

Implémentation en Temps Réel d'un Algorithme de Détection de Fuite d'Eau des Réseaux de Distribution sur le Processeur TMS320C6201 en Utilisant la Corrélacion Acoustique

Miloud Bentoumi¹, Djamel Chikouche², Mohamed Bouamar¹, Ali Khelfa³

¹Département d'Electronique, Université de M'sila, Algérie

²Département d'Electronique, Université de M'sila, Algérie

Laboratoire LIS, Département d'Electronique, Université de Sétif, Algérie

³Laboratoire LIS, Département d'Electronique, Université de Sétif, Algérie

E-mail: bentoumi_miloud@yahoo.fr, dj_chikou@yahoo.fr, khalfali2000@yahoo.fr

Résumé - Dans cet article, la technique de la corrélation acoustique est utilisée comme méthode de détection de fuite d'eau sur les réseaux de distribution. Elle a été implémentée sur deux microordinateurs (P3 et P4) et le processeur de signal TMS320C6201. La fuite d'eau a été simulée par un signal aléatoire se propageant dans les deux sens sur la conduite donnant naissance à deux signaux décalés dans le temps. L'algorithme implémenté est ainsi testé avec ces deux signaux. La fonction corrélation obtenue nous a permis de localiser la fuite à travers le pic de la corrélation obtenue. Des tests de simulation ont par la suite confirmé le bon fonctionnement du système élaboré à l'aide d'exemples de signaux ayant un nombre d'échantillons variant de 64 à 1024. Enfin une comparaison en terme de temps de calcul entre le DSP et les PC confirme la supériorité du DSP.

I. INTRODUCTION

L'exploitation des réseaux de distribution d'eau potable à travers le monde souffre des fuites nombreuses qui peuvent surgir à des endroits arbitraires difficiles à déterminer. En plus des pertes économiques énormes liées aux fuites, il s'ajoute les risques d'épidémies engendrées par ces fuites constituants ainsi un grand danger pour la santé publique. La réduction du temps compris entre la formation d'une fuite et sa localisation précise est parmi les facteurs déterminants pour atteindre un bon rendement du réseau de distribution. Une étude réalisée par l'Association Internationale de Distribution d'Eau (AIDE) montre que la quantité d'eau perdue transportée par les réseaux de distribution se situerait entre 20 et 30 % de la production totale. Cela a ramené les exploitations des réseaux à penser à utiliser des moyens plus performants afin de détecter ces fuites en un temps record. Dans le domaine de la détection de fuite, il y a plusieurs méthodes et techniques. Les détecteurs actuellement utilisés peuvent être classés en deux principales catégories: Les détecteurs à base d'écoute de bruit acoustique qui nécessitent de l'opérateur des déplacements pour localiser exactement l'endroit de ces fuites et les détecteurs à base de corrélation acoustique qui permettent la détection des fuites à distance, et qui donnent l'endroit de la fuite avec une grande précision.

Le microsysteme envisagé dans cet article est structuré autour d'un microordinateur PC et un processeur de traitement numérique du signal (DSP). L'architecture de ce système est représentée par une carte EVMC6201 qui dispose d'un DSP (TMS320C6201). Dans ce système de type Maître-Esclave, le PC joue le rôle du Maître et le DSP effectue les tâches d'un esclave, et assure le traitement des signaux. Le DSP est utilisé dans ce système de détection à cause de l'algorithme de corrélation adoptée comme technique de traitement des fuites et qui est exigeant en temps de calcul. Le DSP est un processeur spécialisé bien adapté pour ce type d'algorithme de traitement du signal [1-16].

L'objectif de notre travail est d'implémenter la technique de corrélation sur le DSP choisi (TMS320C6201) et étudier ses performances en termes de temps d'exécution en la testant à l'aide de deux signaux aléatoires décalés dans le temps simulant ainsi une fuite. Ensuite, nous comparons le temps d'exécution de l'algorithme de corrélation implémenté sur DSP par rapport à celui implémenté sur PC.

