

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA

**Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Mécanique**

MEMOIRE

Présenté pour l'Obtention du Diplôme de

MAGISTER

**En Génie Mécanique
Option : Energétique**

Par :

BENTOUMI Miloud

THEME

ETUDE ET CONCEPTION D'UN SYSTEME DE DETECTION DE FUITES SUR LES CANALISATIONS D'EAU

Soutenu le : / / 2005

Devant le Jury :

Dr.Y.BENARIOUA	M.C	Président	Université de M'sila
Dr. M. BOUAMAR	M.C	Rapporteur	Université de M'sila
Dr. D. CHIKOUCHE	M.C	Examineur	Université de Sétif
Dr. A. TAIBI	C.C	Examineur	Université de M'sila

RESUME :

Le thème proposé s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche agréé par le MESRS portant sur la détection de fuites. Il s'agit d'étudier et de concevoir un système de détection de fuites apparaissant au niveau des canalisations d'eau. Celui-ci permet le captage et l'analyse des signaux émis par la fuite dans le but d'une localisation à distance. La conception du système proposé est essentiellement basée sur une technique appelée : technique de corrélation acoustique. Des tests de validation et d'analyse des performances sont effectués à partir d'une étude en simulation.

ملخص :

الموضوع المقترح مسجل في إطار مشروع بحث معتمد من طرف (MESRS)
المتعلق بـ : كشف التسربات . وهو عبارة عن دراسة وإنجاز نظام كشف لتسربات السوائل
التي تظهر في القنوات ، هذا النظام يسمح بالتقاط وتحليل الإشارات المنبعثة من فتحة
التسرب من أجل تحديد موقعها عن بعد. يعتمد إنجاز النظام المقترح أساساً على تقنية
تسمى : تقنية المطابقة الصوتية . تجارب تأكيد صلاحية وفعالية النظام منجزة عن طريق
المحاكات (دراسة تمثيلية)

ABSTRACT

The suggested theme can be inscribed within a research project agreed by MESRS it deals the detection of leakages, it concerns the study and the conception of a system of detection of leakages (drains) of waters which appear in canalizations (pipelines). This permits to catch or (the capture) and analysis of the signals caused by the leakage in order to localize it from distance. The analysis of the suggested system is essentially based on a technique named: ACOUSTIC CORRELATION TECHNIQUE. Validation of performances tests are done on the basis of a study on simulation

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
 CHAPITRE I : FUITES ET DETECTION DE FUITES SUR LES CANALISATIONS D'EAU	
INTRODUCTION.....	4
1- NOTIONS GENERALES SUR LA MECANIQUE DES FLUIDES.....	4
1.1 Définition d'un fluide	4
1.2 Définition d'un liquide.....	4
1.3 Définition d'un gaz.....	5
1.4 Propriétés physiques des fluides.....	5
1.5 Propagation des ondes dans les fluides.....	6
1.5.1 Vitesse de propagation d'un ébranlement dans un fluide.....	6
1.5.2 Vitesse de propagation de l'onde dans un liquide en écoulement contenu dans une conduite	7
2- LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU.....	10
2.1 Réseau extérieur de distribution.....	10
2.2 Réseau intérieur de distribution.....	12
3- LES CANALISATIONS.....	12
3.1 Débit et vitesse moyenne.....	13
3.2 Profil en travers.....	13
3.3 Nature des canalisations.....	13
3.3.1 Tubes métalliques.....	14
a- Tubes en fonte.....	14
b- Tubes en acier.....	14

c- Tubes en plomb.....	14
3.3.2 Tubes à base de ciment.....	15
a- Tubes en béton armé.....	15
b- Tubes en béton précontraint.....	15
c- Tubes en amiante-ciment.....	15
3.3.3 Tubes en matière plastique.....	15
a- Tubes en polyéthylène.....	15
b- Tubes en PVC.....	16
c- Tubes de plastique thermodurcissable renforcé.....	16
4- DESCRIPTION DES FUITES.....	17
4.1 Définition d'une fuite.....	17
4.2 Causes et origines des fuites.....	18
4.2.1 Bilans d'eau.....	18
4.2.2 Détection de fuites.....	19
5- MATERIEL ET TECHNIQUES DE DETECTION DES FUITES.....	20
5.1 Techniques acoustiques de détection - Les corrélateurs.....	20
5.2 Techniques non acoustiques de détection.....	21
5.2.1 La technique du Gaz traceur.....	21
5.2.2 La thermographie.....	22
5.2.3 Le Géo radar.....	22
CONCLUSION.....	22

CHAPITRE II LES DETECTEURS DE FUTES

INTRODUCTION.....	23
1. DETECTEURS TRAVAILLANT SELON LE PRINCIPE DE L'ECOUTE DE BRUITS CAPTES	23
1.1 Le Détecteur AQUAPHON –F.....	23
1.1.1 Principe.....	24
1.1.2 Caractéristiques techniques des récepteurs AQUAPHON- F.....	25
1.1.3 Avantages.....	25
1.2 Le Détecteur DF JUNIOR.....	25
1.2.1 Présentation de l'appareil.....	25
1.2.2 Principe de détection.....	26
1.2.3. Caractéristiques techniques.....	26
1.3 Le Détecteur HL400 - seba KMT.....	27
1.3.1. Présentation de l'appareil.....	27
1.3.2 Caractéristiques techniques.....	27
1.4 Le Détecteur HL 4000.....	28
1.4.1 Présentation de l'appareil.....	28
1.4.2 Caractéristiques techniques.....	28
1.5 Le Détecteur PERMALOG.....	28
1.5.1 Principe de fonctionnement.....	28
1.5.2 Avantages.....	29
1.5.3 Caractéristiques techniques.....	30
2. DETECTEURS TRAVAILLANT SELON LE PRINCIPE DE LA CORRELATION ACOUSTIQUE	31
2.1 Technique de la corrélation acoustique.....	31

2.1.1 Le corrélateur.....	31
2.1.2 Avantages.....	31
2.2 Position de la fuite.....	32
2.3 Exemples de détecteurs.....	33
2.3.1 Le Détecteur DF 3000.....	33
2.3.2 Le Détecteur SeCorr 05.....	34
2.3.3 Le Détecteur SeCorr 08.....	36
2.3.4 Le Détecteur Micro CALL Super Tx.....	37
CONCLUSION.....	39

CHAPITRE III SYSTEME A DSP POUR LA DETECTION DE FUTES

INTRODUCTION.....	40
1. SCHEMA FONCTIONNEL DU SYSTEME.....	40
2. ARCHITECTURE DU SYSTEME.....	42
2.1 Le microprocesseur ADSP-2100.....	43
2.2. Interface d'acquisition.....	46
2.2.1 Procédé d'acquisition.....	47
2.2.2 Mise en œuvre du programme.....	47
3. TRAITEMENT DES SIGNAUX DE FUTES.....	49
3.1 Technique de la corrélation acoustique.....	49
3.2 Mise en œuvre du programme.....	53
CONCLUSION.....	54

CHAPITRE IV EVALUATION DES PERFORMANCES

INTRODUCTION.....	55
1. SIMULATION.....	55
1.1 Outil de développement.....	55
1.2 Procédé de simulation.....	56
2. TEST DE FONCTIONNEMENT.....	58
3. EVALUATION DES PERFORMANCES.....	58
3.1 Précision.....	59
3.2 Rapidité.....	60
4. EXTENSION ET AMELIORATIONS.....	61
4.1 Extension multivoie.....	61
4.1.1 Analyse.....	62
4.1.2 Tests de validation.....	65
4.2 Améliorations.....	67
CONCLUSION.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	69
REFERENCES.....	72

INTRODUCTION GENERALE

Le transport et/ou la distribution de fluides (liquides ou gaz) acquiert depuis ces dernières décennies une importance particulière. Pour les responsables de réseaux de distribution, l'amélioration du rendement d'un réseau a toujours été un souci majeur. L'installation de réseaux de transport ou de distribution s'est toujours trouvée confrontée à de nombreux problèmes d'exploitation. En plus des fuites, comme étant la première cause aux problèmes d'environnement et aux pertes économiques, s'ajoutent les risques pour la santé publique qu'engendre la pénétration des contaminants dans les réseaux dès qu'une chute de pression se produit. 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 de réseau.

Les fuites peuvent avoir différentes causes et origines, généralement dues aux mauvaises exécutions des branchements, à la mauvaise qualité de matériaux, aux erreurs de pose, la corrosion interne et externe de conduites qui conduit avec le temps à la diminution de l'épaisseur des tubes et leur résistance. Les réseaux de distribution de par le monde souffrent des mêmes problèmes posés par ces fuites. Il est signalé que l'Association Internationale de Distribution d'Eau AIDE, a réalisé en 1991 une étude selon laquelle, la quantité d'eau perdue transportée par les réseaux de distribution, se situerait entre 20 et 30% de la production totale. Au niveau de notre territoire national le problème est plus accentué, puisque d'après le bilan des résultats de gestion technique des établissements de l'eau établi par l'Agence nationale de l'Eau Potable et Industrielle et de l'assainissement AGEPI, il ressort que le rendement moyen des réseaux est de l'ordre de 60% ; certains réseaux enregistrent même des taux avoisinant les 40%, c'est à dire que le pourcentage des pertes d'eau par ces fuites est de 40 à 60%. Devant toutes ces contraintes à la fois sur l'économie et la santé publique, il est important d'agir à la nécessité d'économiser cette ressource naturelle indispensable à la vie. Les exploitants de réseaux d'aqueduc doivent mettre en place des programmes de contrôle comportant deux volets principaux : la surveillance des débits et la détection de fuites. Les programmes de surveillance des débits supposent faire le relevé précis de l'écoulement aux points d'entrée et de sortie de réseaux de distribution ou dans des tronçons déterminés. Ces vérifications permettant de déceler les

sections où les fuites sont abondantes. Ne permettant malheureusement pas de connaître l'endroit précis des pertes d'eau, c'est alors qu'entre en jeu la détection des fuites.

Dans les études de détection, plusieurs méthodes et techniques (détecteurs) ont été mises en œuvre afin de réduire les pertes par ces fuites. Parmi ces techniques, on trouve des techniques basées sur l'écoute du bruit de la fuite qui se propage dans la conduite. Les différents détecteurs existants comme par exemple (AQUAPHON-F et DF JUNIOR) restent sensibles à n'importe quel bruit, et nécessitent de l'opérateur des déplacements pour localiser exactement ces fuites. Des techniques modernes basées sur l'analyse des signaux émis par une fuite utilisent d'autres types de détecteurs tels que : SeCorrX et MicroCALL, qui évitent le déplacement de l'opérateur mais présentent l'inconvénient d'être chers et limités pour la détection d'une seule fuite.

De ces inconvénients que vient l'objet de notre travail. Il s'agit d'une contribution qui consiste en la proposition d'un système de détection de fuites répondant aux critères de performances qualifiant les détecteurs modernes, et justifiant d'un moindre prix pour une détection de plusieurs fuites (traitement multicanaux). Nous proposons alors une étude et conception d'un système de détection vérifiant les critères énoncés et adapté pour d'éventuelles extensions. Nous nous limitons dans ce mémoire à valider le choix d'une architecture de traitement basée sur le même principe utilisé par les détecteurs SeCorrX et MicroCALL mais répondant aux critères de performances énoncés. L'architecture proposée est de type PC/DSP, Maître-Esclave, où le PC joue le rôle du Maître et sert à superviser le fonctionnement général, et le DSP qui assume la tâche d'esclave et assure l'acquisition des signaux de fuite avec leur traitement. Le DSP envisagé dans cette application a été choisi parmi les DSP à virgule fixe. Une solution vue comme intermédiaire entre les processeurs classiques (Pentium I, II, III, ...) moins chers et moins rapides, et les DSP flottants plus rapides mais plus onéreux.

Le travail effectué dans ce mémoire est axé autour de quatre chapitres présentés comme suit :

Le premier chapitre décrit quelques généralités sur les fluides et leurs caractéristiques, ainsi que les différentes canalisations d'eau potable utilisées à cet effet. Les méthodes et techniques utilisées pour la localisation et la détection des fuites font l'objet d'une description particulière.

Dans le second chapitre, nous présentons les principaux appareils permettant une détection efficace de ces fuites. Les dispositifs en question captent d'une manière générale les bruits ou les vibrations émis par l'eau, s'échappant sous pression des canalisations. Ils sont classés en deux principales catégories : les détecteurs à base d'écoute de bruit acoustique, et les détecteurs à base de corrélation acoustique.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une description détaillée du système de détection proposé. Le schéma fonctionnel général, ainsi que l'architecture du microsystème DSP sont présentés. La technique de corrélation acoustique utilisée dans la détection des fuites est aussi développée et traitée. Les procédés d'acquisition et de traitement sont décrits à travers le développement d'un programme en langage assembleur du DSP utilisé.

Enfin le dernier chapitre est dédié à l'évaluation des performances du système de détection proposé. Il s'agit de valider principalement le choix du DSP utilisé en respectant les critères énoncés. Nous procédons par simulation aux tests de fonctionnement et de validation des programmes ainsi développés. Le but est de tester dans un premier temps le bon fonctionnement des programmes d'acquisition et de traitement. Leur validation du point de vue performances en matière de précision et de rapidité de calcul est particulièrement opérée. Une amélioration des performances du système dans le but d'un traitement de plusieurs fuites est enfin proposée.

CHAPITRE 1

FUITES ET DETECTION DE FUITES SUR LES CANALISATIONS D'EAU

INTRODUCTION

Les réseaux de distribution en eau constituent l'ensemble des canalisations interconnectées entre elles, et qui font suite à la bache principale. Ils sont utilisés pour permettre le transport et la distribution en eau aux différents consommateurs. Cependant une forte proportion d'eau se perd à cause des fuites durant le transport entre les usines de traitement et les différents points de consommation. Selon une enquête réalisée en 1991 par l'association internationale de distribution d'eau (AIDE), la quantité d'eau perdue par ces réseaux se situerait entre 20 et 30 % de la production totale. C'est la raison pour laquelle les exploitants ont été poussés à installer différents moyens permettant de détecter ces fuites dans le but d'améliorer le rendement qui présente pour eux un souci majeur.

Ce chapitre décrit quelques généralités sur les fluides et leurs caractéristiques, ainsi que les différentes canalisations d'eau potable utilisées à cet effet. Les méthodes et techniques utilisées pour la localisation et la détection des fuites font l'objet d'une description particulière.

1- NOTIONS GENERALES SUR LA MECANIQUE DES FLUIDES

1.1 Définition d'un fluide

Un fluide est un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité, qui peut s'écouler, c'est-à-dire, subir de grandes variations de forme sous l'action de forces qui sont d'autant plus faibles que ces variations sont plus lentes. La notion de fluide s'oppose à celle de solide. Cependant l'un et l'autre sont considérés comme formés d'un grand nombre de particules matérielles extrêmement petites qui sont :

- solidement liées entre elles dans le cas des solides,
- libres de se déplacer les unes par rapport aux autres dans le cas des fluides.

La limite entre solide et fluide est toutefois difficile à préciser. Parmi les fluides on distingue les liquides et les gaz [1].

1.2 Définition d'un liquide

Un liquide est un fluide occupant un volume déterminé, ou du moins ce volume ne peut varier que très peu, et seulement sous l'action de fortes variations de pression ou de température [1].

1.3 Définition d'un gaz

Un gaz occupe toujours le volume maximal qui lui est offert. C'est un fluide essentiellement compressible (ou expansible) [1].

1.4 Propriétés physiques des fluides

Les propriétés les plus importantes du point de vue mécanique sont :

L'isotropie, la mobilité, la viscosité, et la compressibilité [1].

ISOTROPIE : Un fluide est dit isotrope si ses propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace.

MOBILITE : La différence entre le comportement physique des liquides et des gaz se manifeste principalement dans le phénomène d'expansion. Sous l'influence de la force de gravité, une certaine quantité de liquide versée dans un récipient remplit le fond du récipient et forme une surface horizontale libre. Par contre, un gaz remplit la totalité d'un espace fermé auquel il a accès. Les gaz sont donc expansibles et les liquides ne le sont pas. Ce comportement est étroitement lié à la compressibilité [2].

COMPRESSIBILITE : Celle-ci peut être assimilée à la résistance du fluide à un changement de volume. Les liquides ont une compressibilité très faible. Les forces qui s'opposent à un changement de volume sont très puissantes. A l'opposé, la compressibilité des gaz est très élevée. En d'autres termes, les liquides peuvent être considérés comme hautement incompressibles, et les gaz comme hautement compressibles. Si dM est la masse de toutes les molécules d'une particule de fluide d'un volume dV nous pouvons écrire :

$$dM = \rho \, dV \quad (1.1)$$

Où ρ est la densité, elle s'exprime en kg m^{-3} . Pour un gaz ou un liquide continu, il faut que $\rho(r,t)$ puisse être exprimée à tout instant t et en chaque point r d'un repère quelconque comme une fonction de position continûment dérivable. Conformément à la définition de la compressibilité d'un fluide, la densité d'un gaz peut varier plus facilement que celle d'un liquide. Si les variations de densité d'une particule de fluide sont petites lors de son déplacement, de telle manière que la densité de la particule reste pratiquement constante, l'écoulement est appelé incompressible. Dans ces conditions, il est possible de considérer les écoulements d'un gaz ou d'un liquide de la même

façon. Par contre lorsque les effets dus à la compressibilité d'un gaz dans l'écoulement sont importants, c'est-à-dire quand la densité d'une particule de fluide n'est pas constante, on parle d'écoulement compressible. En un point d'un fluide au repos, il existe seulement une force normale à toute surface d'orientation arbitraire autour du point considéré. Cette force est de nature compressive et non tractive. Exprimée par unité de surface, elle est ainsi définie comme la pression hydrostatique. L'absence de forces tangentielles à la petite surface est dans une situation statique, une propriété unique aux fluides [2].

VISCOSITE : Désignant la capacité d'un fluide à s'écouler, la viscosité est une propriété commune à tous les fluides. Elle est l'une des causes de la résistance qui apparaît en écoulement d'un fluide dans les conduites. Elle constitue une résistance à la déformation ou au glissement relatif de ses couches (les couches de fluide disposées plus près de la paroi ralentissent les couches supérieures). [3]

Selon la loi de Newton, la relation entre une contrainte de cisaillement t (une force tangentielle exprimée par unité de surface) et un gradient de vitesse, est linéaire [2],

$$t = m \frac{U}{L} \quad [\text{N m}^{-2}] \quad (1.2)$$

Où U représente une vitesse, et L une longueur caractéristiques de l'écoulement, telle que $\frac{U}{L}$ symbolise un gradient de vitesse qui s'exprime en s^{-1} ; et m est la viscosité dynamique du fluide exprimée en Nsm^{-2} .

