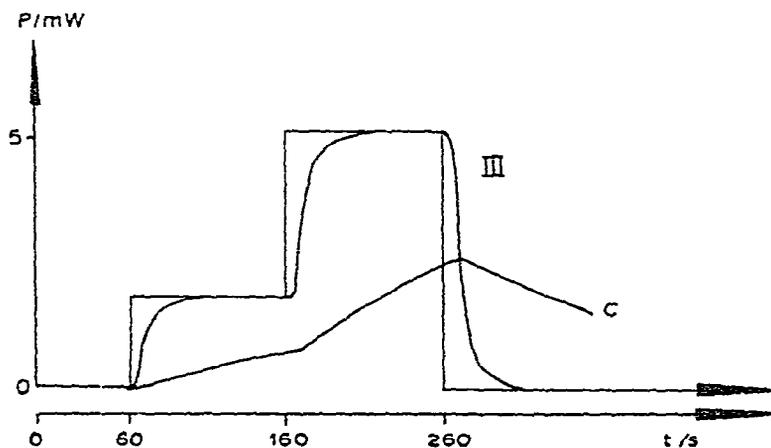


Fig. 7 Application du filtrage inverse dans le cas où la source de la thermogenèse est "proche" des couples détecteurs. Le graphe C représente le thermogramme expérimental, le graphe III la réponse d'un filtre inverse éliminant les deux premiers pôles (198 et 49 s) et le premier zéro (65 s) de la fonction de transfert instrumentale. Les dépassements observés dans la Fig 6 sont éliminés

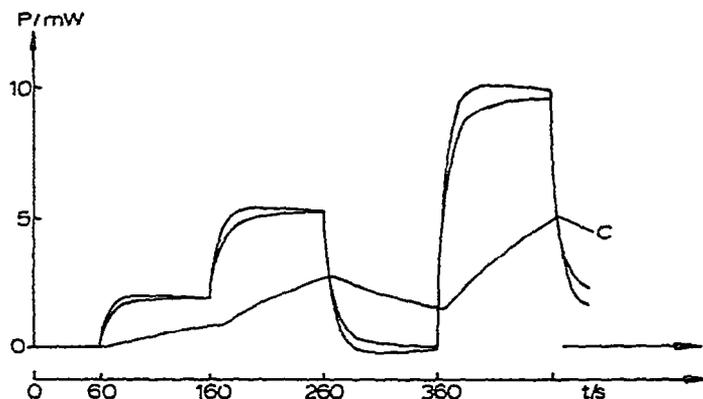


Fig 8 Application du filtrage inverse dans le cas où la source de la thermogenèse est "proche" des thermocouples détecteurs. Le graphique C représente le thermogramme expérimental. Les deux autres graphes représentent la réponse d'un filtre éliminant les deux premiers pôles de la fonction de transfert instrumentale (198 et 49 s) et, de façon imparfaite, le premier zéro (65 s). Le graphique qui présente des dépassements correspond à une sous-estimation de ce zéro (60 s), le deuxième graphique a une sur-estimation (70 s).

être tenté de régler le dispositif de filtrage inverse (numérique ou électronique) en adoptant comme critère de réglage le non dépassement par le signal de sa valeur en régime permanent. La Fig. 9 montre que cette approche conduit à sous-estimer la valeur de la constante de temps principale  $\tau_1$  (par exemple) et donc à ne pas éliminer complètement le terme  $a_1 \exp(-t/\tau_1)$ .

Dans le cas où la thermogenèse se développe à proximité des thermocouples détecteurs, il convient donc de déterminer les constantes de temps  $\tau_1, \tau_2, \dots$  du dispositif calorimétrique, d'appliquer à sa réponse la technique de filtrage déjà rappelée suivie (ou précédée) d'une intégration. Cette élimination des premiers pôles