II. CORRÉLATION ACOUSTIQUE

La fuite émet deux vibrations se propageant le long de la conduite d'eau dans les deux sens. Des capteurs disposés de part et d'autre de la fuite permettent de capter ces deux vibrations à des instants différents. Les signaux acoustiques recueillis en A et B comportant, en plus du bruit de fuite des bruits parasites, $N_1(t)$ en A, $N_2(t)$ en B. Ces bruits, en général gaussiens, ne sont ni corrélés entre eux ni avec $A(t)$ et $B(t)$. On aura donc:

$$S_A(t) = A(t) + N_1(t) = \alpha_A b(t - \frac{dA}{c}) + N_1(t) \quad (1)$$

$$S_B(t) = B(t) + N_2(t) = \alpha_B b(t - \frac{dB}{c}) + N_2(t) \quad (2)$$

Avec α_a et α_b , les coefficients de diffusion compris entre 0 et 1. "c" étant la vitesse de propagation dans la conduite.

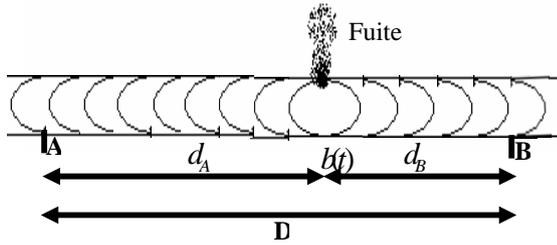


Fig.1. Paramètres du calcul de la position de la fuite.

L'intercorrélation entre S_A et S_B est:

$$\begin{aligned} \Gamma_{AB} &= E[S_A(t)S_B(t-\tau)] \\ &= E\left[\left(\alpha_A b\left(t - \frac{d_A}{c}\right) + N_1(t)\right)\left(\alpha_B b\left(t - \frac{d_B}{c} - \tau\right) + N_2(t)\right)\right] \\ \Gamma_{AB} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(\alpha_A b\left(t - \frac{d_A}{c}\right) + N_1(t)\right)\left(\alpha_B b\left(t - \frac{d_B}{c} - \tau\right) + N_2(t)\right) dt \end{aligned} \quad (3)$$

Soit, en raison des hypothèses mentionnées et en supposant les erreurs d'estimation négligeables, on a:

$$\Gamma_{AB}(t) = \frac{\alpha_B}{\alpha_A} \Gamma_{AA}(\tau - \tau_0) \quad (4)$$

Avec:

$$\tau_0 = \frac{d_A - d_B}{c} \quad (5)$$

$\Gamma_{AB}(\tau)$ est donc, à un coefficient près, la fonction d'autocorrélation de $S_A(t)$ translattée de τ_0 . On a évidemment,

$$-\frac{D}{c} \leq \tau_0 \leq \frac{D}{c}, \quad d_A = \frac{c}{2} \tau_0 + \frac{D}{2}, \quad d_B = \frac{D}{2} - \frac{c}{2} \tau_0$$

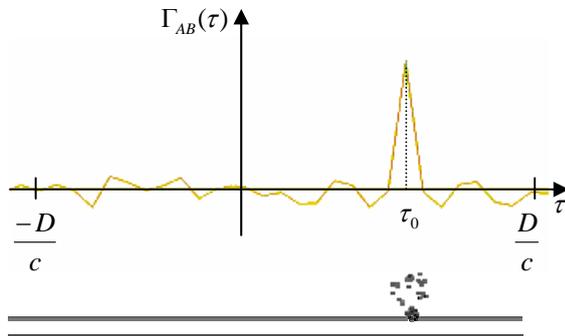


Fig. 3 La fonction d'autocorrélation des deux signaux de fuites et l'emplacement du pic de corrélation correspondant à la fuite sur un canal.

La relation (3) n'est vérifiée que pour des processus $S_A(t)$ et $S_B(t)$ stochastiques, stationnaires et ergodiques donc pour des vitesses constantes durant toute la durée d'observation. τ_0 étant la différence des temps de propagation. On constate, sur la figure 3, que l'emplacement du pic de corrélation est la position de la fuite. La fonction de corrélation est donc directement interprétable.