1.5 Propagation des ondes dans les fluides

Le phénomène de propagation des ondes dans les fluides est sous la dépendance directe de la compressibilité des fluides.

1.5.1 Vitesse de propagation d'un ébranlement dans un fluide

Considérons un ébranlement (une dépression $\mathbf{dp}$ par exemple) qui se déplace à la vitesse $\mathbf{C}$ dans un fluide caractérisé par une pression $\mathbf{p}$, une masse volumique ρ , et une vitesse $\mathbf{a}$. L'onde provoque à son passage des modifications $\mathbf{dp}$, $\mathbf{d\rho}$, et $\mathbf{da}$ figure (1.1a). Ces variables sont liées par les bilans de matière et de quantité de mouvement sur un volume de référence (en pointillés) autour de l'onde de dépression qui se déplace avec cette onde. Le mouvement relatif du fluide par rapport à l'onde est alors schématisé sur la figure (1.1b) [4].

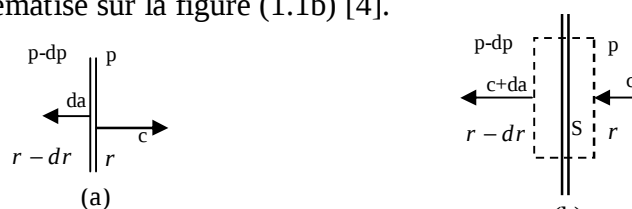


Figure 1.1 (a,b)

L'équation de conservation s'écrit :

$$\rho C S - (\rho - d\rho)(C + da) S = 0 \quad (1.3)$$

soit en négligeant les termes d'ordre supérieur :

$$C d\rho - \rho da = 0 \quad (1.4)$$

De même, le théorème d'Euler conduit à :

$$\rho S C (-C - da) - \rho S C (-C) = (p - dp) S - p S \quad (1.5)$$

$$\text{Soit :} \quad \rho C da = dp \quad (1.6)$$

L'élimination de **da** entre les relations (1.4) et (1.6), conduit à :

$$C^2 = \frac{dp}{d\rho} \quad (1.7)$$

La vitesse de propagation de l'onde est donc :

$$C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (1.8)$$

Remarque : cette démonstration s'applique au calcul de la vitesse de propagation de l'onde dans un fluide en écoulement dans une conduite de section S.

1.5.2 Vitesse de propagation de l'onde dans un liquide en écoulement contenu dans une conduite

Reprenons la démonstration précédente et tenons compte de la variation de section de la conduite de part et d'autre du front de l'onde. Sous l'action de la pression p, la paroi intérieure de la canalisation est soumise à une contrainte [4] :

$$\sigma = \frac{pD}{2e} \quad (1.9)$$

avec :

D = diamètre intérieur de la canalisation,

e = épaisseur de la paroi.

La variation de pression (dépression **dp**) entraîne une variation **dσ** de la contrainte et on a :

$$d\sigma = -\frac{D}{2e} dp \quad (1.10)$$

Le décroissement de contrainte **dσ** (effort) entraîne un décroissement du diamètre **dD** (déformation) donné par la loi de Hooke :

$$d\sigma = -E \frac{dD}{D} \quad (1.11)$$

avec :

E = module de Young ou module d'élasticité de la paroi de la canalisation.

La dilatation est purement transversale, et il n'y a pas de dilatation longitudinale, c'est-à-dire, que la canalisation est constituée de tubes juxtaposés figure (1.2)

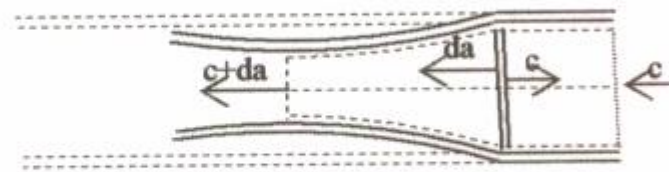


Figure 1.2, Comportement de la canalisation

Des relations précédentes, on déduit :

$$\frac{dD}{D} = -\frac{ds}{E} = \frac{Ddp}{2eE} \quad (1.12)$$

Le décroissement de diamètre dD entraîne un décroissement de section dS tel que :

$$\frac{dS}{S} = 2 \frac{dD}{D} = \frac{Ddp}{eE} \quad (1.13)$$

L'équation de conservation (en négligeant les termes d'ordre supérieur) :

$$\rho C dS - \rho S da + CS dp = 0 \quad (1.14)$$

et d'après le théorème d'EULER :

$$-\rho C S da = -pdS - Sdp \quad (1.15)$$

En éliminant da entre les relations (1.14) et (1.15), et en remplaçant $\frac{dS}{S}$ par sa valeur obtenue en (1.13), on obtient :

$$\rho C^2 = \frac{1 + \frac{pD}{eE}}{\frac{1}{dp} \cdot \frac{dp}{\rho} + \frac{D}{eE}} = \frac{1 + \frac{pD}{eE}}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{eE}} \quad (1.16)$$

La vitesse de propagation de l'onde ($\frac{pD}{eE}$ est négligeable devant 1) est donc :

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{eE})}} \quad (1.17)$$

ρ = Masse volumique du liquide (par exemple, l'eau à 20°C est 760mm Hg,
 $= 998,2 \frac{kg}{m^3}$

ε = Module d'élasticité cubique du liquide (l'eau à 20 °C, $\varepsilon = 2,2 \cdot 10^9$ Pa).

D = Diamètre intérieur de la conduite,

e = Epaisseur de la conduite,

E = Module de Young ou module d'élasticité en traction du matériau conduite.

Le tableau 1.1 donne la valeur de E pour différents types de matériaux :

Matériaux	E (Pa)
Acier	$(1,87 \div 2,16) \cdot 10^{11}$
Fonte	$(0,88 \div 1,47) \cdot 10^{11}$
Plomb	$(0,69 \div 0,71) \cdot 10^{11}$
Béton armé	$(2,31 \div 3,2) \cdot 10^{10}$
Béton précontraint	$2,08 \cdot 10^{10}$
Amiante – ciment	$1,89 \cdot 10^{10}$
PVC	$(2,6 \div 4,16) \cdot 10^9$
Polyéthylène	$(1,39 \div 2,08) \cdot 10^9$

Tableau 1.1

2 LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU

2.1 Réseau extérieur de distribution

Divisé en deux types, maillé dans les grandes agglomérations de population (villes), où ramifié dans les villages figure (1.3) [5].

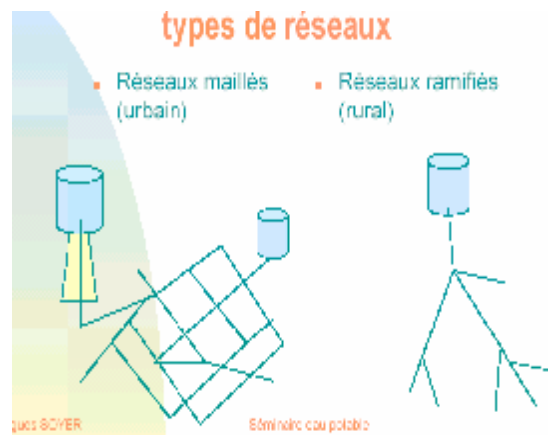


Figure 1.3, types de réseaux

Soit par exemple, une petite agglomération dont la configuration est représentée à la figure(1.4)

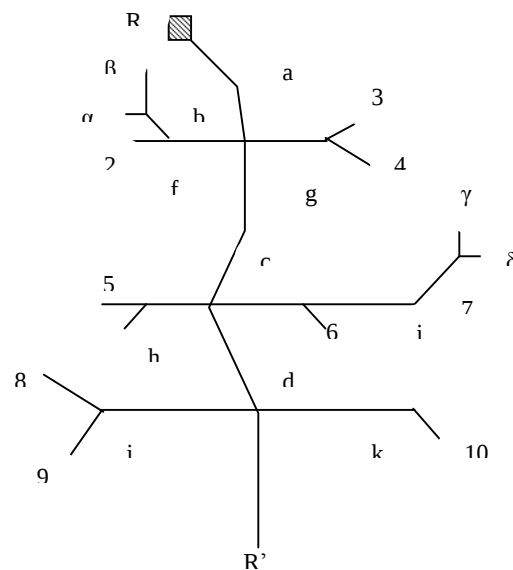


Figure 1.4 –Représentation d'un réseau ramifié

Une canalisation maîtresse est prévue dans la rue principale **a b c d e**; sur cette conduite seront branchées des canalisations secondaires **f g h i** et **j k**, alimentant elles-mêmes des canalisations tertiaires numérotées de 1 a 10 sur lesquelles seront piquées des canalisations quaternaires référencées de α à γ . Ce réseau est dit ramifié. Une pareille disposition présente un grave défaut. L'écoulement de l'eau s'effectue dans le réseau constamment dans le même sens, et il en résulte

que, lorsqu'un arrêt se produit en un point quelconque, toutes les conduites placées en aval se trouvent privées d'eau.

Cet inconvénient est supprimé en assurant l'alimentation en retour de la canalisation primaire et des canalisations secondaires, c'est-à-dire en faisant en sorte qu'elles puissent recevoir l'eau dans un sens opposé au précédent. A cet effet, il y a lieu de prévoir deux nouvelles canalisations : **a g i k e** et **a f j e** figure (1.5).

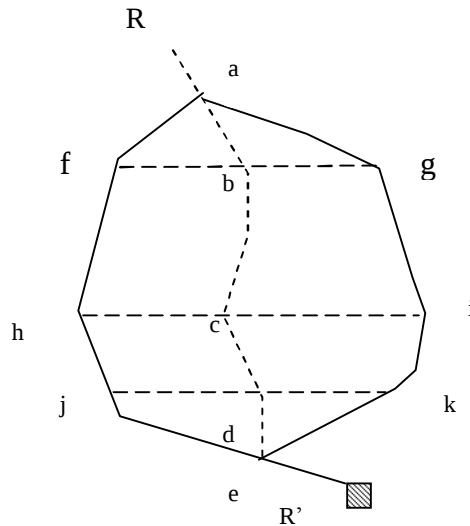


Figure1.5 -Schéma de réseau maillé

Les canalisations tertiaires et quaternaires alimentant de petites artères continuent à recevoir de l'eau par une seule extrémité; il serait très coûteux d'assurer leur alimentation en retour. Le réseau ainsi réalisé est dit maillé.

Le réseau maillé s'impose surtout pour les moyennes et grandes agglomérations; le plus souvent d'ailleurs, les rues de ces agglomérations sont elles-mêmes raccordées entre elles de manière à former des mailles.

Si la charge disponible en **e** est faible, il est à craindre que le service de la région extrême devienne défectueux aux heures de pointe; il est alors avantageux, quand le relief du terrain le permet, d'installer un second réservoir **R'**, dit réservoir d'équilibre, à un niveau un peu inférieur à celui de **R**. Il n'est pas nécessaire que ce réservoir ait une grande capacité, mais la conduite **R a b c d e R'** doit être suffisante pour le remplir durant la nuit.

- Remarques diverses sur le tracé

D'une manière générale, il faut chercher à obtenir le tracé qui permet l'alimentation des orifices de puisage avec le minimum de conduite. Un tracé tel que l'eau en circulant soit amenée à faire un retour sur elle-même (tracé en épingle à cheveux) doit toujours être évité. Si les bâtiments à

desservir sont ceinturés par deux canalisations **ABC** et **ADC** forment une boucle figure (1,6), il conviendra de s'assurer qu'au point de jonction C, les niveaux piézométriques calculés, compte tenu des pertes de charge qui ont eu lieu dans chaque conduite ABC et ADC, sont sensiblement les mêmes (moins de 0.50m d'écart par exemple). Dans le cas inverse, il y aura lieu de retoucher les diamètres en conséquence.

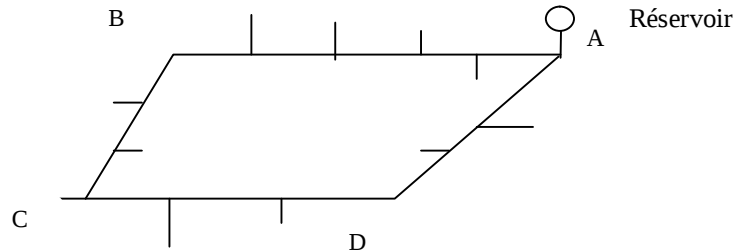


Figure 1.6 Schéma du réseau

2.2 Réseau intérieur de distribution

Les branchements d'eau sont les canalisations et ouvrages situés entre la canalisation publique de distribution et le point de livraison de l'eau à l'abonné [5]. Ils comprennent :

-Les prises de branchement qui peuvent être réalisées :

* Soit à l'aide de tés, manchons à tubulures ou pièces spéciales placées en attente, disposition obligatoire si le diamètre de la canalisation est supérieur à 200mm ;

* soit par perçage des canalisations, à condition que le diamètre des branchements soit inférieur à 40mm et ne dépasse pas la moitié de celui de la canalisation principale ;

- un tronçon de canalisation ;
- un robinet ou une vanne de prise en charge et d'arrêt ;
- éventuellement, un percement de mur avec ou sans fourreau pour le passage de la canalisation ;
- un robinet d'arrêt à main ;
- éventuellement un robinet purgeur ou une douille.

3. LES CANALISATIONS

La fonction principale d'une canalisation est d'assurer le transport (à courte, moyenne, ou grande distance) d'une masse de fluide (eau, pétrole, gaz,) entre deux ou plusieurs appareils [6]. C'est un ensemble fonctionnel aérien, enterré ou en galerie, formé par des tubes, raccords, joints, robinetterie et autres accessoires [7,8].

L'étude de l'établissement d'un canal s'effectue de la manière suivante :

3.1 Débit et vitesse moyenne

On fixe tout d'abord le débit par seconde Q dans le canal doit être capable, compte tenu d'un coefficient de majoration, pour tenir compte des pertes tant par évaporation que par les parois et ce, en fonction de la nature de ces dernières. La vitesse de l'eau U est ensuite déterminée en fonction de la nature des parois; avec des parois non revêtues, la vitesse doit rester comprise entre 0.30m/s et 0.70m/s; avec des parois revêtues, cette dernière limite peut être portée à 1.20m/s. La pente I est alors comprise entre 0.15mm/m et 1mm/m [5].

3.2 Profil en travers

Connaissant le débit Q et la vitesse moyenne U , il en résulte l'aire de la section mouillée.

$$\omega = \frac{Q}{U} \quad (1,18)$$

On détermine ensuite un profil en travers dont la section mouillée est égale à ω , en arrêtant d'abord la forme générale de ce profil.

Les canaux de petite dimension sont souvent formés d'éléments semi-circulaires en béton préfabriqués. En général, les canaux sont construits sur place, en béton armé ou non, en forme de demi-cercle, de rectangle ou de trapèze. Si le canal est creusé dans le sol et sans revêtement, cette dernière forme est toujours adoptée.

L'inclinaison θ des berges est fonction du terrain. Les valeurs suivantes sont généralement admises :

- Terres meubles ou légères, sable, $\theta = 26^\circ 34'$ $\cotg\theta = 2$
- Terrains fermes sans revêtement, $\theta = 33^\circ 42'$ $\cotg\theta = 1.5$
- Terrains revêtus de bois ou pierres, $\theta = 45^\circ$ $\cotg\theta = 1$
- Roche stratifiées, maçonnerie en pierres sèches $\theta = 60^\circ$ $\cotg\theta = 0.6$
- Roches compactes, maçonnerie liée au ciment, béton $\theta = 90^\circ$ $\cotg\theta = 0$

La forme de profil étant déterminée, le tirant d'eau h est fixé; il ne doit pas avoir une trop grande valeur afin que la charge sur le radier ne soit pas excessive et afin que le curage et l'entretien puissent être aisément effectués. Sa valeur ne dépasse généralement pas 3 m [5].

3.3 Nature des canalisations

Une canalisation sous pression est constituée par des tuyaux assemblés les uns aux autres. Les divers tuyaux peuvent être [9] :

. métalliques : fonte ductile, acier;

- . à base de ciment : béton armé, béton précontraint et amiante-ciment;
- . en matière plastique : polyéthylène, PVC, plastique thermodurcissable

3.3.1 Tubes métalliques

a- Tubes en fonte

Il existe deux types de tubes en fonte [10] :

- tubes en fonte grise ordinaire, qui ne sont plus utilisés à cause de leur fragilité;
- tubes en fonte ductile, qui ont des résistances assez analogues aux tubes en acier.

Les tubes en fonte ductile résistent à des pressions très élevées atteignant 50 bars pour ceux ne dépassant pas 0,6m de diamètre et 40 bars pour les diamètres supérieurs. Ils sont flexibles et résistent à la corrosion comme les tubes en fonte grise, et sont plus légers que ceux en fonte grise ordinaire en raison de leurs moindres épaisseurs [10,11].

b- Tubes en acier

L'acier doux soudable est celui qui est utilisé dans la fabrication des tubes. Cette fabrication peut se faire soit sans soudure : à partir de lingots, blooms ou ronds, qui sont percés laminés ensuite calibrés (jusqu'à 0,400m), soit avec soudure à partir des tôles ou feuillets : soudés longitudinalement à l'arc électrique (diamètre 0,350m et au dessus), ou soudés spiralement (du diamètre 0,150m jusqu'au diamètre 0,600m) [7,11]. Les tubes sans soudure sont fournis en longueurs de 6 à 16m (les épaisseurs de 3 à 8mm). Ces tubes sont essayés en usine à des pressions de 60 bars pour des diamètres compris entre 0,040 et 0,150m, 50 bars pour ceux situés entre 0,175 et 0,275m de diamètre, et 40 bars pour des diamètres compris entre 0,300 et 0,400m [11]. Les tubes en acier sont livrés en longueurs comprises entre 6 et 14m (les épaisseurs varient généralement de 5 à 9mm pour les diamètres compris entre 0,350 et 1,00m). Ils sont plus sensibles à la corrosion et doivent de ce fait être revêtus intérieurement et extérieurement. Intérieurement, par un émail à base de bitume de pétrole, de 1 à 2mm d'épaisseur. Extérieurement ils recevront un revêtement constitué par la soie de verre noyée dans un bitume de houille. Malgré leur faible résistance à la corrosion, les tubes en acier sont les seuls employés pour le transport des hydrocarbures (produits pétroliers, gaz naturel,...) et ce du fait que les tubes sont soudables sur le terrain, donc nécessitant moins d'accessoires que dans le cas des tubes en fonte.

c- Tubes en plomb

Les tubes en plomb ont été longtemps employés pour les alimentations en eau et en gaz. Aujourd'hui, malgré les avantages qu'ils possèdent : possibilité d'épouser facilement les courbes, l'inaltérabilité au gaz naturel, à l'air et à l'humidité, ils sont de moins en moins employés à cause de leur prix élevé et de leur fragilité (se percent sans gros efforts) [10,11]. Ils sont fournis en

longueur de 10m et de diamètre variant de 6 à 45mm. Pour des diamètres supérieurs, ils se présentent en longueur de 4m [12].