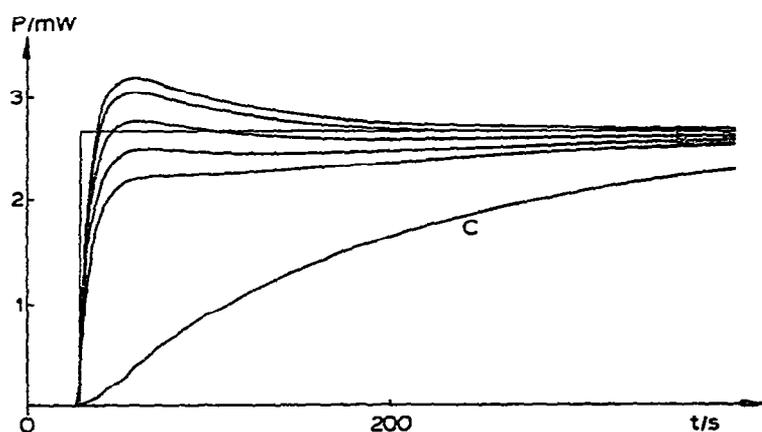


Fig 9 Application du filtrage inverse dans le cas où la source de la thermogenèse est "proche" des couples détecteurs. Réglage empirique du premier étage correcteur lorsqu'on ignore la valeur (ici, 198 s) de la constante de temps principale  $\tau_1$ . C représente le thermogramme expérimental lié à l'échelon de puissance étudié. Les cinq autres graphes représentent la réponse de l'ensemble calorimètre-filtre à un étage correcteur pour différentes valeurs attribuées à  $\tau_1$  (de bas en haut, 130, 150, 170, 190 et 200 s).

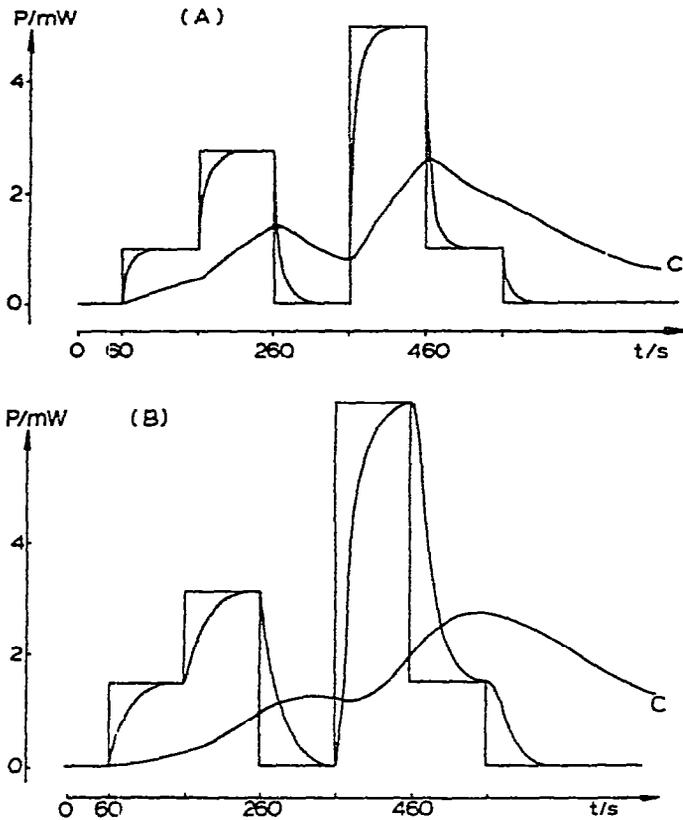


Fig 10 Application du filtrage inverse: influence de la position de la source thermique. Dans le cas où cette source est "proche" des couples détecteurs [graphes (a)], la restitution du phénomène est meilleure. On a éliminé les deux premiers pôles et un zéro de la fonction de transfert instrumentale. Dans le second cas [graphes (b)], seuls les deux premiers pôles ont été éliminés. Dans les deux cas, le graphe C représente le thermogramme expérimental.