Les systèmes de détection à base de corrélation acoustique sont les plus performants. Leur grand avantage réside dans le fait qu'ils permettent la détection d'une fuite et sa localisation à distance, tout en évitant le déplacement de l'opérateur

III. ARCHITECTURE DU SYSTÈME

Le système de traitement des signaux de fuites, est structuré essentiellement autour d'un PC et d'un DSP à virgule fixe appelé TMS320C6201 appartenant à la famille TMS320C6000 de Texas Instrument (figure 3).

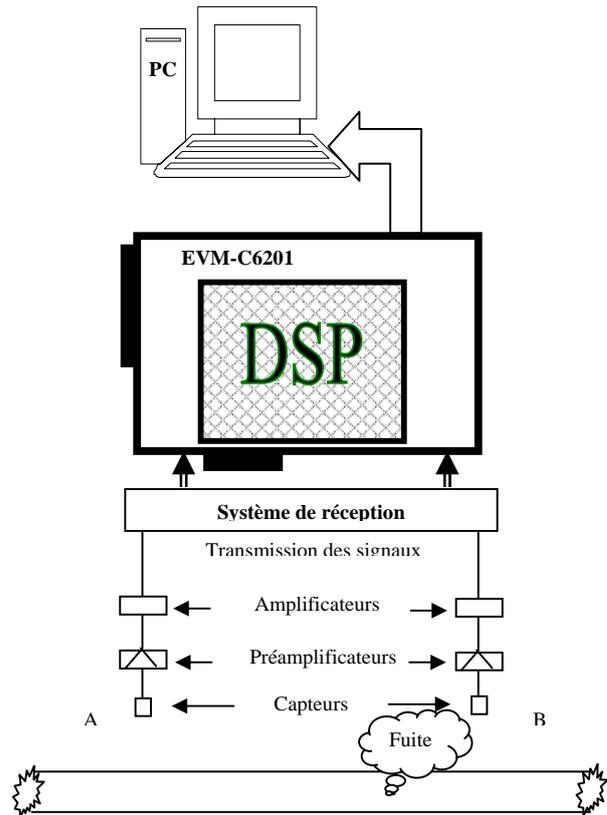


Fig. 4 Schéma du système de détection de fuites.

En effet, l'écoulement du fluide à travers l'orifice de fuite engendre un bruit qui se propage le long de la canalisation.