3.3.2 Tubes à base de ciment

a- Tubes en béton armé

Les tubes en béton armé peuvent être utilisés pour des adductions d'eau brute (pression intérieure à supporter est faible et ne dépasse pas 1,5 bars – 2 bars). Leurs diamètres en fonction de l'épaisseur vont de 0,150 à 1,500m avec des longueurs comprises entre 4 et 6m [9,11]. Pour des pressions supérieures (3 à 15 bars), les tubes sont renforcés par une âme en tôle soudée qui a un rôle de résistance au même titre que les aciers, et un rôle d'étanchéité. Les diamètres varient entre 0,150 et 1,800m [9].

b- Tubes en béton précontraint

Les procédés de précontrainte sont divers. En général, les tubes sont précontraints dans les deux sens : Une précontrainte longitudinale, au moyen d'armatures disposées suivant les génératrices, qui assure la résistance à la flexion; une précontrainte dans le sens des spires, qui constitue un fretage et permet au tube de résister aux efforts dus à la pression intérieure et aux efforts d'ovalisation. Par rapport au tube en béton armé, il y a une économie d'acier, surtout s'il faut faire face à de très fortes pressions, sous de grands diamètres. C'est dans ce cas surtout que ce tube est utilisé [9,11]. Ces tubes existent pour des longueurs d'environ 6m à des diamètres de 0,500 à plus de 2,000m.

c- Tubes en amiante-ciment

Les tubes en amiante-ciment sont fabriqués par enroulement continu, avec compression de couches successives très minces de 0,2mm, composées d'un mélange d'amiante en fibres et de ciment [7]. Suivant les séries, ils sont éprouvés en usine à des pressions variant de 5 à 25 bars [11]

3.3.3 Tubes en matière plastique

a- Tubes en polyéthylène

Ces tubes dénommés aussi semi rigide sont livrés en couronnes de 25,5 à 100m de longueur, aux diamètres compris entre 0,030 et 0,200m. Ils sont très souples, légers, et jouissent d'une grande facilité de pose. Ils résistent aux agents chimiques, et leur résistance mécanique est assez élevée [9].

b- Tubes en PVC

Ils sont répartis en trois classes, selon la pression qu'ils sont appelés à supporter : 6, 10, et 16 bars. Ils existent en longueur de 4 à 6m pour les diamètres de 0,60 à 0,400m. La pression d'éclatement peut atteindre 8 à 10 bars [7, 9,11].

c- Tubes de plastique thermodurcissable renforcé

Ces tubes sont fabriqués comme produit standard avec une gamme complète de raccords. Ils conviennent particulièrement aux applications telles que la distribution d'eau, les égouts et les canalisations d'évacuation d'eau d'égouts dans des conditions de corrosion élevée, comme celles qui résultent des traitements chimiques. Ce type de tuyau trouve son application dans pratiquement toutes les industries importantes pour le transport des centaines de produits chimiques industriels. Ils peuvent être constitués de (15 à 70) % de fibre de verre, de (0 à 50) % de charge (incluant du sable) et de (30 à 75) % de résine. Ils peuvent aussi contenir de petites quantités d'agents thixotropiques (additifs qui empêchent l'écoulement excessif de résine avant le durcissement), de pigment ou de colorants. Les tuyaux en plastique thermodurcissable existent en deux types principaux :

- Tuyau de polyester renforcé de fibre de verre GRP (Glass-fibre-reinforced polyester)

A cause de leur bonne résistance à la corrosion et de leur température de service relativement élevée, les matériaux GRP sont utilisés pour la tuyauterie des usines de traitement chimique servant au transport de liquides hautement corrosifs . Les matériaux GRP sont de plus en plus utilisés à la place de l'acier et de la fonte dans les réseaux de distribution d'eau et à la place du béton dans les réseaux d'égouts, de drainage et d'évacuation des eaux d'égout.

- Tuyau de résine époxyde renforcée de fibre de verre GRE (Glass-fibre-reinforced epoxy)

A cause de leur bonne résistance aux produits chimiques, les tuyaux de résines époxydes ayant un revêtement intérieur renforcé avec mat de fibre de verre sont devenus très courants dans l'industrie des traitements chimiques.

Le choix entre les principaux types de tuyaux est une question d'espèce [11].

- Les tuyaux en fonte ont été très utilisés .A l'heure actuelle, grâce à un enrobage soigné et à une protection cathodique bien faite, on a souvent recours aux tuyaux en acier, surtout si des mouvements de sol sont à craindre.

-Les tuyaux en béton armé sont surtout intéressants pour les conduites de gros diamètres travaillant dans des conditions bien déterminées. Ils permettent de réaliser des installations économiques.

-Les tuyaux en amiante-ciment présentent l'avantage d'être légers, d'une pose commode ; ils peuvent supporter des pressions moyennes très convenables.

-Les tuyaux en matière plastique présentent de nombreux avantages et commencent, dans les petits diamètres, à concurrencer sérieusement les tuyaux en matériaux traditionnels.

4 DESCRIPTION DES FUTES

4.1 Définition d'une fuite

La fuite est une source de bruit, elle génère des vibrations qui se propagent dans la canalisation où le fluide se trouve de part et d'autre du point de fuite de la conduite.

L'écoulement de fluide sous pression à travers un orifice (fuite) engendre des vibrations acoustiques. Ces vibrations ont une fréquence audible variable de 100 à 3500 Hz et se propage avec une atténuation plus ou moins rapide le long de la conduite et dans le sol. Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution d'eau potable : conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, et bouches d'incendie. Elles présentent à la fois des pertes conséquentes pour l'économie nationale, et un danger néfaste sur la santé publique. Ces pertes économiques se concrétisent en partie au niveau du coût de consommation, du traitement et du transport. L'endommagement du réseau (érosion de l'assise des conduites, rupture de canalisations), des fondations, des routes ou des bâtiments constituent un coût économique supplémentaire. Les effets sur la santé publique sont liés aux contaminants pouvant s'infiltrer dans les conduites par différents endroits où l'eau s'échappe, lorsque la pression baisse dans le réseau. Ces contraintes économiques, portant sur des questions de santé publique et d'intérêt stratégique, incitent les exploitants de réseaux à mettre sur pied des programmes de contrôle de ces fuites [13].

Durant ces dernières années, des efforts importants ont été consentis pour mettre au point des méthodes visant à établir les bilans d'eau ou à détecter les fuites. Grâce à ces efforts, les exploitants de réseaux disposent maintenant de plusieurs techniques bien établies et d'appareils modernes qui les aident à limiter les pertes d'eau. Les valeurs moyennes des fuites sont fortement influencées par la pression. Un trou de 3mm de diamètre donne une fuite de 345 l/h (soit 3000 m³/an) à 2,5 bars de pression, ou 490 l/h (soit 4200 m³/an) à 5 bars, ou 690 l/h (plus de 6000 m³/an) à 10 bars, figure(1.7)

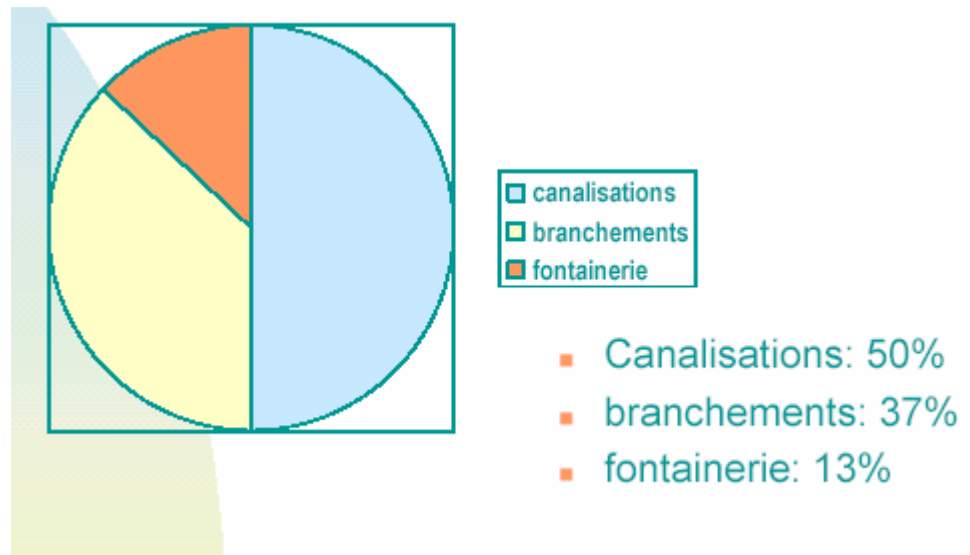


Figure 1.7 Répartition moyenne des fuites en volume

La classification des fuites doit toujours se faire en appréciant le danger qu'elles représentent plutôt que la quantité de fluide perdu.

4.2 Causes et origines des fuites

Différentes causes sont à l'origine des fuites. On peut considérer la corrosion, les défauts des matériaux, les mauvaises installations, les pressions d'eau excessives, les coups de bélier, les mouvements de terrain attribuables à la sécheresse ou au gel, ainsi que les vibrations et les charges excessives dues à la circulation d'eau. Les programmes de suivi et de contrôle systématique des fuites déjà instaurés comportent deux grands volets : les bilans d'eau, et la détection des fuites [14].

4.2.1 Bilans d'eau

Les bilans permettent de déterminer les quantités d'eau qui se perdent dans les réseaux de distribution. Ils donnent une idée globale des pertes d'eau, et peuvent être effectués par secteur ou sur l'ensemble du réseau. Ils exigent une comptabilité détaillée des quantités d'eau entrant et sortant du réseau. Ils sont généralement basés sur les relevés des compteurs et sur la vérification de leur précision. Par nature ces bilans demandent des efforts importants, en particulier lorsqu'il s'agit de grands réseaux. Dans le cas des bilans par secteur, le réseau de distribution est divisé en secteurs comportant environ 20 à 30km de conduites. Chacun de ces secteurs est isolé par fermeture des vannes appropriées; seules ne sont pas fermées les vannes situées aux points de contrôle où des débitmètres portables sont mis en place pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule sur une période de 24 heures. Pour savoir s'il y a des fuites importantes, on détermine le rapport du débit nocturne minimum au débit diurne moyen, et on le compare aux ratios considérés comme normaux, ou à des

ratios établis précédemment pour le secteur donné. Les débits d'eau liés à des usages commerciaux ou industriels continus devraient être soustraits des débits mesurés. Si tous les raccordements aux abonnés sont équipés de compteurs, on peut obtenir des données plus précises concernant les fuites, en relevant les quantités d'eau écoulées et consommées dans tel ou tel secteur, et ce sur une longue période. La zone où se produisent des fuites importantes peuvent être déterminées par la méthode du test par étapes. Celle-ci consiste à subdiviser le secteur, puis à mesurer les débits après avoir coupé successivement l'alimentation de chacun des sous secteurs par fermeture des vannes correspondantes. Une diminution marquée du débit indique que les fuites importantes se produisent dans le sous secteur dont l'alimentation vient d'être coupée. Les bilans par secteur sont coûteux et exigent beaucoup de travail, car ils se font la nuit [14].

Depuis plusieurs années, on a tendance à installer de façon permanente des débitmètres raccordés au système SCADA par télémetrie. Les valeurs des débits ainsi transmises sont automatiquement analysées et permettent de déceler les augmentations inhabituelles de consommation d'eau. En connaissant le réseau on peut savoir si une augmentation du débit est causée par de nouvelles fuites. Les bilans par secteur et les tests par étapes permettent de déterminer les zones du réseau de distribution où il y a des fuites importantes, mais il reste ensuite aux équipes de réparation à repérer celles-ci. Tout cela montre à quel point les efforts consentis sont importants et nécessitent beaucoup de temps, d'argent, et de main d'œuvre.

4.2.2 Détection de fuites

Dans les zones où l'on sait que des fuites importantes se produisent, celles-ci sont généralement repérées au moyen d'appareils acoustiques. Ces derniers détectent les vibrations où les bruits sont produits par l'eau qui s'échappe des canalisations sous pression. Ces bruits se propagent le long de la conduite sur de grandes distances (selon le type et la taille de la conduite) et dans le sol environnant. Dans un premier temps, les équipes de localisation déterminent grossièrement l'emplacement des fuites dans le réseau de distribution, en auscultant tous les points accessibles du réseau (bouches d'incendie et vannes). Elles repèrent ensuite plus précisément les zones suspectes en auscultant la surface du sol, directement au-dessus de la conduite et à intervalles rapprochés (environ 1m). Une autre méthode de repérage exact et automatique des fuites consiste à utiliser des appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Ces appareils sont employés couramment depuis quelques années. Ils sont normalement plus précis que les appareils d'auscultation.

Les fuites peuvent également être détectées à l'aide de techniques non acoustiques tels que le gaz traceur, l'imagerie infrarouge et le géo radar, mais celles-ci sont encore très peu utilisées et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que celle des méthodes acoustiques [14].

5 MATERIEL ET TECHNIQUES DE DETECTION DES FUTES

Pour la plupart, il s'agit de tiges d'écoute, des aquaphones, des géophones, ou microphones au sol. Ces appareils sont soit mécaniques soit électroniques. Ils utilisent des mécanismes ou des matériaux sensibles (comme les éléments piézo-électriques) pour capter les vibrations ou les bruits émis par les fuites. Les appareils électroniques modernes sont munis d'amplificateurs de signaux et de filtres antiparasites pour mettre en relief le signal produit par la fuite. Le mode d'emploi des appareils d'auscultation est généralement simple mais leur efficacité dépend de l'expérience de l'opérateur [14].

5.1 Techniques acoustiques de détection - Les corrélateurs

Ce sont des appareils portatifs à microprocesseurs qui repèrent précisément et automatiquement les fuites par la méthode de la corrélation croisée. On mesure dans ce cas le signal acoustique émis par une fuite au moyen de capteurs de vibrations ou hydrophones disposés sur deux points de contact avec la conduite (généralement des bouches d'incendie ou des vannes), ce qui permet de déterminer l'emplacement de la fuite présumé. Les signaux produits par les fuites sont transmis sans fil des capteurs au corrélateur. Dans la plupart des cas, la fuite ne se trouve pas à égale distance des points de mesure. Il existe donc un décalage dans la réception des signaux, ce décalage temporel est calculé au moyen de la fonction de corrélation croisée des signaux produits par la fuite. Cette fonction donne alors une crête qui coïncide avec le décalage entre les signaux. L'emplacement de la fuite est déterminé au moyen d'une formule algébrique dans laquelle interviennent le décalage, la distance entre les capteurs, et la vitesse de propagation des ondes sonores dans la conduite. La distance entre les capteurs est mesurée directement sur place, ou relevée sur les cartes de réseau de distribution. La vitesse de propagation le long des conduites de différentes catégories et dimensions, est généralement indiquée par la plupart des appareils vendus dans le commerce; elle peut aussi être calculée facilement sur place [14]

L'efficacité des méthodes acoustiques de détection des fuites dépend de plusieurs facteurs, dont la taille, le type et la profondeur de la conduite, le type de sol, le niveau de la nappe d'eau, le type et l'importance de la fuite, la pression dans le réseau, les interférences acoustiques, la sensibilité et la plage de fréquences des appareils, le matériau et le diamètre de la conduite, jouent un rôle important dans l'atténuation des signaux émis par les fuites. Par exemple, ceux-ci sont moins atténués dans le cas des conduites en métal que dans celui des tubes en plastique. Plus le diamètre de la conduite est grand, plus l'atténuation est importante, et plus il est difficile de détecter les fuites. Le diamètre et le matériau de la conduite influent sur les fréquences dominantes

des signaux émis par les fuites. Ces fréquences dominantes sont d'autant plus basses que le diamètre de la conduite est grand, ou que son matériau est peu rigide. A cause de ce phénomène, les signaux émis par les fuites peuvent être brouillés par des vibrations de basse fréquence (p. ex. celles produites par des pompes ou par la circulation routière. Les signaux émis par les fuites ont à la surface du sol une intensité qui dépend beaucoup du type de sol et du niveau de la nappe d'eau. L'expérience montre que les bruits causés par les fuites sont plus audibles sur un terrain sablonneux que sur un sol argileux, et plus audible sur une surface en asphalte ou en béton que sur le gazon. Si la conduite se trouve sous la surface de la nappe d'eau, ces bruits sont étouffés. Les caractéristiques des bruits causés par les fuites varient en fonction du type et de l'importance de celles-ci. Les fissures et les piqûres de corrosion que comportent les parois des conduites produisent des signaux plus intenses et de fréquence plus élevée que s'il s'agit de fuites au niveau des raccords ou des vannes. De façon générale, le signal émis par une fuite est d'autant plus intense que celle-ci est importante, mais cela n'est pas forcément vrai dans le cas de fuites très sérieuses. Plus la pression est élevée dans la conduite; plus les signaux émis par les fuites sont intenses. Il est difficile de détecter les fuites dans des conduites où la pression est inférieure à $1,5 \frac{Kgf}{cm^2}$. Les différents appareils de détection acoustique des fuites présentent de grandes variations aux points de vue sensibilité, plage de fréquence, conditionnement et traitement de signal. Plus le rapport signal - bruit des appareils est élevé, et plus les fuites détectables sont petites. Les appareils acoustiques modernes sont équipés de dispositifs de traitement des signaux (p. ex. filtres et amplificateurs) qui rendent ceux-ci distincts. Les filtres éliminent les bruits dont la fréquence se situe hors de la plage de fréquences dominantes des signaux émis par les fuites. Les amplificateurs augmentent le rapport signal – bruit et rendent audibles les signaux faibles.

5.2 Techniques non acoustiques de détection

Parmi les techniques non acoustiques utilisées pour la détection des fuites, on cite :

5.2.1 La technique du Gaz traceur

Cette technique consiste à injecter dans une partie isolée d'une conduite un gaz non toxique, plus léger que l'air et insoluble dans l'eau (ex : l'hélium ou l'hydrogène). Le gaz s'échappe par l'ouverture de la fuite, puis atteint la surface en s'infiltrant à travers le sol et la chaussée. On repère la fuite en balayant la surface du sol située juste au-dessus de la conduite au moyen d'un détecteur de gaz très sensible [14].