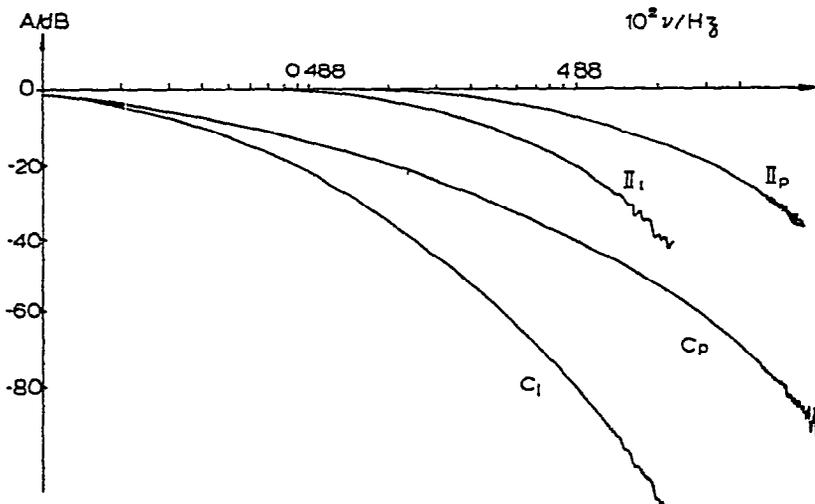


Fig 11. Application du filtrage inverse. Cas où la source de la thermogenèse est "éloignée" des couples détecteurs.  $C_1$  représente le gain  $A$  du dispositif expérimental;  $I_1$  représente le gain de l'ensemble calorimètre-filtre inverse à deux étages.

Cas où la source de la thermogenèse est "proche" des couples détecteurs:  $C_p$  représente le gain du dispositif expérimental,  $I_p$  représente le gain de l'ensemble calorimètre-filtre inverse (le filtre élimine les deux premiers pôles et le premier zéro de la fonction de transfert).

et d'un zéro permet d'obtenir une "allure normale" pour la fonction de transfert de l'ensemble calorimètre-système de filtrage.

Les graphes donnés par la Fig. 10 montrent les résultats de l'application du filtrage inverse à la déconvolution de la réponse instrumentale dans les deux cas précédemment décrits (source de la thermogenèse située "près" et "loin" des couples détecteurs). Pour rendre comparables ces résultats, la thermogenèse étudiée est la même dans les deux cas (Fig. 10).

L'examen de ces graphes montrent que la restitution de la thermogenèse est de meilleure qualité lorsque la source du phénomène est située à proximité des couples à condition que l'on utilise la technique de filtrage présentée [cas (a)].

La Fig. 11 justifie ce résultat. Elle représente, dans les deux cas (source "près" et source "loin" des couples détecteurs), la fonction de transfert du calorimètre et celle de l'ensemble calorimètre-filtre inverse.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient très sincèrement les Responsables des Services scientifiques de l'Ambassade de France à Madrid et du Centre international des étudiants et stagiaires qui a accordé à l'un d'eux (V.T.) une bourse pour un séjour scientifique de longue durée.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1 J Navarro, E. Rojas et V Torra, An Fis , 68 (1973) 263 J Navarro, E Rojas et V Torra, Rev Gen Therm . 143 (1973) 1137. J Navarro et V Torra, Actes de la deuxième Conference de Calorimetrie et d'Analyse Thermique, Zakopane, Pologne, 1976 J Van Bokhoven et P C Gravelle, Thermochim Acta, 33 (1979) 239
- 2 J L. Macqueron, G Simcki et R Bernard, C R Acad Sci , 259 (1964) 1390
- 3 R Point, Thèse docteur-ingénieur, Lyon, 1978 E Cesari, V Torra, J L Macqueron R Prost, J P Dubes et H. Tachoire, Actes des Journees de Calorimetrie et d'Analyse Thermique, Barcelone, Espagne, 1980
- 4 J P Dubes, M Barres et H Tachoire, C R Acad Sci , 283 (1976) 163; Thermochim Acta, 19 (1977) 101 J P Dubes, M Barres, E. Boitard et H Tachoire, Thermochim Acta, 39 (1980) 63
- 5 J Navarro, E. Cesari, V Torra, J L Macqueron, J P. Dubes et H Tachoire, Thermochim Acta, 52 (1982) 175
- 6 J P Dubes et H Tachoire, Actes des Journees d'Etude sur l'Analyse et la Deconvolution de la Réponse Instrumentale en Spectroscopie et en Calorimetrie, Centre d'Etudes Nucleaires de Cadarache, 23 et 24 octobre 1980