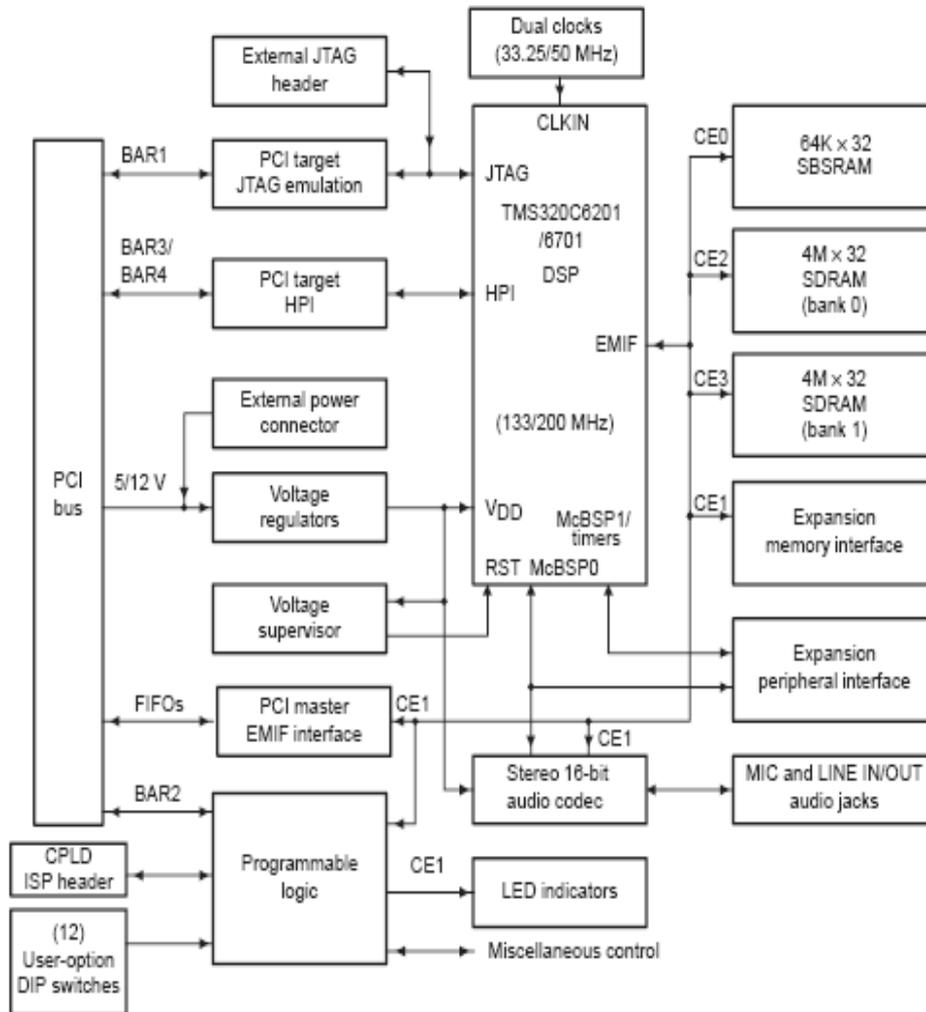


Fig. 5 Le schéma bloc de la carte d'évaluation de DSP TMS320C6201.

Il est transformé en signaux électriques aux points A et B par deux microphones, et transmis sous forme d'ondes radio vers la station de contrôle où se trouve le PC/DSP. Assumant la tâche d'esclave, une carte EVM C6201 assure l'acquisition des signaux et effectue le traitement. Le calcul réalisé consiste à exécuter la fonction d'intercorrélation entre les signaux captés aux points A et B. Le résultat obtenu permettra d'obtenir simultanément une confirmation de présence de la fuite, ainsi que sa localisation en repérant le décalage correspondant [20,7].

La carte d'évaluation du DSP TMS320C6201 contient le processeur, une mémoire RAM statique de 64Kx32, une mémoire dynamique de 2Mx32, un CODEC audio stéréo, le contrôleur PCI, l'alimentation, le port JTAG et deux connecteurs pour l'interface de l'extension de la mémoire et de la périphérie. Le connecteur d'extension de la périphérie permet les connexions d'une autre carte par l'intermédiaire de

deux ports séries. Les deux LED qui sont installées sur la carte de développement peuvent être commandées "soft" par l'utilisateur.

Par l'intermédiaire de l'interface PCI, on peut faire des échanges de messages et de données entre le processeur du signal et le microordinateur PC "hôte".

IV. SIMULATION SUR PC

La technique de corrélation employée est un algorithme exigeant en temps de calcul. Ceci nous a orienté à utiliser un DSP comme processeur spécialisé dont l'architecture est bien adaptée pour ce type d'algorithme de traitement. Dans ce travail, il s'agit de valider la technique de détection de fuite d'eau adaptée sur le TMS320C6201 et étudier les performances du système en terme de rapidité d'exécution.

A. Tests de validation

On utilise deux boucles pour le calcul de la fonction de corrélation. La boucle extérieure est exécutée (M+1) fois, alors que la boucle intérieure est exécutée M fois.

Pour le lancement du programme, l'utilisateur aura besoin d'introduire certains paramètres à savoir, le nombre d'échantillons N du signal à traiter, le nombre M qui représente la fenêtre de d'observation de la fonction de corrélation et qui doit être inférieur à N, ainsi que les retards prévus R1 et R2 sur les deux signaux.