5.2.2 La thermographie

Le principe d'utilisation de la thermographie pour la détection des fuites est le suivant : L'eau s'échappant d'une conduite souterraine modifie les caractéristiques thermiques du sol environnant (ex : elle crée une zone d'absorption thermique plus efficace que le sol environnant) .Les anomalies thermiques produites au dessus de la conduite sont décelées par des caméras infrarouges portatives ou embarquées dans un véhicule terrestre ou un avion [14].

5.2.3 Le Géo radar

Les radars permettent de repérer de deux façons les fuites dans les conduites d'eau enfouies. Ils détectent les vides créés dans le sol par l'eau qui fuit et circule autour de la conduite, ou bien les segments de canalisations qui semblent plus profonds qu'ils ne le soit en réalité, à cause de l'augmentation de la valeur de la constante diélectrique du sol gorgé d'eau, aux alentours de la fuite. Les ondes du géo radar sont partiellement réfléchies vers la surface du sol lorsqu'elles rencontrent une anomalie dans les propriétés diélectriques p.ex. un vide ou une conduite). En balayant la surface du sol, on obtient la taille et la forme de l'objet sur l'écran du radar. Le décalage entre le moment où l'onde est émise et le moment où elle est réfléchi, détermine la profondeur de l'objet qui réfléchit l'onde [14].

CONCLUSION

Pour aborder le problème des fuites, il a bien fallu dans ce chapitre d'évoquer l'ensemble des aspects physiques et mécaniques qui caractérisent l'eau. Les réseaux de transport et de distribution de cette ressource naturelle ont été bel et bien décrits. Vu l'importance et l'intérêt stratégique que présente ces derniers pour les populations, nous avons mis l'accent sur les techniques et moyens mis en œuvre permettant de réduire les pertes dues aux fuites conséquentes. La surveillance permanente de cette eau dans les canalisations par la recherche et la détection de fuites, a incité les exploitants à installer différents moyens et techniques. Une description sommaire a été introduite dans ce chapitre pour l'ensemble des techniques existantes. Une attention particulière sur les détecteurs et systèmes de détection de fuites fait l'objet du chapitre suivant.

LES DETECTEURS DE FUITES

INTRODUCTION

La surveillance régulière du réseau de distribution d'eau permet de prévenir des pertes importantes causées par des fuites cachées. L'utilisation des appareils modernes de détection qui peuvent établir un diagnostic rapide de l'état des conduites enterrées, est devenue une nécessité vitale. La pose d'appareils d'écoute fixes ou mobiles sur les points principaux du réseau de distribution d'eau, permet d'alarmer le service compétent en cas d'anomalies constatées. La recherche précise de fuite est pratiquement toujours ponctuée par une écoute locale au sol.

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux appareils permettant une détection efficace de ces fuites. Les dispositifs en question captent d'une manière générale les vibrations ou les bruits émis par l'eau, s'échappant sous pression des canalisations. Ils sont classés en deux principales catégories : les détecteurs à base d'écoute de bruit acoustique, et les détecteurs à base de corrélation acoustique.

1. DETECTEURS TRAVAILLANT SELON LE PRINCIPE DE L'ECOUTE DE BRUITS CAPTES

1.1 Le Détecteur AQUAPHON -F

Le système AQUAPHON-F (avec liaison radio) existe en deux versions [15] :

- AQUAPHON EW-F pour la détection électro-acoustique de fuites d'eau sur des conduites métalliques enterrées ;
- AQUAPHON ELW-F pour la détection électro-acoustique de fuites d'eau et localisation de conduites métalliques enterrées, figure (2.1)



Figure 2.1 Détecteur AQUAFON-F

Le système est composé de[15] :

- § Micro de sol BO-4 ; (1)
- § Micro de sol 3P-4 ; (2)
- § Canne de transport H-4 ; (3)
- § Teststab-piézo avec divers adaptateurs; (4)
- § Casque d'écoute stéréo; (5)
- § Adaptateur de charge HS; (6)
- § Transformateur secteur 230/12V; (7)
- § AQUAPHON ELW-F avec système de transport « triangle ». (8)

1.1.1 Principe

Lors d'une fuite sur une canalisation, l'eau s'écoule à grande vitesse dans la cassure et pénètre dans le sol. Les conséquences sont les suivantes :

- Le bruit de la fuite est transmis dans toute la conduite et le signal peut être détecté par le système avec un micro de contact sur différents accès à la conduite;
- Le bruit issu de la fuite se transmet également dans le sol et se diffuse jusqu'à la surface. Une écoute de ces vibrations acoustiques est possible grâce à un micro de sol, figure 2.2 (a,b).

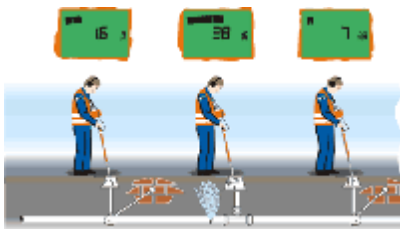


Fig 2.2 (a) Pré-localisation avec la canne Teststab

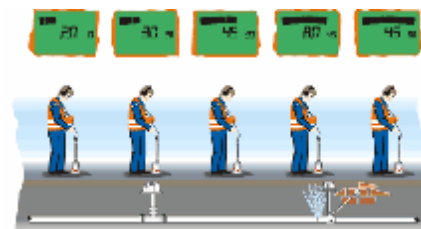


Fig 2.2 (b) Localisation à l'aide du micro de sol

Dans les conduites métalliques l'onde sonore de la fuite est extrêmement bien transmise sur une très longue distance. Grâce à son nouveau micro-piézo, l'efficacité et la portée de la canne teststab est accrue lors de la pré-localisation des fuites. Pour les matériaux non métalliques l'onde sonore est atténuée plus rapidement. L'écoute aux points d'accès (carrés de vanne) à la canalisation est insuffisante : le micro BO permet une écoute au sol au dessus de la conduite, garantissant une surveillance de toute la canalisation. L'écoute pas à pas à la surface du sol permet de localiser précisément le lieu de la fuite. Les micros de sol existent en deux versions :

- **Le micro de sol BO-4** : Fait partie de l'équipement de base. Il a été conçu en métal massif, son capteur de vibrations complètement désolidarisé de l'enveloppe permet une élimination optimale des bruits parasites. Ce micro est conçu pour l'écoute sur les surfaces planes.

- **Le micro de sol 3P-4** : Est utilisé pour les surfaces irrégulières, sur un sol très mou, une pointe de mesure peut être vissée sous l'embase pour permettre un meilleur contact d'écoute avec le sol.

- **Affichage** : Les récepteurs AQUAPHON-F sont dotés d'un afficheur à cristaux liquides (LCD) rétro éclairé, de grande taille, permettant un excellent confort visuel. La fonction d'affichage avec aiguille traînante des récepteurs AQUAPHON-F facilite la détection des fuites. Ce dispositif permet de visualiser sur l'afficheur la valeur actuelle ainsi que la valeur précédemment mesurée.

1.1.2 Caractéristiques techniques des récepteurs AQUAPHON- F

- Reconnaissance automatique du micro avec choix de la plage des fréquences;
- processeur de signal digital;
- limitation automatique du bruit au casque;
- fonction mémoire;
- température d'utilisation : -10 à 50°C ;
- température de stockage : -25 à 70°C ;
- poids : 1.4Kg ;
- dimension en cm :12.5×18×6.5

Les conduites non métalliques peuvent être localisées avec l'AQUAPHON-F en association avec un système du type COMBIPHON.

1.1.3 Avantages

Le système AQUAPHON-F bénéficie des avantages suivants :

- plus de problèmes de connectique;
- plus grande liberté de mouvement autour des micros;
- possibilité pour l'opérateur de rester en contact avec le bruit de fuite.

1.2 Le Détecteur DF JUNIOR

1.2.1 Présentation de l'appareil

Le DF JUNIOR comprend [16]:

- un capteur CSH 191 piézo-électrique;
- une mécanique associée au capteur composée de :
 - § deux (02) tiges rallonges;

- § d'un (01) point de touche;
- § d'un (01) support capteur;
- § d'une (01) poignée;
- § deux (02) attaches pour câble;
- § d'un (01) aimant de force de 200 Newtons (20 Kgf).
- un casque d'écoute haute fidélité;
- un boîtier de réception muni d'une sangle;
- un coffret de transport.

1.2.2 Principe de détection

Le détecteur DF JUNIOR est un détecteur portable, son principe de fonctionnement est basé sur l'intensité du signal (bruit de la fuite) capté par un capteur accéléromètre piézo-électrique qui est sensible aux vibrations mécaniques, donc aux bruits occasionnés par une fuite de fluide dans une conduite. Le boîtier de réception figure (2.3) filtre et amplifie les signaux provenant du capteur. Le signal ainsi mis en forme est transmis au casque et à un organe de visualisation : l'afficheur en face avant.

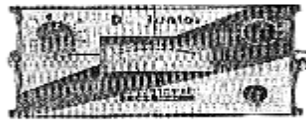


Figure 2.3 Boîtier de réception du DF JUNIOR

Plus le capteur est proche de la fuite à détecter, plus le signal transmis dans le casque et l'afficheur sera puissant. C'est la verticale de la position ou on relève le maximum de bruits que se situe la fuite.

1.2.3. Caractéristiques techniques

- Capteur et accessoires :
 - § Capteur CSH accéléromètre piézo-électrique;
 - § sensibilité : 10V/g ;
 - § bande passante à 10% :5 kHz;
 - § dimension 60mm×30mm de diamètre;
 - § étanche : construction en acier inoxydable;
 - § protection anti-choc;
- Aimant, force 200 newtons (20 Kg force) ;
- Pointe, rallonges, support capteur en Inox ;

- Température : stockage $[-20, + 90^{\circ}\text{C}]$;
- Fonctionnement $[-10, + 70^{\circ}\text{C}]$.
- Casque :
 - § bande passante 25Hz à 17 kHz;
 - § impédance : $2 \times 8\Omega$;
 - § poids 380g longueur câble : 2m;
 - § température : stockage $[-30, + 70^{\circ}\text{C}]$;
 - § Fonctionnement $[-10, + 55^{\circ}\text{C}]$.

1.3 Le Détecteur HL400 - seba KMT

1.3.1. Présentation de l'appareil

C'est un appareil électro-acoustique de localisation de fuites à écran LCD, avec affichage à double barre pour les valeurs minimale et d'échantillonnage ainsi qu'une présentation de l'historique, figure (2.4) [17].



Figure 2.4 : Détecteur HL 400-seba KMT

1.3.2 Caractéristiques techniques :

- Indication du bruit maximum et de la valeur minimale dans un affichage en deux parties.
- 9 positions de filtres, de 70 à 1800 Hz.
- Paramétrage d'une concordance optimale entre les tubulures, le type de sol et les microphones.
- Les barres horizontales de l'écran indiquent la valeur maximale actuelle du niveau de bruit général.
- Le chiffre qui s'affiche au-dessous indique la valeur minimale de l'essai.
- Le défaut sera localisé en fonction de l'évolution de cette valeur : la valeur minimale la plus élevée définit l'emplacement du défaut.
- La fonction "histogramme" permet la sauvegarde des deux valeurs affichées (valeurs minimum et actuelle) en pressant la touche "muet".
- Sauvegarde et affichage des 9 valeurs enregistrées successivement.

- L'identification du point culminant des valeurs minimales est ainsi facilitée.

1.4 Le Détecteur HL 4000

1.4.1 Présentation de l'appareil

C'est un détecteur de fuites pour la localisation de défauts de tuyaux avec affichage simultané des valeurs maximales (bruit parasite) et minimales (bruit de fuite) [17].

1.4.2 Caractéristiques techniques :

- Détection des bruits de fuite par microprocesseur : identification de la valeur minimale du spectre de bruit, filtrage numérique du bruit de fuite (analyse des fréquences).
- Identification du minimum : par valeur numérique ou barre verticale.
- Ecran à double segment "DSA" pour l'affichage simultané des valeurs maximales et minimales avec rétro éclairage réglable.
- Amplification séparée pour l'affichage et l'intensité du son en pressant la touche "muet".
- Possibilité d'effectuer une analyse fréquentielle des bruits enregistrés.
- Réglage polyvalent des filtres avec 9 courbes de filtrage fixes et 9 courbes à régler librement.
- Comparaison objective de l'intensité du son à 8 points de mesure.
- Sauvegarde de l'historique par transfert glissant.
- Sauvegarde du niveau sonore 3-15-30 minutes (sauvegarde du contenu de la mémoire pendant 30 minutes).
- Contrôle acoustique de tension de la batterie et du branchement correct du microphone.
- Microphone piézo-électronique, développé spécifiquement pour la détection des bruits de fuite.
- Fonction de génération de signaux de sortie logarithmiques.
- Analyse fréquentielle pour la différenciation de bruits de fuite et de bruits parasites.
- Filtre digital pour la suppression de bruits parasites.
- Interfaces de sortie pour mises à jour de logiciels.

1.5 Le Détecteur PERMALOG

1.5.1 Principe de fonctionnement

Le capteur PERMALOG installé sur le réseau détecte automatiquement la présence ou l'apparition d'une fuite, il transmet l'information à un « Patrouilleur », collecteur de données mobile, embarqué dans un véhicule ou portable. Les transmetteurs sont installés sur l'ensemble

de la zone, pour assurer une surveillance permanente des fuites. Ils sont facilement placés sur les têtes de vannes dans les regards ou autres accessoires solidaires de la canalisation. Un puissant aimant assure leur maintien. Avec des piles de plus de 10 ans d'autonomie, les transmetteurs ont un indice de protection (IP 68) et fonctionnent même immergés. Aucune maintenance n'est nécessaire. Chaque PERMALOG se calibre automatiquement selon son environnement. En l'absence de fuite, un signal RAS est transmis pour indiquer qu'il n'y a pas de fuite. Dès l'apparition d'une fuite, le PERMALOG se met en mode « alarme » et transmet un signal pour indiquer la présence d'une fuite, ainsi que ses caractéristiques. La fréquence des relèves peut être effectuée à intervalles réguliers, ou lorsque les débits nocturnes augmentent. Le « patrouilleur » reçoit, analyse et identifie l'émetteur et ainsi pré localise la position de la fuite. Un signal sonore confirme la réception du message en provenance du PERMALOG, il s'inscrit sur l'écran LCD du « patrouilleur » et est simultanément sauvegardé. La position des fuites peut être consultée instantanément ou à la fin de la tournée de relève. Les données des PERMALOG ayant émis un signal de « fuite » sont imprimées ou transférées sur un PC, permettant une meilleure planification des interventions de localisation. Le système PERMALOG peut être associé en option complémentaire, d'un GPS pour une localisation automatique des fuites, figure (2.5) [18].



Figure 2.5 Le Détecteur PERMALOG

1.5.2 Avantages

- 100 % du réseau de distribution est sous surveillance.
- Plus de fuites trouvées et plus rapidement qu'avec les autres méthodes.
- Permet la détection rapide de toute nouvelle fuite pour une meilleure continuité de la distribution d'eau.
- Automatise et simplifie la détection des fuites, éliminant aussi les erreurs humaines et les recherches infructueuses.
- Elimine l'utilisation des diverses techniques de sectorisation à l'aide de nombreux compteurs et de manœuvre de vannes.

- Fonctionne indépendamment de l'étendue ou de l'état du réseau à surveiller.
- Méthode non destructive, sans intervention directe sur le réseau, ne générant ainsi ni désordre ni désagrément pour l'abonné.
- Améliore l'efficacité et la motivation des techniciens pouvant se concentrer sur la localisation des fuites existantes au lieu de se disperser sur des zones sans fuites.
- Fonctionne en permanence pendant 10 ans, permettant facilement le maintien du niveau des fuites au plus bas.

1.5.3 Caractéristiques techniques

- Dimensions 135 × 60mm (avec antenne)
- Longueur antenne 55mm
- Poids 1kg
- Alimentation Batterie interne autonome sur piles 10 ans
- Matière Acier inoxydable
- Indice de protection IP 68
- Communication Signal fuite/ non fuite LED infrarouge
- Puissance aimant 35kg

PATROUILLEUR

- Dimensions 290× 150 × 82 mm
- Poids 1.8kg
- Matière ABS
- Protection IP 65
- Antenne Magnétique sur véhicule avec 3m de câble pour connexion.
- Interface Boîtier avec clavier et écran rétro éclairé.
- Alimentation Batterie ou allume cigare 12V.
- Communication Signaux sonores de fuite ou non fuite
- **Accessoires de série** : Câble allume cigare 12 V –Câble RS 232 / PC –Câble imprimante –valise de transport- Antenne pour utilisation en portable – Chargeur de batterie – Logiciel de programmation et de relève – Sacoche de transport – House de protection
- Accessoires en option : Batterie rechargeable – imprimante portable avec câble –Kit support d'utilisation véhicule

2 DETECTEURS TRAVAILLANT SELON LE PRINCIPE DE LA CORRELATION ACOUSTIQUE

La recherche de fuites de manière systématique permettra d'analyser tout le réseau d'aqueduc dans son ensemble, à l'aide de la méthode de corrélation acoustique qui est basée sur l'analyse des vibrations, et non sur l'écoute des bruits, figure (2.6).



Figure 2.6, Détecteurs travaillant selon le principe de la corrélation acoustique

2.1 Technique de la corrélation acoustique

Une fuite émet du bruit qui se propage le long de la canalisation et dans le fluide qui le transporte. L'analyse des signaux captés par le corrélateur conduit à la détermination des temps de propagation du bruit vers les capteurs. Connaissant la vitesse de propagation, l'appareil détermine la position de la fuite par rapport aux capteurs.

2.1.1 Le corrélateur

Le corrélateur est composé de :

- § Deux capteurs pour la saisie des vibrations de la conduite, engendrées par la fuite.
- § Deux amplificateurs associés aux capteurs.
- § Deux liaisons entre les capteurs et l'unité de traitement, assurées par câbles ou par voie radio.
- § Un dispositif de filtrage des signaux recueillis ;
- § Un dispositif d'amplification automatique, susceptible de redonner aux signaux, après filtrage, une amplitude suffisante.
- § Un corrélateur qui reçoit et analyse les informations des deux capteurs.

2.1.2 Avantages

Cette méthode a de nombreux avantages, qu'ils soient économiques ou techniques :

- Sur le plan économique, la supériorité d'un tel système, consiste essentiellement au coût réduit de détection et de maintenance. A titre d'exemple, le coût de la détection des fuites par rapport aux autres méthodes est réduit de 90 %. De plus, une seule personne est nécessaire pour surveiller plusieurs secteurs par jour, à raison de 30 à 40 Km linéaire de canalisations à

l'heure, ce qui entraîne d'excellents gains de productivité, et permet d'éradiquer le travail nocturne, trop dangereux.

- Sur le plan technique, en utilisant un tel système, la totalité du réseau de distribution d'eau est sous surveillance. Le nombre de fuites trouvées est beaucoup plus important, et elles sont localisées beaucoup plus rapidement qu'avec les autres méthodes. Aussi, la découverte rapide de nouvelles fuites, permet une meilleure continuité dans la distribution de l'eau. Cette nouvelle méthode qui mécanise et simplifie la détection des fuites, permet une abstraction des erreurs humaines éventuelles et des recherches stériles. Elles écartent l'utilisation des divers procédés de sectorisation, grâce à de nombreux compteurs et de manœuvres de vannes. De plus, le corrélateur fonctionne indépendamment de l'étendue ou de l'état du réseau à surveiller. Cette méthode est inusable, elle est donc sans intervention directe sur le réseau et ne génère ainsi aucun trouble, ni désagrément pour l'abonné. Elle permet également de motiver les techniciens, afin de les rendre plus efficaces, puisque grâce à ce procédé, ils se concentrent sur la localisation de fuites existantes, au lieu de se disperser inutilement dans les zones sans fuite. D'autre part, l'installation basée sur cette technique, a une durée de vie assez longue, permettant aisément une maintenance du niveau des fuites au plus bas.

2.2 Position de la fuite

Pour que le corrélateur puisse identifier le bon signal sonore d'entre tous les parasites, les récepteurs sont programmés pour n'être sensible qu'aux caractéristiques sonores d'une fuite, Figure (2.7).

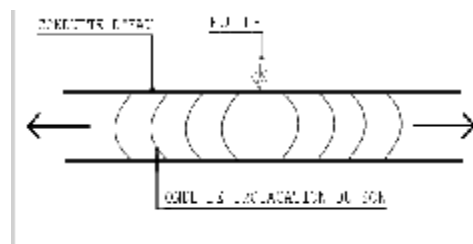


Figure 2.7, Fuite dans une conduite

Parmi ces caractéristiques on trouve :

- Le bruit de fuite est aléatoire; les liquides sous pression créant par turbulence une onde de pression appelée bruit de fuite.
- La propagation de ce son se fait à vitesse égale de part ou d'autre de la conduite, ceci requiert des tuyaux de même section de matériaux homogènes.
- Le bruit de fuite a un caractère permanent, c'est à dire que contrairement aux autres bruits parasites, la fuite a une fréquence constante [19].

Nous étayerons les calculs faits par le corrélateur, pour détecter la position de la fuite par le schéma suivant, figure (2.8) [14].

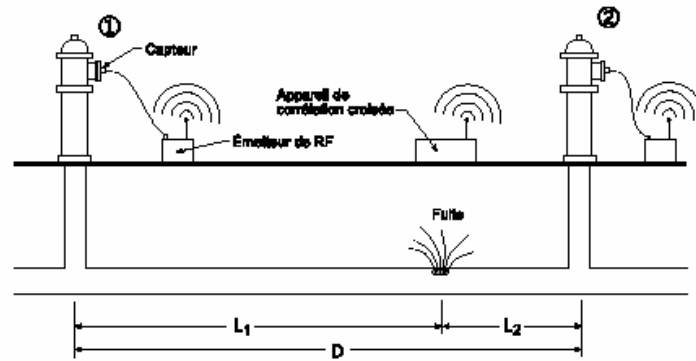


Figure 2.8, Position de la fuite

Le temps mis par le signal (1) est : $T_1 = L_1 / V$;

où V représente la vitesse de propagation du son dans la conduite.

Le temps mis par le signal (2) est : $T_2 = L_2 / V$.

Le décalage du signal (2) par rapport au signal (1) : $\Delta T = T_1 - T_2 = (L_1 - L_2) / V$

$L_2 = D - L_1$ $L_1 = (D + V \cdot \Delta T) / 2$ $\Delta T = (2L_1 - D) / V$

L'écart de temps ΔT correspond à l'écart de distance positionnant la fuite.

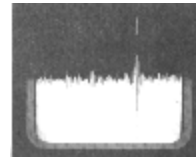
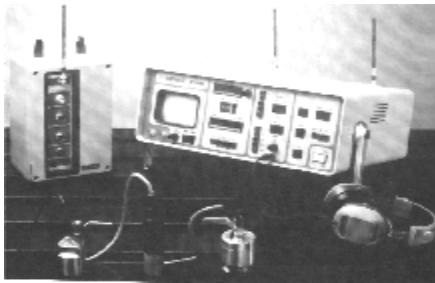
Ils existent deux conditions pour que ces systèmes soient opérationnels et corrects :

- les réseaux de distribution de fluide doivent être toujours sous pression, afin d'avoir continuellement un échappement de fluide sous pression, créant les bruits de fuite;
- la conduite et le fluide transporté, doivent être homogènes (pas de présence d'air dans le fluide).

2.3 Exemples de détecteurs

2.3.1 Le Détecteur DF 3000

Ce détecteur de 1^{ère} génération, est conçu pour la localisation précise et rapide des fuites sur les canalisations en charge enterrées, selon le principe de la corrélation acoustique. L'abscisse du pic de la fonction d'inter corrélation, indiquée au niveau du corrélateur, Figure (2.9), représente la différence des temps de propagation de l'onde de fuite. Les signaux de fuites émanant des capteurs sont transmis par liaison radio pour être reçus par ce corrélateur. L'avantage présenté par ce système, à base d'électronique câblée, est la détection et localisation à distance d'une fuite, évitant tout déplacement du patrouilleur [20].



Visu

Figure 2.9, Le Corrélateur DF3000

2.3.2 Le Détecteur SeCorr 05

Sorti en 1998, ce détecteur a le même principe que le précédent. Des capteurs se trouvant de part et d'autre de la fuite, enregistrent le bruit qui sera transmis au corrélateur par liaison radio. A partir de la différence de temps que met le bruit de la fuite pour arriver au capteur par rapport à l'autre, on obtient un écart de temps de propagation. Avec cette valeur on détermine la position de la fuite. Contrairement au précédent, ce système est à base de microordinateur, figure (2.10) [15].



Figure 2.10, Le Détecteur SeCorr 05

Caractéristiques techniques :

*** Le logiciel** du corrélateur SeCorr 05 assure les fonctions suivantes :

- **Transformée de fourrier** : Par la technique FFT, on obtient une plus grande rapidité de calcul ainsi qu'un meilleur filtrage.
- **Fonction de cohérence** : Représentation de la plage de fréquence, dans laquelle les bruits de la fuite sont très puissants.
- **Corrélation croisée** : Aide complémentaire pour le choix des filtres avec visualisation et calcul en temps réel du résultat.
- **Fonction TOP** : Lissage des bruits parasites. Indication plus nette de la fuite.
- **3 points de mesures** : Permet la localisation exacte sans connaître la vitesse de propagation du son.

- **Atténuation des bruits parasites** : Lors d'une perturbation passagère, la mesure sera interrompue et reprendra effet seulement lorsque le bruit parasite aura disparu.
- **Prise en compte de différentes sections de canalisations** : avec visualisation graphique des tronçons.
- **Suppression de plages de fréquences parasites** : Réseau électrique (50 / 100 Hz), bruit de pompe, turbine, machine.
- **Fréquence d'échantillonnage jusqu'à 8192 Hz** : Des signaux de fréquences supérieures à 4000 Hz peuvent encore être analysés.
- **Réduction de la fréquence d'échantillonnage jusqu'à 100 Hz** : Utilisée pour des conduites plastiques. Les hydrophones permettent l'écoute des bruits à des fréquences inférieures à 10Hz.
- **Haute résolution du calculateur** : Très grande précision du résultat (pour une conduite de 250 m de long la précision est de ± 6 cm).
- **Limite de détection** : Max. 3000 ms. Ceci permet une détection sur une distance de 3 Km entre les deux émetteurs avec une propagation du bruit de 1000 m/s.
- **Contrôle de l'émission** : Si l'émission est interrompue, une information apparaît à l'écran.
- **Exploitation des mesures** : Elle peut être faite ultérieurement, le logiciel du SeCorr 05 permet l'enregistrement de plusieurs centaines de mesures.
- **Piloté par microprocesseur.**
- **3 modes de fonctionnement** : réglage de volume automatique /manuel ou module d'émission à l'arrêt (détection électro-acoustique de fuite).
- **Affichage LCD** : indication permanente de l'autonomie de la batterie et du niveau du signal.
- **Protégé contre les projections d'eau IP 54** (fonctionnement possible dans sa valise de transport).
- Charge à partir de tensions 12 = / 24 = ; 100 à 240 V $\approx$

Remarque : Un filtre passe haut est incorporé dans l'émetteur, d'autres plages de filtres sont optionnelles (filtre actif).

*** Capteurs :**

- **Micro piézo de très haute sensibilité –bande passante de 7 à 10000 Hz** (testé par PTB = L'Office Fédéral Physico-technique de Braunschweig).
- **Boîtier étanche** en acier inoxydable (IP 68).
- **Convertisseur d'impédance intégré** (permettant l'utilisation de rallonges pour les câbles micro)
- **Câble du micro** renforcé pour la traction.
- **Les hydrophones et micros gaz / air** peuvent également être utilisés.

2.3.3 Le Détecteur SeCorr 08

Le dernier né de la gamme SEWERIN, le **SeCorr 08**, petit par sa taille et puissant par ses performances, est le premier corrélateur portable numérique du marché. Sorti fin 2002, il propose pour sa catégorie des performances réellement exceptionnelles. La qualité et la rigueur de fabrication, ainsi que le choix des matériaux en font un appareil très fiable et d'une extrême robustesse. Ce nouvel équipement est le résultat de la grande expérience de SEWERIN associée aux dernières évolutions de la technologie. Avec ses deux versions de logiciels, le SeCorr 08 a un prix global estimé autour de 15000 euros. Cet appareil s'adapte bien aux besoins et attentes de chaque chercheur de fuites, aussi bien au débutant qu'au spécialiste déjà bien initié à cette technique, figure (2.11) [15].



Figure 2.11, Le Détecteur SeCorr 08

* Description du système :

1- Prise du signal :

Micro piézo : d'une extrême sensibilité qui capte des signaux de fréquence de 1 à 5000 Hz. Il est de construction robuste, étanche, avec un câble résistant à la traction et à l'arrachement. L'utilisation d'un aimant puissant permet un bon contact du micro sur les points de mesure du réseau.

Micro Hydrophone : pour permettre la mesure en contact direct avec la colonne d'eau. Ce micro d'une extrême sensibilité améliore considérablement les performances sur les conduites en matière plastique, avec des distances pouvant atteindre quelques centaines de mètres. L'association de filtres actifs améliore davantage ses performances.

2- Traitement du signal et transmission :

Les amplificateurs internes de l'émetteur mettent en forme les signaux captés par les micros pour la transmission radio. L'amplitude d'entrée des signaux est optimisée par un système d'amplification sélectionné et transmis au calculateur sous forme numérique simultanément avec les signaux du bruit de fuite. Le calculateur analyse les deux signaux réceptionnés et visualise l'amplification sélectionnée. La transmission radio des signaux est

assurée sans distorsion par un système d'émission puissant et très fiable. La portée du signal peut atteindre 2.000m par voie, entre un des émetteurs et le calculateur. Dans de bonnes conditions, la corrélation peut s'effectuer sur quelques kilomètres. Cependant la distance réelle de corrélation dépend des conditions géographiques, des caractéristiques de la fuite et de la canalisation.

3- Caractéristiques :

- Traitement numérique à base de techniques modernes utilisant un DSP (Digital Signal Processor).
- Affichage de très haute résolution.
- Clavier étanche avec touches sensibles et bouton rotatif à impulsion pour une utilisation plus confortable.
- Utilisable comme un appareil d'écoute électroacoustique.
- Analyse FFT.
- Analyse par cohérence pour un réglage optimal des filtres.
- Analyse automatique des fréquences du signal.
- Très grande précision de calcul et extrême rapidité de la mesure.
- Réception du signal sur plus de 2.000 m par voie radio.
- Grande souplesse de choix des différentes configurations du système (1 ou 2 voies radio)
- Surveillance permanente de la qualité de la réception radio.
- Assistant de mesure pour les situations standards.

2.3.4 Le Détecteur Micro CALL Super Tx

Le détecteur Micro CALL cumule de hautes performances aussi bien sur le plan de la technologie PC que celui des techniques de traitement du signal. Il permet de détecter des fuites dans des conditions difficiles sur de longues distances, et sur conduites de gros diamètres [18].

* Caractéristiques :

- Corrélateur à hautes performances avec circuits DSP.
- Multiples modes graphiques pour l'analyse de la corrélation.
- Algorithmes innovants de suppression des pics.
- Plusieurs modes de corrélation.
- Mode « données brutes » pour mémoriser le bruit de fuite et corrélérer ultérieurement.
- Mémorisation sur disque dur et archivage au format rapport standard.
- Ouvre l'accès à d'autres applications de recherches de fuites.

- Option intégration dans véhicule.

* Avantages :

- Convivial et simple d'utilisation sous environnement WINDOWS.
- Léger, autonome et entièrement portable.
- Visualisation graphique sur un seul écran de données, et du résultat de la corrélation.
- Deux modes de corrélation en temps réel, et FFT.
- Interprétation aisée des fuites présentées en mode standard, histogramme, 3D et contour.

Sur la base des exemples de détecteurs illustrés précédemment, il a été montré que les dispositifs à base de techniques de traitement du signal (corrélation acoustique) étaient les plus performants. D'un côté, ils possèdent une efficacité de localisation accrue sur le terrain, d'un autre, ils permettent une détection à distance des fuites, évitant ainsi tout déplacement de l'opérateur. Le gain en temps et en argent réalisés par ce type de systèmes, est alors sans équivoque. Les systèmes de type Secorr08 et Micro CALL super Tx s'avèrent actuellement des plus performants, relativement aux autres détecteurs existants sur le marché. Leur handicap majeur est qu'ils soient limités à la détection d'une seule fuite à la fois, ils sont relativement cher, et enfin non extensibles. La complexité du réseau de distribution constitué de plusieurs canalisations, suscite plutôt la recherche de plusieurs fuites à la fois, d'où un traitement multicanaux en entrée qui est bel et bien exigé. Le moindre coût est d'une importance majeure, pour permettre la généralisation du produit à grande échelle. Enfin la souplesse et l'extensibilité sont aussi importantes dans la mesure où elles confèrent une amélioration technologique continue des performances.

L'idée de base se trouvant à l'origine du travail présenté dans ce mémoire, consiste à concevoir un système de détection de fuites dédié pour la recherche et qui répond aux critères cités précédemment, à savoir le prix, la souplesse, et le traitement multicanaux.

CONCLUSION

Ce chapitre est particulièrement dédié à la description de détecteurs utilisés actuellement dans différents pays du monde. Il s'agit de détecteurs travaillant selon le principe de l'écoute de bruits captés, et les détecteurs à base de corrélation acoustique. Dans le but de montrer les performances de chacun, des exemples illustrés de leurs caractéristiques techniques sont décrits. Les systèmes de détection à base de corrélation acoustique sont en conclusion les plus

performants. Leur grand avantage réside dans le fait qu'ils permettent une détection et localisation à distance des fuites, évitant toutefois tout déplacement de l'opérateur. L'intérêt majeur présenté par ce type de détecteur, a orienté notre choix pour la conception d'un système de type PC-DSP, où le DSP est un coprocesseur à virgule fixe. Une solution marquant à la fois, souplesse, moindre coût, et rapidité de traitement.

L'architecture du système proposé est de type maître esclave, structurée autour d'un PC et d'un processeur de traitement numérique de signaux à arithmétique entière. Une solution économique, intermédiaire entre l'utilisation des processeurs classiques, moins chers et plus lents, et les processeurs DSP flottants, plus rapides mais plus onéreux. Le chapitre suivant aborde la description du système de détection proposé.

CHAPITRE III

SYSTEME A DSP POUR LA DETECTION DE FUITES

INTRODUCTION

Nous présentons dans ce chapitre une description détaillée du système de détection proposé. Le schéma fonctionnel général, ainsi que l'architecture du microsystème DSP sont présentés. La technique de corrélation acoustique utilisée dans la détection des fuites est aussi développée et traitée. Les procédés d'acquisition et de traitement sont décrits à travers le développement d'un programme en langage assembleur du DSP utilisé.

1. SCHEMA FONCTIONNEL DU SYSTEME

Le système de détection de fuites à base de PC-DSP, est construit autour d'une architecture biprocesseur de type maître-esclave. Les tâches d'acquisition et de traitement sont effectués par le microprocesseur DSP. Ce dernier, fonctionnant en arithmétique entière, joue le rôle d'esclave et assure particulièrement ces tâches. L'hôte PC, assumant le rôle du maître, sert à l'introduction des paramètres de fonctionnement, à l'affichage des résultats, au stockage et impression des données.

Ce système est composé principalement de :

- 01 PC;
- 01 microsystème à base de DSP à virgule fixe;
- 01 interface d'acquisition;
- 01 système de transmission (émission + réception);
- Capteurs de fuites (+ électronique environnante).

*** Les capteurs de fuites :** Les capteurs les mieux adaptés pour ce type de détection, sont soit des hydrophones, soit des accéléromètres piézo-électriques. L'accéléromètre piézo-électrique est largement utilisé, grâce à sa gamme de fréquence très étendue. C'est un transducteur électromécanique constitué d'une masse supportée par un élément piézo-électrique qui délivre une charge électrique proportionnelle à la force d'appui de cette masse. Par suite à l'accélération à laquelle est soumis le corps d'épreuve, il peut par intégration fournir des signaux proportionnels à la vitesse et au déplacement [21].