Des exemples de détection de fuites sont considérés:

Premier Cas : Dans ce cas, la fonction d'intercorrélation des signaux transmis par une fuite au milieu d'une canalisation a une valeur maximale à l'origine, et qui tend vers zéro aux autres points. L'abscisse du pic de la fonction de corrélation, correspondant à la position de la fuite, est donc placée au milieu de la conduite.

Deuxième Cas : L'abscisse du pic de la fonction d'intercorrélation correspond à la position de la fuite où le signal transmis arrive au point A avant le point B. Dans ce cas, cette fuite est plus proche du point A.

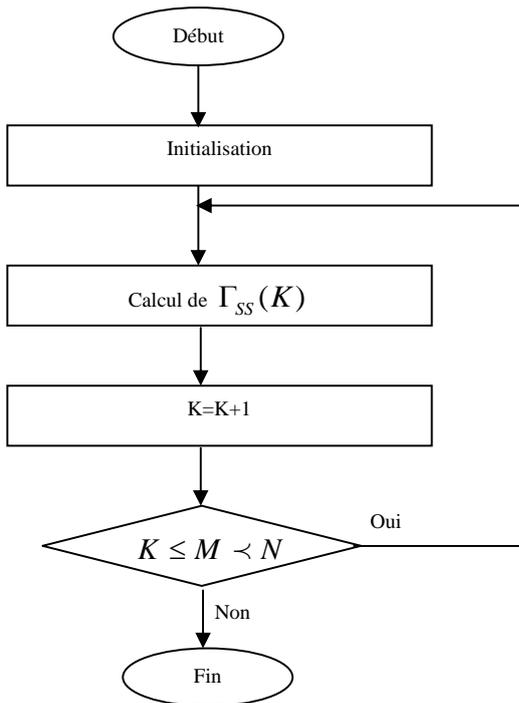
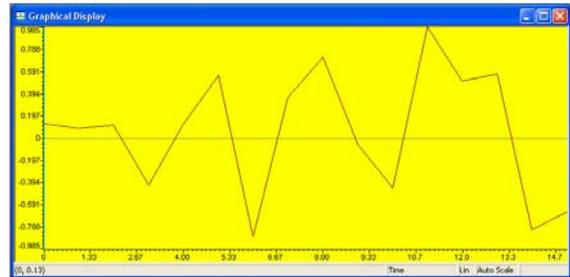


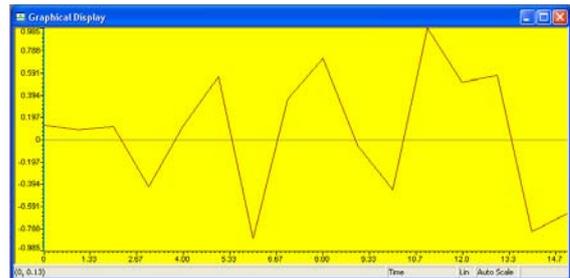
Fig. 6 Structure générale du programme de calcul de la fonction corrélation.

B. Détection d'une fuite au milieu de la conduite (R1= 0; R2= 0)

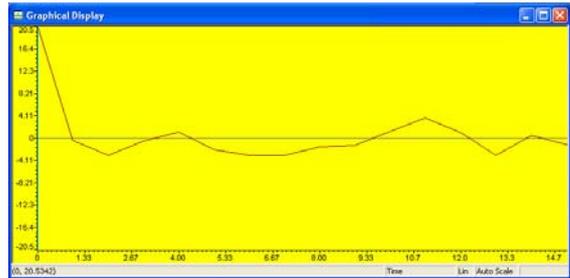
Cas d'un nombre d'échantillons N = 64



(a) Le signal s [N]



(b) Le signal y [N].



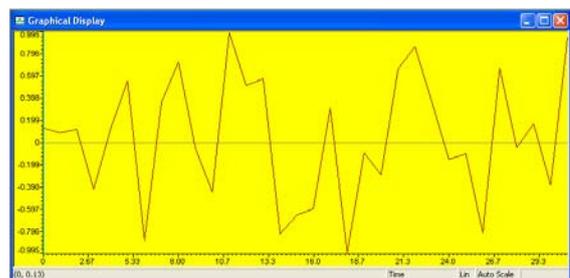
(c) La corrélation c [M] après l'exécution du programme.