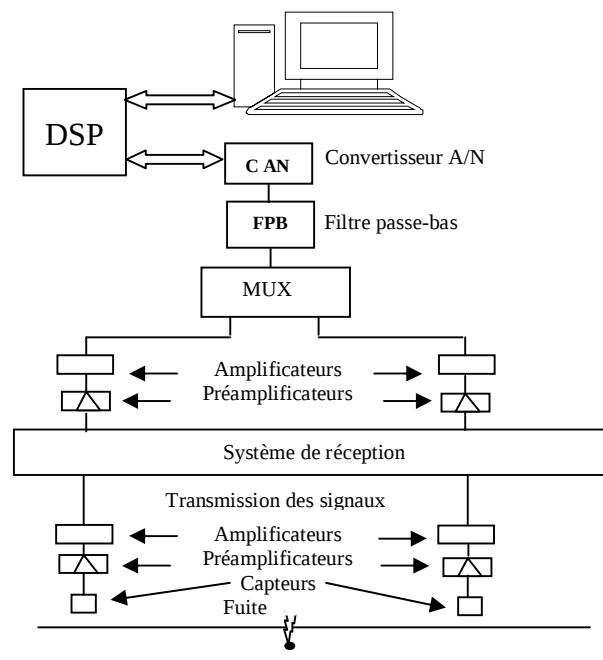


Figure 3.1. Schéma fonctionnel du système de détection

Les caractéristiques générales des accéléromètres piézo-électriques sont les suivantes :

- Pas de pièce mobile, d'où absence d'usure.
- Source d'alimentation extérieure inutile puisque les matériaux piézo-électriques sont auto générateurs.
- Utilisation d'un amplificateur de charge nécessaire.
- Mesures statiques impossibles (les accélérations constantes ou à très basse fréquence sont impossibles à mesurer avec ce type de capteur).
- Permettent de faire des mesures du zéro absolu jusqu'à plus de 800 °C selon les modèles.
- La sensibilité varie de 1 à 100 pC/g [Pc : pico coulomb; g : l'accélération de la pesanteur] pour les matériels classiques, mais elle peut être beaucoup plus élevée (1000 pC/g)
- Peuvent être miniaturisés.
- Possèdent des étendues de mesure très variées depuis 0 à 100g pour les accélérations de bas niveau, et de 0 jusqu'à 100000g pour les mesures de chocs.

*** Le conditionnement des signaux :** Les capteurs délivrent des signaux hautes impédances (plusieurs dizaines de $K\Omega$) de faible niveau (10 mV à 1mV), ce qui exige de les conditionner avant de les traiter. Le conditionnement est obtenu à l'aide de préamplificateurs, d'amplificateurs à contrôle automatique de gain (C.A.G), et de liaisons radio. Le préamplificateur est situé très près du capteur (câble de liaison de longueur inférieure à 1m). Il adapte le signal en basse impédance et applique une première amplification, généralement de 40 dB. L'amplificateur (C.A.G) amène le signal au niveau désiré pour le traiter et l'analyser, la dynamique est de 100 dB.

*** La transmission radio :** Les liaisons radio assurent la transmission du signal issu de l'amplificateur vers le bloc de traitement.

L'intérêt porte sur le microsystème (DSP + interface) permettant l'acquisition et le traitement des signaux de fuites. Notre contribution consiste à concevoir et réaliser cette partie importante du système. L'objectif recherché est de répondre aux critères de choix proposés. Une validation est effectuée dans le but de confirmer les performances recherchées. Pour concrétiser cet objectif, une attention particulière est donnée au DSP utilisé afin d'évaluer ses performances en matière de précision de calcul et de rapidité de traitement.

Nous présentons à la figure (3.1) le système de détection proposé pour le cas d'une seule fuite.

2. ARCHITECTURE DU SYSTEME

L'architecture du système à DSP proposé pour le cas d'une fuite, est indiquée à la fig 3.2. Trois parties principales sont à distinguer :

- * Un PC jouant le rôle du maître et permet l'entrée des paramètres de fonctionnement, l'affichage, la sauvegarde et l'impression des résultats.

- * Une carte coprocesseur à base du processeur de signal ADSP-2100, jouant ainsi le rôle d'esclave et assure l'acquisition et le traitement des signaux de fuite. Son prix est estimé à 200 euros.

- * Une interface d'acquisition composée essentiellement d'un convertisseur Analogique-Numérique flash de résolution 16 bits, et d'un multiplexeur analogique.

On montre la présence d'un dialogue entre le maître (PC) et l'esclave (DSP). Quatre signaux de communication sont utilisés pour permettre l'échange des paramètres de fonctionnement et des données.

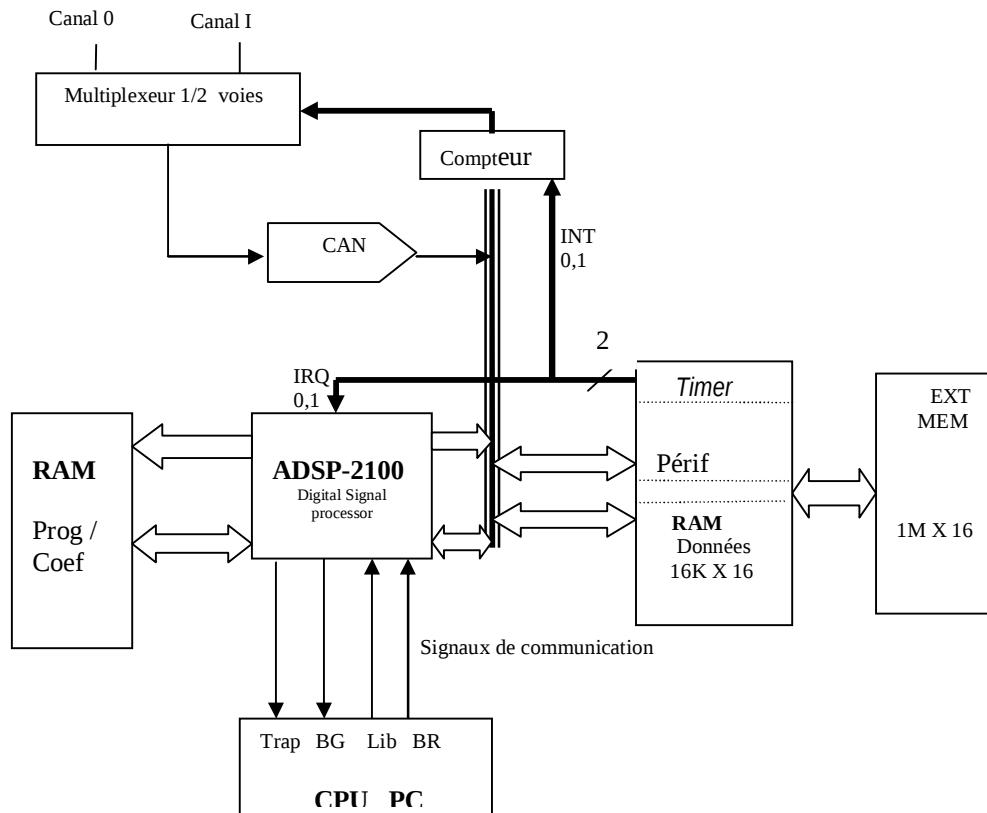


Figure 3.2 : Architecture du système à DSP

2.1 Le microprocesseur ADSP-2100

L'ADSP-2100 d'Analog Devices est un microprocesseur à virgule fixe, monochip programmable, optimisé pour le traitement numérique du signal et d'autres applications nécessitant une vitesse de calcul importante. Il représente le microprocesseur de base de la famille ADSP-21xx, donc le moins cher. Il intègre en un seul chip des unités de calcul, des générateurs d'adresses, et un séquenceur de programme utilisant des mémoires de programme et de données externes [22].

Les unités de calcul sont indépendantes et sont au nombre de trois :

- Unité arithmétique et logique (UAL);
- multiplieur/accumulateur (MAC);
- des registres à décalage.

Ces unités effectuent le calcul sur des mots de 16 bits et peuvent fournir des résultats en multiprécision. Deux générateurs d'adresses permettent au processeur de fournir simultanément deux adresses, donc deux opérandes peuvent être sollicités en même temps. Le stockage des données se fait en mémoire données et en mémoire programme. Par contre le stockage d'instructions ne peut se faire qu'en mémoire programme. Les deux mémoires

(programme et données) sont accessibles depuis l'extérieur (PC par exemple), et l'espace d'adresses utilisé pour la mémoire données est aussi utilisé pour l'adressage des périphériques externes.

Le schéma de la figure(3.3) montre une représentation simplifiée du microprocesseur ADSP-2100 [23].

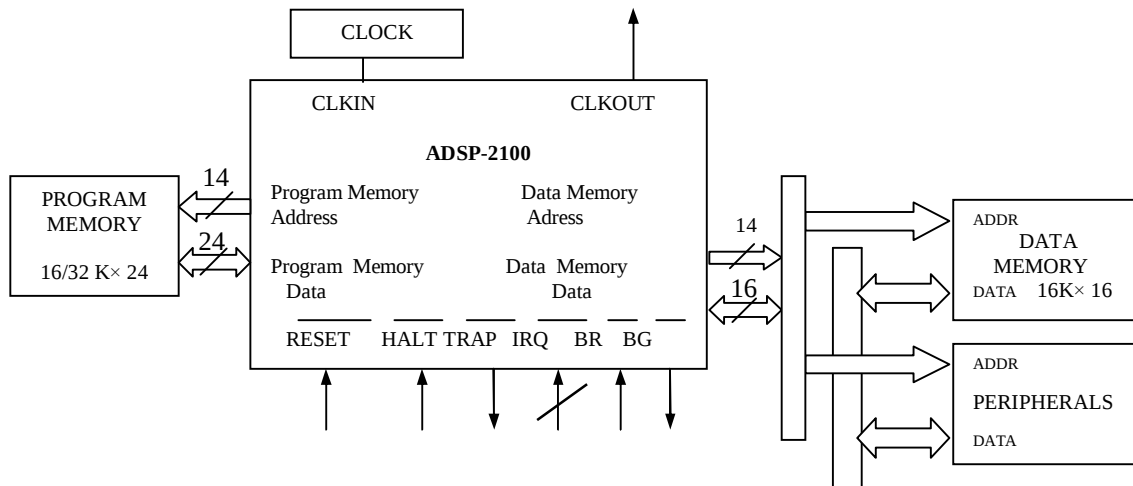


Figure 3.3 Le microprocesseur ADSP-2100

* Caractéristiques principales de l'ADSP-2100

- Architecture à double bus (programmes et données).
- Accès direct en un seul cycle en mémoire donnée (16k×16).
- Accès direct en un seul cycle en mémoire programme (16k×24/32k×24).
- Double usage de la mémoire programme pour le stockage des instructions et des données [22].
- Trois unités de calcul indépendantes :
 - § Unité arithmétique et logique (UAL);
 - § multiplieur/accumulateur (MAC);
 - § registres à décalage.
- deux générateurs d'adresses indépendants;
- séquenceur de programme;
- mémoire cache interne;
- possibilité de calcul multiprécision;
- instruction d'exécution en un seul cycle;
- instructions multifonctions;
- quatre interruptions externes;
- temps de cycle 125 ns (8 MHz);
- boîtier 100 pins.

NB : L'ADSP-2100 A dispose d'un temps de cycle de 100 ns (soit 10 MHz). C'est à cette fréquence que le développement de notre programme est réalisé.

*Architecture interne de l'ADSP-2100

Le microprocesseur ADSP-2100 a une architecture interne figure (3.4), qui se compose de :

- Unité arithmétique et logique;
- multiplieur/accumulateur;
- registres à décalage;
- deux générateurs d'adresses;
- séquenceur de programme;
- mémoire cache;
- bus d'échanges entre bus programme et données.

Ces unités sont supportées par cinq bus internes :

- PMA 14 bits (bus d'adresse pour la mémoire programme);
- PMD 24 bits (bus de données pour la mémoire programme);
- DMA 14 bits (bus d'adresse pour la mémoire données);
- DMD 16 bits (bus de données pour la mémoire données);
- Bus interne au monochip s'appelant bus-R qui assure la liaison des différentes unités internes [22].

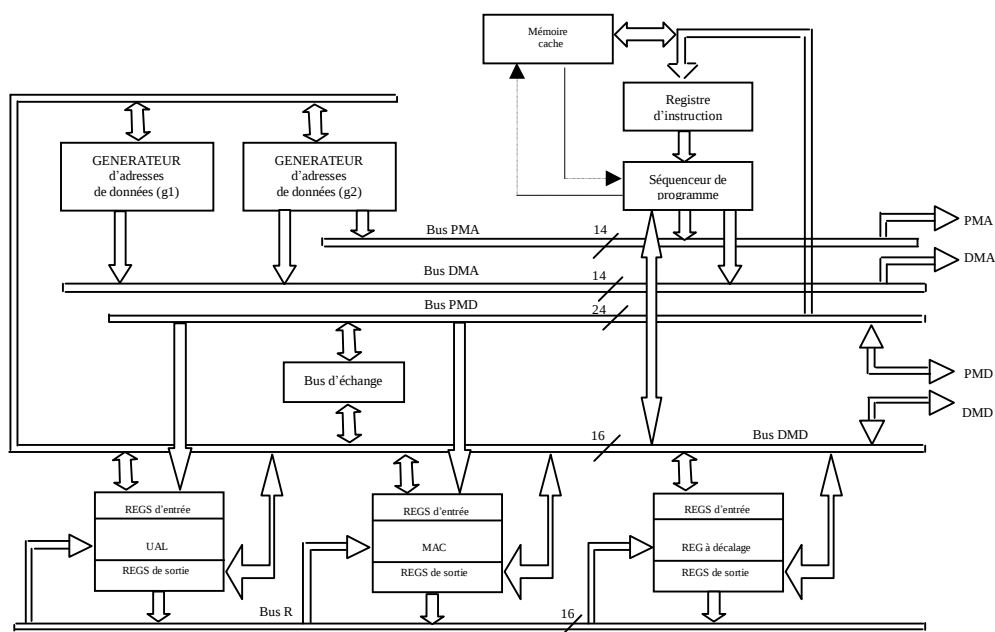


Figure 3.4 Architecture interne de l'ADSP-2100

Le bus PMD (24 bits) assure le transfert d'instructions de la mémoire programme au registre d'instructions interne au monochip. Les instructions sont sollicitées et relogées dans le registre d'instructions durant un seul cycle, l'exécution s'effectue au cycle suivant pendant que l'instruction suivante est sollicitée. Cependant, il est souvent désirable de solliciter deux opérandes durant un même cycle (un de la mémoire programme, l'autre de la mémoire donnée). La recherche d'une donnée de la mémoire programme rend impossible la recherche de l'instruction suivante dans le même cycle. Un cycle supplémentaire est normalement exigé. Afin d'optimiser le temps de calcul et éviter un gaspillage de cycles supplémentaires, l'ADSP-2100 dispose d'une mémoire cache interne qui peut retenir jusqu'à 16 mots. Avec cette possibilité, l'ADSP-2100 fonctionne comme s'il y'avait trois bus avec une instruction et deux opérandes s'exécutant dans un même cycle.

2.2. Interface d'acquisition

On présente dans la figure (3.5) le schéma bloc de l'interface d'acquisition contrôlée par le DSP. Cette interface pourra éventuellement assurer l'acquisition de plusieurs voies en entrée. Nous nous limitons ici à deux voies uniquement pour le cas de la détection d'une fuite.

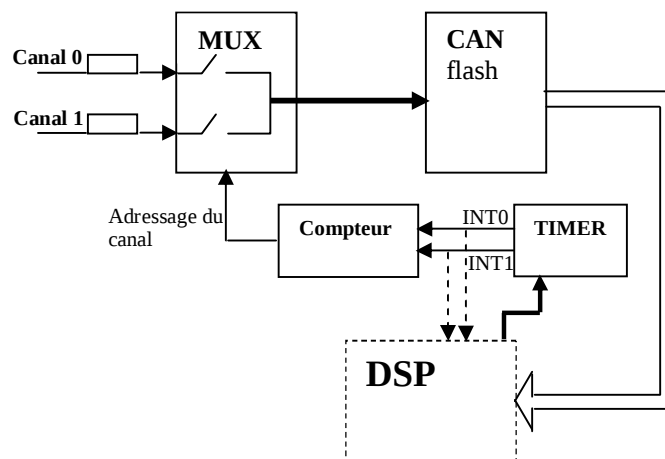


Figure 3.5 Interface d'acquisition

Cette interface est composée de :

- un convertisseur Analogique/Numérique flash 16 bits (CAN);
- un temporisateur programmable (Timer);
- un compteur d'adresses;
- un circuit de multiplexage analogique.

Le timer est le périphérique clé au niveau de cette interface. Il permet de générer deux (2) signaux de contrôle à la fois pour le DSP et le multiplexeur. Le signal INT0 envoyé vers le multiplexeur et en même temps vers le DSP (Interruption IRQ0), permet à la fois de commander un compteur comme étant un générateur d'adresses pour le multiplexage des canaux, et d'interrompre le DSP. Le signal INT1 permet aussi d'interrompre le DSP (Interruption IRQ1) et réinitialiser le compteur (signal RAZ). Les signaux ainsi sélectionnés sont convertis de manière séquentielle quasi simultanée par le convertisseur A/N.

2.2.1 Procédé d'acquisition

L'acquisition des échantillons est accomplie sous le contrôle des interruptions IRQ0 et IRQ1 liées directement aux signaux de contrôle INT0 et INT1. L'interruption IRQ0 correspond à une routine d'acquisition d'un échantillon du signal par le DSP, par contre IRQ1 correspond à une routine d'initialisation (Reset). Les signaux INT0 et INT1 provenant du TIMER, liés donc aux interruptions IRQ0 et IRQ1 du DSP contrôlent un générateur d'adresses (compteur). Le signal INT0 excite ce compteur afin de générer les adresses correspondantes au multiplexeur. INT1 sert de réinitialisation du compteur et par conséquent du multiplexeur (signal RAS). L'acquisition est séquentielle quasi simultanée; c'est-à-dire quelle est effectuée canal après canal tel que un et un seul échantillon est acquis par voie. Dans le cas d'une acquisition à deux voies (cas de détection d'une seule fuite), les échantillons correspondant au canal N° 0 sont acquis au niveau de la routine IRQ1 (=INT1), car au moment de la réinitialisation du compteur par INT1, c'est le canal 0 qui est sélectionné. Les échantillons de l'autre canal sont sélectionnés et acquis au niveau de la routine IRQ0 (=INT0), car au moment de la présence du signal INT0 au niveau du compteur pour sélectionner le canal N°1, l'interruption IRQ0 se déclenche en même temps pour l'acquisition de l'échantillon correspondant. Les échantillons ainsi acquis sont transférés au niveau des RAMs programme et données du DSP, où ils seront logés dans des segments mémoire prédéfinis pour chacun des canaux. Le format des données est en 1.15 complément à 2. L'arrêt du processus d'acquisition est accompli une fois que le nombre d'échantillons indiqué par l'opérateur ait expiré.