Fig. 7 Détection d'une fuite au milieu de la conduite.

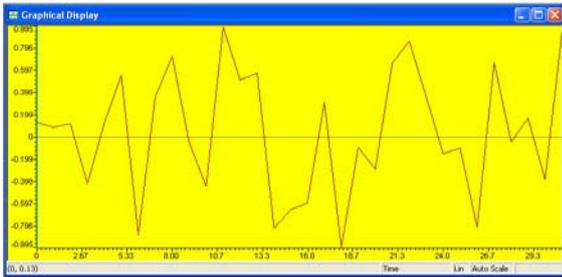
Le nombre de cycle d'horloge obtenu après exécution: 183083

Le temps d'exécution = 183083 x 5ns = 915415ns

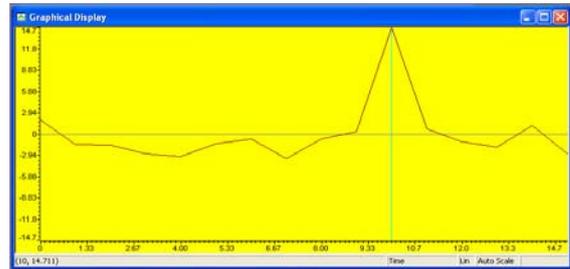
Cas d'un nombre d'échantillons N = 128



(a) Le signal s [N].



(b) Le signal y [N].

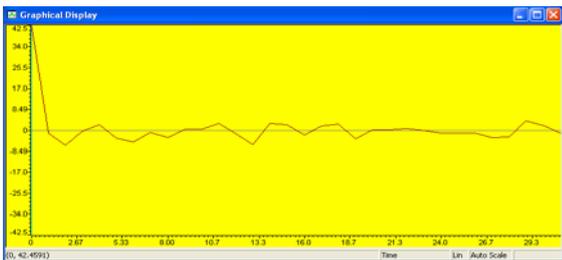


(c) La corrélation c [M] après l'exécution du programme.

Fig. 9 Détection d'une fuite localisée à une position différente du milieu de la conduite.

Le nombre de cycle d'horloge obtenu après exécution : 160357
 Le temps d'exécution = $160357 * 5ns = 801785 ns$.

Cas d'un nombre d'échantillons $N = 128$



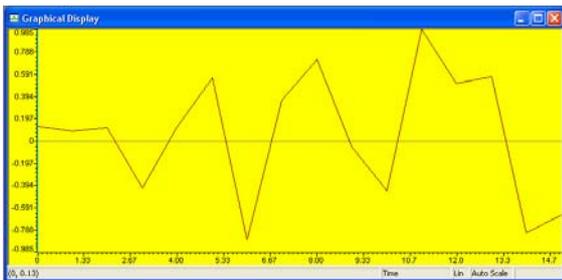
(c) La corrélation c [M] après l'exécution du programme.

Fig. 8 Détection d'une fuite au milieu de la conduite.

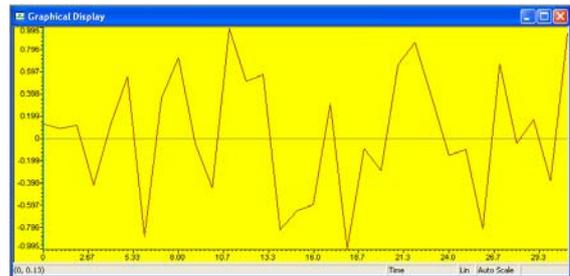
Le nombre de cycle d'horloge obtenu après exécution: 722751
 Le temps d'exécution = $721751 * 5ns = 3628755ns$.

C. Détection d'une fuite localisée à une position différente du milieu de la conduite (R1= 10; R2= 20)

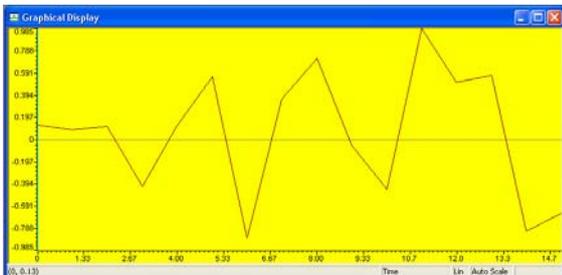
Cas d'un nombre d'échantillons $N = 64$



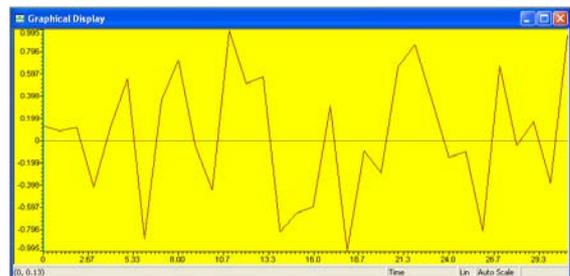
(a) Le signal s [N].



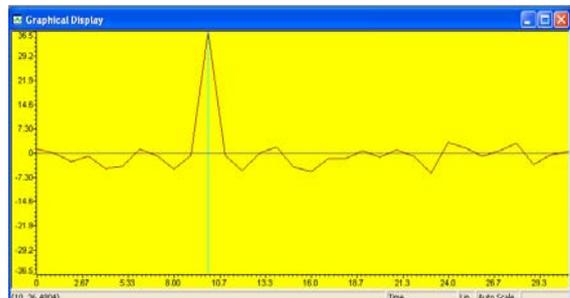
(a) Le signal s [N].



(b) Le signal y [N].



(b) Le signal y [N].



(c) La corrélation c [M] après l'exécution du programme.

Fig. 10 Détection d'une fuite localisée à une position différente du milieu de la conduite.

Le nombre de cycle d'horloge obtenu après exécution: 702236
 Le temps d'exécution = $702236 \times 5\text{ns} = 3511180\text{ns}$.

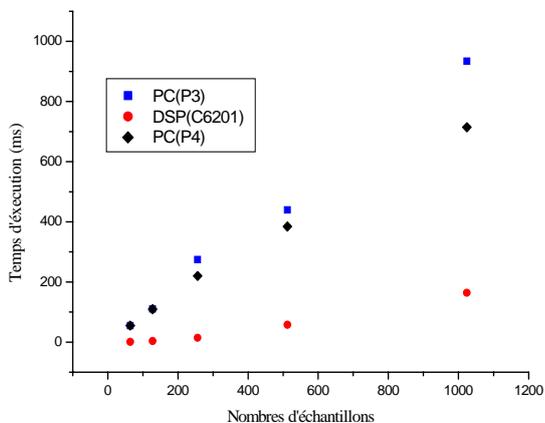


Fig. 11 Temps d'exécution sur le processeur TMS320C6201, et les microordinateurs P3 et P4.

D. Interprétation de résultats

Nous remarquons que le temps d'exécution croît avec l'augmentation du nombre d'échantillons. Le pic de la fonction corrélation nous donne la position précise de la fuite située entre les deux capteurs.

E. Rapidité

En vue d'une évaluation en matière de vitesse de calcul du DSP choisi, nous avons effectué une comparaison directe des temps de calcul de la fonction corrélation exécutée à la fois par les PC Pentium 3 (1 GHz), Pentium 4 (1.7 GHz) et le processeur TMS320C6201 pour un nombre d'échantillons $N = 64, 128, 256, 512$ et 1024 . Selon le graphe obtenu à la figure 11, nous remarquons que le temps d'exécution sur DSP est plus court que celui obtenu sur les deux types de PC, confirmant ainsi la supériorité du DSP.