2.2.2 Mise en œuvre du programme

Le développement du programme d'acquisition et de traitement des deux canaux est réalisé en langage assembleur ADSP-2100. La figure 3.6 montre l'organigramme général

représentant les différentes étapes de ce programme. L'acquisition est d'abord effectuée vers les deux mémoires externes du DSP. Les échantillons sont stockés en RAMs données et

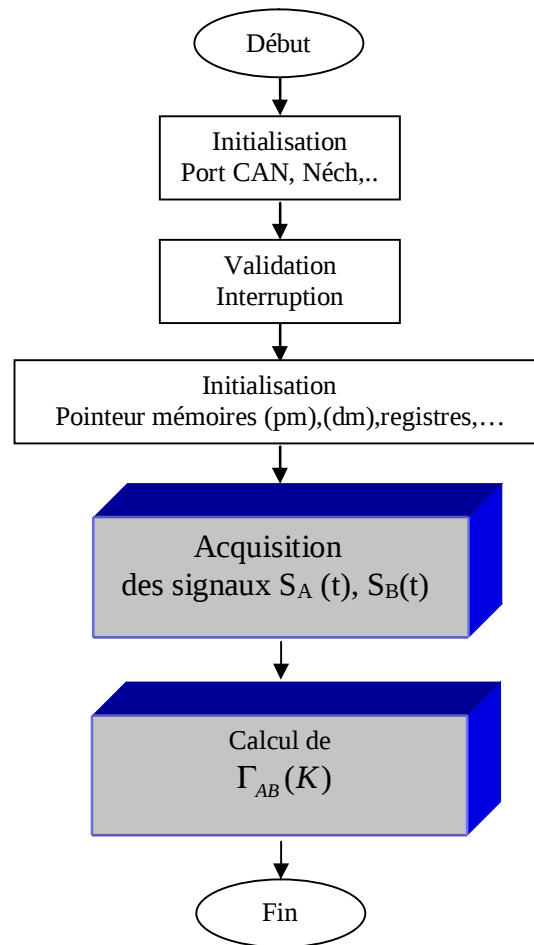


Figure (3.6) Organigramme général d'acquisition et de traitement à deux canaux

programme partagées en segments pour qu'ils puissent être traités par la suite par l'algorithme de traitement. La configuration de la RAM externe du DSP est présentée dans la figure 3.7.

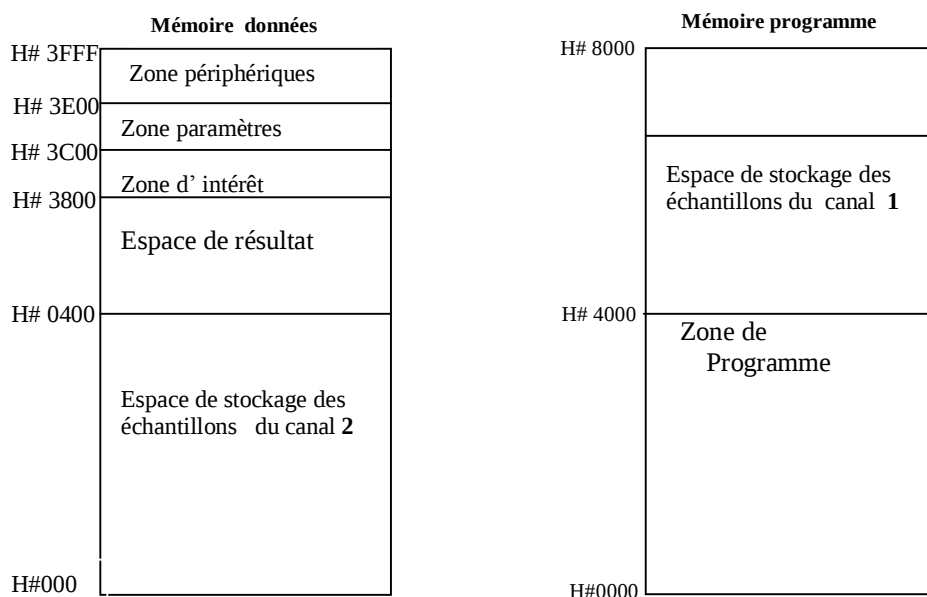


Figure 3.7 Configuration de la mémoire externe du DSP

Le programme fonctionne essentiellement à base des deux (2) interruptions IRQ0 et IRQ1. La figure 3.8 montre l'organigramme d'acquisition où les différentes étapes de la procédure sont présentées. L'exécution de la routine Reset correspondant à IRQ1 est prioritaire par rapport à IRQ0 (caractéristique de l'ADSP-2100 qui possède quatre interruptions dont la dernière est la plus prioritaire par rapport aux autres). Le lancement de IRQ1 permet d'acquérir le premier échantillon correspondant au canal 0. Après cette première acquisition, IRQ0 est validée et le programme rentre en temporisation attendant l'arrivée de cette dernière pour pouvoir acquérir le premier échantillon sur le canal 1. Notons toutefois que chaque interruption IRQ0 correspond à une acquisition d'un échantillon sur le canal 1 par contre chaque interruption IRQ1 correspond à une acquisition d'un échantillon sur le canal 0. Après acquisition de tous les échantillons sur les deux canaux, le processeur DSP passera au traitement.

3. TRAITEMENT DES SIGNAUX DE FUITES

3.1 Technique de la corrélation acoustique

L'importance de la corrélation (produit scalaire de deux signaux) se trouve essentiellement dans les problèmes de détection et d'estimation. Diverses techniques de corrélation sont utilisées. Elles servent parfois à révéler l'existence d'un signal attendu, et à en mesurer certains paramètres. Plus souvent, elles représentent un moyen de comparer deux signaux afin de mettre en évidence leur degré de ressemblance ou d'estimer leur retard relatif. Ceci permet d'assurer une synchronisation, d'estimer une vitesse de déplacement, de localiser la position d'une source de bruit (notre cas) ou de vibration, et de mesurer des caractéristiques acoustiques ou biophysiques [24].

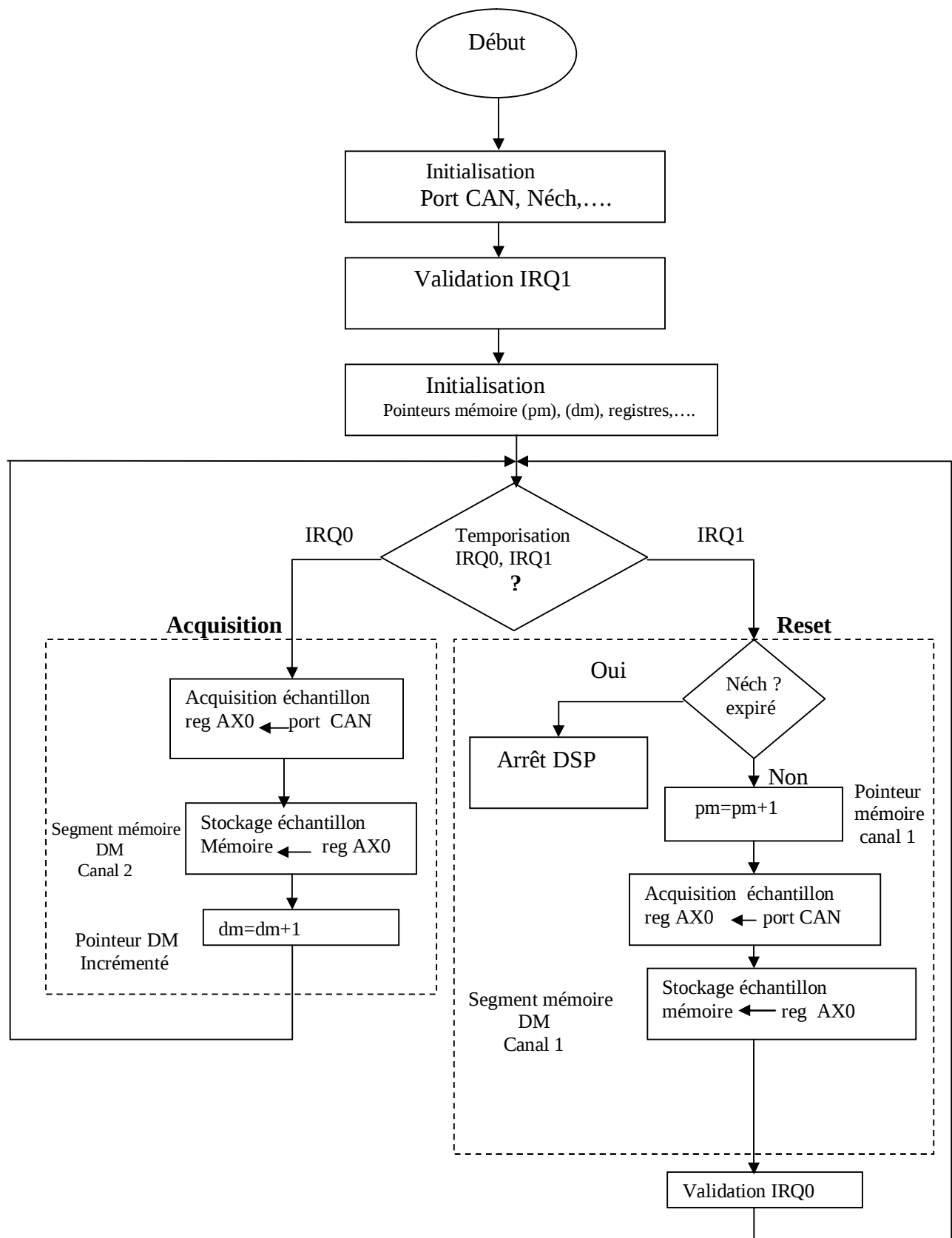


Fig 3.8 Organigramme d'acquisition des deux canaux

Dans notre cas, l'application de cette technique est effectuée après avoir acquis les signaux acoustiques de bruit recueillis en A et B (figure 3.9), comportant en plus du bruit de fuite, des bruits parasites, $N_1(t)$ en A, et $N_2(t)$ en B.

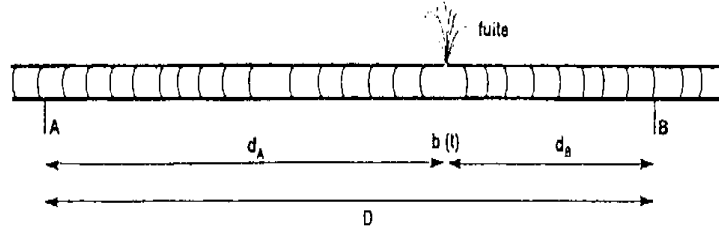


Figure 3.9 Paramètres de position d'une fuite .

Ces bruits, en général gaussiens, ne sont ni Corrélés entre eux, ni avec $A(t)$ et $B(t)$. On aura donc :

$$S_A(t) = A(t) + N_1(t) = \alpha_A b(t - \frac{d_A}{c}) + N_1(t) \quad (3.1)$$

$$S_B(t) = B(t) + N_2(t) = \alpha_B b(t - \frac{d_B}{c}) + N_2(t) \quad (3.2)$$

Avec α_A et α_B coefficients de diffusion compris entre 0 et 1 ; "c" étant la vitesse de propagation dans la conduite.

L'intercorrélation entre S_A et S_B est :

$$\begin{aligned} \Gamma_{AB} &= E[S_A(t)S_B(t-t)] \\ &= E[(\alpha_A b(t - \frac{d_A}{c}) + N_1(t))(\alpha_B b(t - \frac{d_B}{c} - t) + N_2(t))] \\ \Gamma_{AB} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} [(\alpha_A b(t - \frac{d_A}{c}) + N_1(t))(\alpha_B b(t - \frac{d_B}{c} - t) + N_2(t))] dt \end{aligned} \quad (3.3)$$

Soit, en raison des hypothèses ci-dessus, et en supposant les erreurs d'estimation négligeables :

$$\Gamma_{AB}(\tau) = \frac{\alpha_B}{\alpha_A} \Gamma_{AA}(\tau - \tau_0) \quad (3.4)$$

$$\text{Avec : } \tau_0 = \frac{d_A - d_B}{c} \quad (3.5)$$

$\Gamma_{AB}(\tau)$ est donc, au coefficient $\alpha = \frac{\alpha_B}{\alpha_A}$ près, la fonction d'autocorrélation de $S_A(t)$,
translatée de τ_0 , figure (3.10).

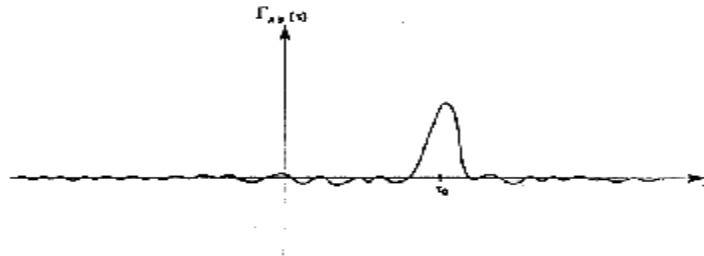


Figure 3.10 Fonction d'autocorrélation

Remarque : La relation (3.3) 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 (3.11) que le graphe obtenu présente la «développée» de la section de conduite considérée, et l'emplacement du pic de corrélation est à l'échelle, la position de la fuite. La fonction de corrélation est donc directement interprétable, même pour un non-initié.

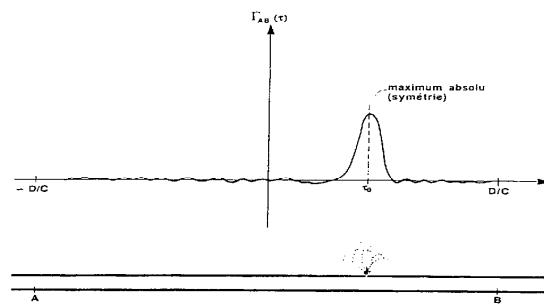


Figure 3.11 L'emplacement du pic de corrélation qui montre la fuite sur un canal.

On a évidemment, puisque $\tau_0 = \frac{dA - dB}{c}$

$$\frac{-D}{c} \leq \tau_0 \leq \frac{D}{c} \quad (3.6)$$

$$dA - dB = c\tau_0 \quad (3.7)$$

$$dA + dB = D \quad (3.8)$$

$$dA = \frac{c}{2}\tau_0 + \frac{D}{2} \quad (3.9)$$

$$dB = \frac{D}{2} - \frac{c}{2}\tau_0 \quad (3.10)$$

3.2 Mise en œuvre du programme

Une fois les échantillons acquis dans les deux mémoires PM et DM, le calcul de la fonction de corrélation commence et cela en passant au sous programme **corr_cal** qui comporte deux boucles imbriquées : une boucle extérieure « corr_loop » exécutée (M+1) fois, où à chaque exécution on fait une lecture des données à partir des deux mémoires. Les pointeurs de données d'entrées sont également mis à jour pour pointer sur les deux buffers de données. Quand le calcul est terminé, le résultat obtenu est transféré vers un segment mémoire de la Ram DM à partir de l'adresse h#0400. La boucle intermédiaire « data_loop » est exécutée M fois, où à chaque exécution on met à jour les pointeurs de données d'entrée pour la donnée suivante. Le calcul continue jusqu'à l'obtention des M valeurs de la fonction de corrélation. La plus grande des valeurs obtenues est prise en considération pour le calcul de la position de fuite. Valeur à partir de laquelle, on peut connaître le temps qui entre dans la détermination de cette position. La figure 3.12 représente l'organigramme de calcul de la fonction inter - corrélation des signaux provenant des deux canaux pour la détection et la localisation de la fuite.

Dans la pratique la fonction d'intercorrélation est donnée par :

$$\Gamma_{AB}(K) = \frac{1}{N-K} \sum_{n=1}^{N-K} S_A(n).S_B(n+K) \quad \begin{cases} 0 \leq K \leq M \text{ p } N \\ 1 \leq n \leq N-K \end{cases} \quad (3.11)$$

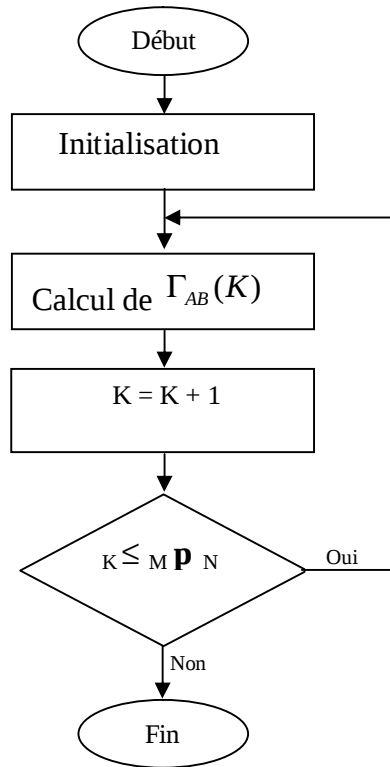


Figure 3.12 Organigramme de calcul de la fonction d'intercorrélacion

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté notre système de détection proposé pour la localisation d'une seule fuite. Le travail a porté essentiellement sur la conception et la mise en œuvre des programmes d'acquisition et de traitement des signaux de fuites provenant des capteurs. Une interface d'acquisition a été proposée dans ce sens pour acquérir les échantillons des signaux en entrée. Le cœur de ce système de détection est bien le microprocesseur DSP utilisé. Assumant le rôle d'esclave, celui-ci effectue l'acquisition et le traitement des signaux de fuites. Les performances du système sont alors liées aux caractéristiques de calcul de ce DSP. On parle essentiellement de la précision de calcul et de la rapidité de traitement. Le chapitre suivant va donc faire l'objet d'une étude en simulation permettant l'évaluation des performances de ce processeur.

CHAPITRE IV

EVALUATION DES PERFORMANCES

INTRODUCTION

Ce chapitre est dédié à l'évaluation des performances du système de détection proposé. Il s'agit de valider principalement le choix du DSP utilisé en respectant les critères déjà énoncés. Nous procédons par simulation aux tests de fonctionnement et de validation des programmes ainsi développés. Le but est de tester dans un premier temps le bon fonctionnement des programmes d'acquisition et de traitement. Leur validation du point de vue performances, est effectuée par la suite. Une étude en matière de précision et de rapidité de calcul est particulièrement opérée en ce sens.