V. CONCLUSION

La technique de la corrélation acoustique a été adoptée dans cet article comme méthode de détection. Elle a été implémentée sur deux PC (P3 et P4) et le DSP TMS320C6201. La fuite d'eau a été simulée par un signal aléatoire se propageant dans les deux sens sur la conduite donnant naissance à deux signaux décalés dans le temps. L'algorithme implémenté est ainsi testé avec ces deux signaux. La fonction corrélation obtenue nous a permis de localiser la fuite à travers le pic de la corrélation obtenue. Des tests de simulation ont par la suite confirmé le bon fonctionnement du programme élaboré à l'aide d'exemples de signaux ayant un nombre d'échantillons variant de 64 à 1024. Enfin une comparaison en terme de temps de calcul entre le DSP et les PC effectuée confirme la supériorité du DSP.

RÉFÉRENCES

- [1] Texas Instruments, "TMS320C6201 fixed-point digitql sgnql processor", March 2004.
- [2] Texas Instrument, "TMS320C6000 Peripherals Reference Guide", February 2001.
- [3] Texas Instrument, "TMS320C62xx CPU and Instruction Set Reference Guide", revision A, July 1997.
- [4] Texas Instrument, "TMS320C6201/6701 Evaluation Module User's Guide", February 2001.
- [5] Panos Papamichalis, Ray Simar, "The TMS320C30 Floating-Point Digital Signal Processor", IEEE Micro, December 1988, pp 13-29.
- [6] Rulph Chassing, "A Senior Project Course in Digital Signal Processing with the TMS320", IEEE Trans.on Education, Vol. 32, No. 2, May 1989, pp 139-145.
- [7] NAT Seshan, "High veloci TI processing", IEEE Signal Processing Magazine, March 1998, pp 86-117.
- [8] Kun-Shan Lin, Gene A. Frantz et Ray Simar, "The TMS320 Family of Digital Signal Processors", Proc. of the IEEE, Vol. 75, No. 9, September 1987, pp 1143-1159.
- [9] C. K. Tse and C. Y. Tam, "A Quasi-Linear Controller for DC/DC Converter Using a TMS320 Digital Signal Processor", 25th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol.2, 20-25 Jun 1994, pp 1040-1045
- [10] Jun Zhang, Pu Han, Ruixin Li et Dongfeng Wang, "TMS320 DSP Based Wavelet Packet Decompose on Vibration Signature Analysis of Turbine", IEEE, 2003, pp 1181-1186.
- [11] Zhou Yao, Hu Qiansheng, "Implementation of the Induction Machine Broken-Bars Fault Diagnosing Instrument Using TMS320 Digital Signal Processor", Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems ICEMS 2005, Vol. 3, 27-29 Sept. 2005, pp 2282-2285.
- [12] Sen M. Kuo, Gerald D. Miller, " An Innovative Course Emphasizing Real-Time Digital Signal Processing Applications", IEEE Trans.on Education, Vol. 39, No. 2, May 1996, pp 109-113.
- [13] Victor E. DeBrunner, Linda S. DeBrunner, Sridhar Radhakrishnan, and A. Kamal Khan, "The Telecomputing Laboratory: A Multipurpose Laboratory", IEEE Trans.on Education, Vol. 44, No. 4, Nov. 2001, pp 302-310.
- [14] Frederik Vermeulen, Francky Catthoor, Lode Nachtergaele, Diederik Verkest, and Hugo De Man, "Power-Efficient Flexible Processor Architecture for Embedded Applications", IEEE Trans. On VLSI systems, Vol. 11, No. 13, June 2003, pp. 376 - 385.
- [15] Ruixin Li, Taiyong Wang, Jun Zhang, Pu Han, Lijing Zhang, " TMS320 DSP Based Neural Networks On Fault Diagnostic System of Turbo-Generator ", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, 5-8 Oct. 2003, pp. 3781-3786.
- [16] Won-Sik Baik, Min-Huei Kim, Nam-Hun Kim, Dong-Hee Kim, Kyeong-Ho Choi, Don-Ha Hwang, Jung-Soo Jang, "Improved Rotor Position Estimation for the Sensorless Control System of SRM", IEEE ISIE 2005, June 20-23, 2005, Dubrovnik, Croatia, pp. 877-880.