1. SIMULATION

1.1 Outil de développement

Le système de développement proposé sur PC pour le processeur ADSP -2100, permet le développement et la réalisation des programmes en langage assembleur de celui-ci figure(4.1) [22]. Le programme source est d'abord édité, puis assemblé par un module dit assembleur. Celui-ci permet de traduire les modules écrits en code source, en modules présentés sous forme de code objet. Cet assemblage s'effectue en un seul passage, et fournit une large gamme de diagnostic. Lié par l'éditeur de liens, le programme en code objet est transformé en code exécutable (.EXE) pour être exécuté par le processeur DSP. Le programme ainsi présenté peut directement être chargé au niveau du simulateur, qui réalise une simulation des instructions sous une forme interactive et symbolique. Ce module supporte le désassemblage symbolique tout en simulant la structure matérielle décrite à l'aide du module buildeur qui permet de définir .
l'architecture environnante du processeur. Celui-ci reflète essentiellement la configuration de la RAM externe du DSP.

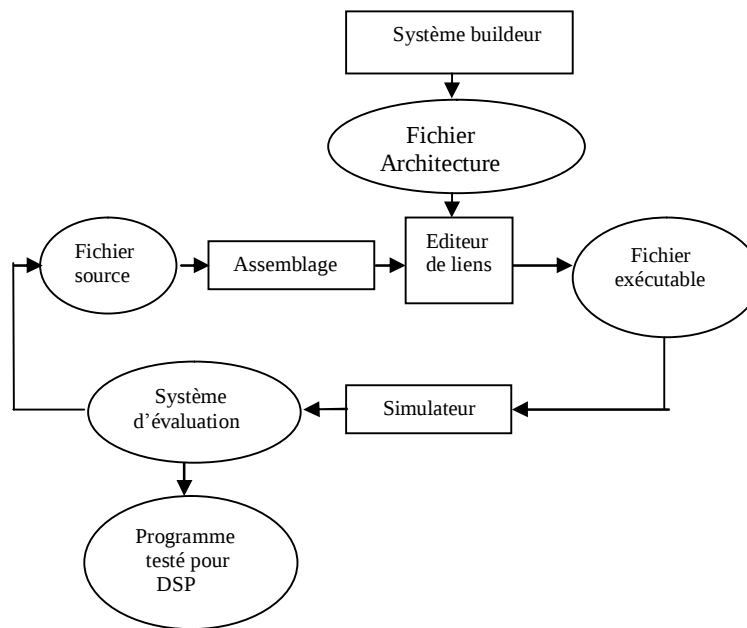


Figure 4.1 Système de développement de l'ADSP-2100

1.2 Procédé de simulation

Pour évaluer les performances du système de détection proposé, il est impératif de valider la technique de corrélation acoustique employée. Pour se faire, nous évaluons par simulation les performances du DSP choisi en matière de précision de calcul et de rapidité de traitement. L'algorithme est dans ce cas implanté à la fois sur le PC fonctionnant en virgule flottante, et sur le DSP qui utilise un format en virgule fixe 1.15 complément à deux. Les données d'entrée, tels que les échantillons (N) des signaux $S_A(t)$ et $S_B(t)$, la durée de décalage (M) etc., sont générés et présentés aux deux processeurs de calcul (PC et DSP). Une comparaison entre les échantillons fournis, est effectuée sur la base des résultats obtenus.

Le procédé de simulation suit le cheminement indiqué à la figure (4.2). La première étape concerne la génération des signaux d'entrée à l'aide d'une fonction aléatoire. Les échantillons obtenus sont convertis par le PC en format fixe 1.15 pour être exploités par le DSP. Il y'a ensuite acquisition de ces échantillons par le DSP au niveau des deux mémoires PM et DM. Le calcul de la fonction corrélation n'est effectué alors que lorsque tous les échantillons des deux canaux sont acquis en mémoire. Le résultat exprimant ce calcul (position de la fuite) est stocké en mémoire DM. Inversement, ces échantillons sont convertis du format 1.15 au format réel, pour être exploités et comparés aux échantillons fournis par le PC. L'analyse des résultats en matière de précision de calcul et de rapidité de traitement représente la dernière étape à effectuer.

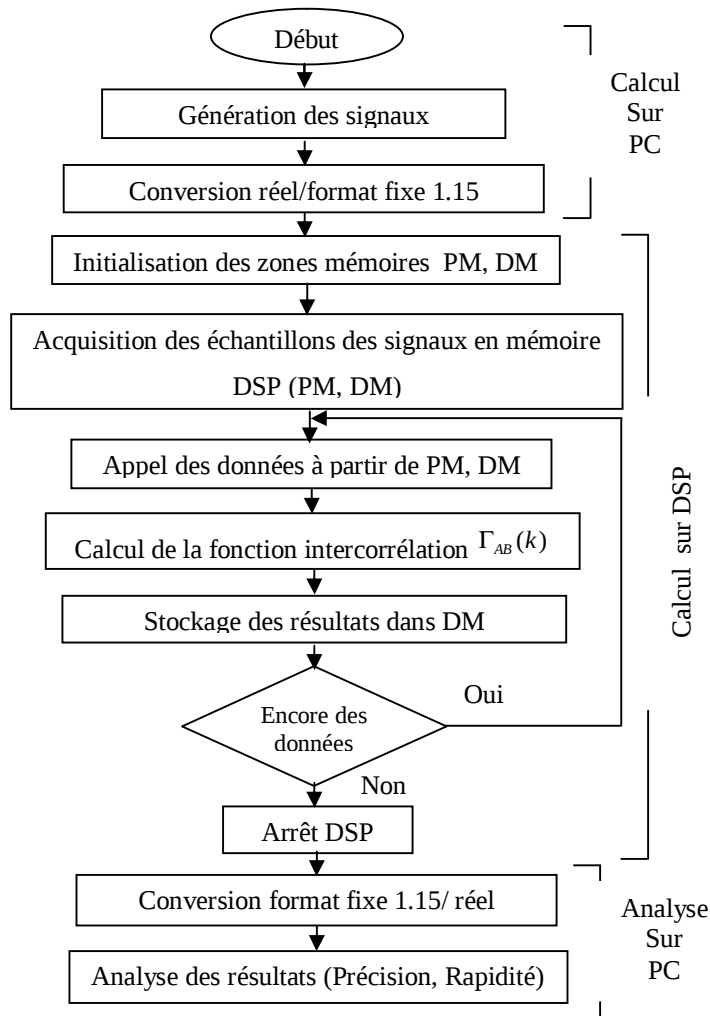


Figure 4.2 Organigramme de simulation

2. TEST DE FONCTIONNEMENT

Un exemple est illustré à la figure (4.3) montrant le calcul de la fonction intercorrélacion des deux signaux, opéré sur PC (800 MHz) et DSP. Les échantillons d'entrée/sortie sont $N=256$ et $M=64$; $R1=62$, $R2=12$, représentent les retards de propagation correspondants. L'abscisse du pic obtenu est à la position de la fuite simulée où le signal est transmis. Cet exemple a été réalisé en suivant la procédure montrée précédemment, et le résultat fournis est obtenu de manière similaire aussi bien sur le PC que le DSP. Le temps de calcul opéré par le DSP, soit 1.7 ms, est de quatre (04) fois plus court que celui opéré par le PC. Sur le plan de la vitesse il est donc quatre fois plus rapide.

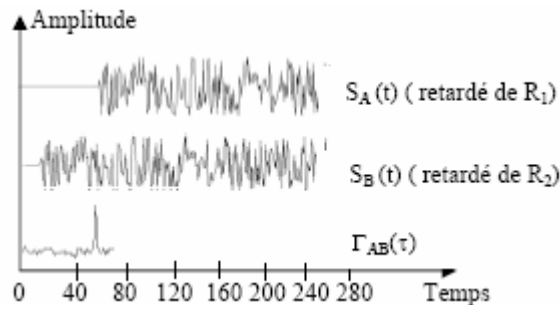


Fig. 4.3 Pic de corrélation représentant la position de la fuite

3. EVALUATION DES PERFORMANCES

Le choix d'un DSP pour une application donnée est conditionné par son coût relatif au système de détection global, et par sa capacité de traitement vis-à-vis de la complexité des opérations à effectuer. Comme le processeur ADSP-2100 à virgule fixe, étant le moins cher de la famille des DSP d'Analog Devices, donc le plus économique, il serait utile de confirmer son choix en vérifiant les deux critères de performances, à savoir sa précision de calcul et sa rapidité de traitement.

3.1. Précision

Afin d'évaluer de manière expérimentale la précision de calcul, une comparaison directe est opérée sur les résultats fournis par le PC (32 bits) et le DSP (16 bits). L'erreur relative entre le PC et le DSP est évaluée pour un nombre d'échantillons $N = 128, 256$, et 512 avec des données comprises entre 0.99 et -1 . Une évolution de l'erreur relative de calcul est montrée aux figures suivantes : Figure (4.4), Figure (4.5) et Figure (4.6)

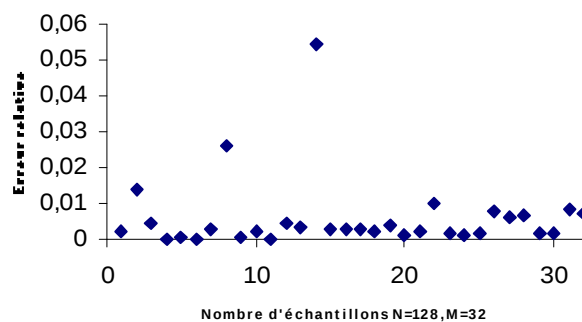


Figure 4.4 Evolution de l'erreur relative pour $N = 128$, $M = 32$

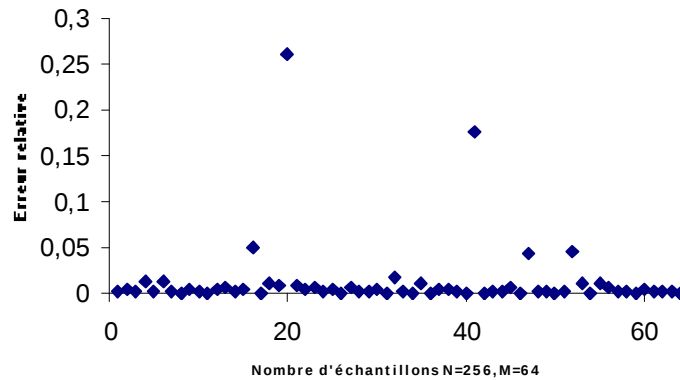


Figure 4.5 Evolution de l'erreur relative pour $N = 256$, $M=64$

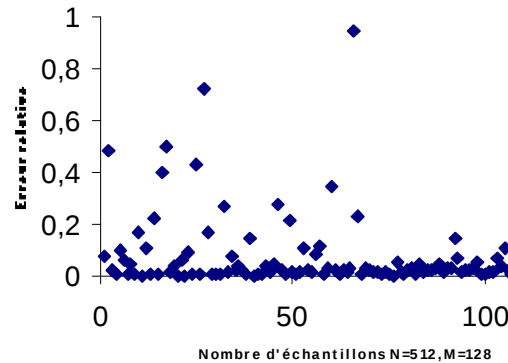


Figure 4.6 Evolution de l'erreur relative de calcul pour $N= 512$, $M=128$

La plage de variation de cette erreur est située dans 0-0.2 % pour $N=128$. Une précision largement suffisante malgré le calibrage des données en entrée. Une possible dégradation reste liée au nombre important N d'échantillons à traiter. Ce cas est illustré dans les figures 4.5 et 4.6, où cette erreur a augmenté jusqu'à 4% pour $N=512$. Une explication peut être donnée à cet effet, qui consiste à dire que le MAC à 40 bits du DSP en est pour cause principale. En effet, toutes les opérations de multiplication-accumulation sont effectuées avec arrondi. D'autant plus que les dépassements de capacité n'ont pas eu lieu du fait de la dynamique des données réduite de moitié.

3.2. Rapidité

Pour évaluer le DSP en matière de rapidité de traitement, une comparaison directe des temps d'exécution de l'algorithme de corrélation effectué à la fois sur PC (pour 800MHz et 2.53GHz) et sur le processeur ADSP-2100 fonctionnant à 10 MHz. Les tests opérés sont effectués pour $N = 64, 128, 256$ et 512 points. Dans la figure (4.7a), on montre l'évolution du temps de calcul réalisé par les deux processeurs. Pour un PC fonctionnant à une vitesse de 800 MHz, soit 80 fois plus rapide, le DSP, exécute l'algorithme 2 à 16 fois plus rapidement. Cependant, le PC à 2,53 GHz n'est que doublement plus rapide que le DSP. [23]

Ces résultats confirmés avec un autre test (figure 4.7b), utilisant un PC P4 de 2.42 GHz, montrent en premier lieu à quel point l'architecture Harvard des DSPs est adaptée pour ce type d'algorithmes. Les opérations du MAC exécutées en un seul temps de cycle au niveau du DSP en est pour cause prépondérante. Le double accès en mémoire externe PM et DM en est aussi une cause non négligeable. Enfin, il est à souligner que l'ADSP-2100 effectue de manière très rapide les boucles de programmes grâce à sa mémoire cache interne. En effet, lorsque le programme entre dans une boucle, la mémoire cache enregistre ses instructions lors de la première phase, puis alimente le registre du séquenceur pour toutes les passes suivantes. La mémoire programme est ainsi libre de délivrer des données sans occasionner de cycle perdu. En plus de ces performances, le calibrage des données adopté comme solution au problème de dépassement de capacité, a joué un rôle non négligeable dans l'augmentation de la vitesse de calcul du DSP.

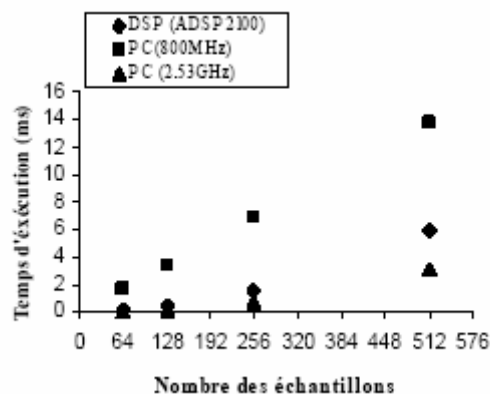


Figure 4.7a Evolution du temps de calcul en fonction de N (DSP et PC)

Les résultats montrent clairement que les deux critères de performance (précision et rapidité) sont vérifiés. Le moindre coût présenté par ce DSP en est un avantage non négligeable, ce qui a justifié son emploi dans cette application.

4. EXTENSION ET AMELIORATIONS

4.1 Extension multivoie

L'acquisition multicanaux des échantillons peut être accomplie comme dans le cas à deux voies, sous le contrôle des interruptions IRQ0 et IRQ1. Dans ce cas, il suffit de mettre uniquement plusieurs multiplexeurs organisés sous forme d'étages successifs, comme le montre d'ailleurs la figure 4.8. L'interruption IRQ0 correspond à une routine d'acquisition d'un échantillon du signal par le DSP, par contre IRQ1 correspond à une routine d'initialisation (Reset). Les signaux INT0 et INT1 provenant des timers, liés donc à ces interruptions, contrôlent un générateur d'adresses (compteur). Le signal INT0 excite ce compteur afin de générer les différentes adresses pour le multiplexage des différents canaux. INT1 sert de réinitialisation du compteur donc du multiplexeur (signal RAZ).

L'acquisition est séquentielle quasi-simultanée; c'est à dire qu'elle est effectuée canal après canal tel que un et un seul échantillon est acquis par voie. On peut considérer donc cette acquisition comme une acquisition flash. Les échantillons correspondant au canal N° 0 sont acquis au niveau de la routine IRQ1 (=INT1), car au moment de la réinitialisation du compteur par INT1, c'est le canal 0 qui est sélectionné. Les échantillons des autres canaux

sont sélectionnés et acquis au niveau de la routine IRQ0 (=INT0), car au moment de la présence du signal INT0 au niveau du compteur pour sélectionner un canal, l'interruption IRQ0 se déclenche en même temps pour l'acquisition de l'échantillon correspondant. Les échantillons ainsi acquis sont transférés au niveau de la RAM données du DSP où ils seront logés dans des segments mémoire prédéfinis pour chacun des canaux.

L'arrêt du processus d'acquisition est accompli une fois que le nombre d'échantillons indiqué par l'opérateur ait expiré.

Soient :

INT0, signal d'horloge du timer excitant le compteur (multiplexage des différents canaux) ;

INT1, signal d'échantillonnage = RAZ du compteur).

n = nombre de canaux

T_{mux} = durée de multiplexage d'un canal à un autre.

T = période des signaux d'entrée (cas des signaux périodiques).

k = facteur d'échantillonnage qui ne peut être que ≥ 2 afin de satisfaire le théorème de Shannon.

On établit la relation suivante :

$$n T_{\text{mux}} = T/k \quad \text{avec : } k \geq 2 \quad (4.1)$$

D'une manière générale cette relation devient :

$$n F_{\text{max}} = f_{\text{mux}}/k \quad (4.2)$$

On encore :

$$n = 1/k \cdot f_{\text{mux}} / F_{\text{max}} \quad (4.3)$$

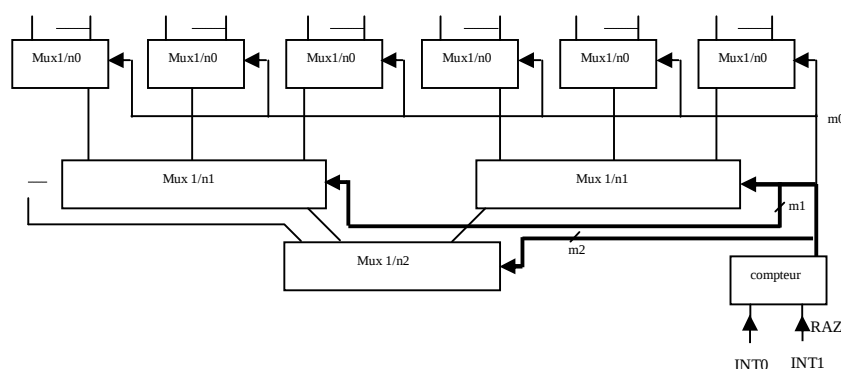


Figure 4.8 Circuit de multiplexage étendu

4.1.1 Analyse

L'acquisition d'un échantillon ne se résume pas en fait au niveau du circuit de multiplexage et de conversion A/N. Cette tâche est plutôt liée à la durée qu'effectue la routine d'acquisition du processeur DSP. C'est en fait cette durée qui limite le multiplexage des différents canaux. Autrement dit, le multiplexeur n'a pas besoin de commuter vers un autre canal si le processeur n'a pas encore fini son acquisition, une acquisition concrétisée par la lecture et le stockage de l'échantillon par le DSP vers sa mémoire. Cette routine (correspondant à IRQ0) est évaluée d'après le programme à 600 ns (soit $T_0 = 6.T$, tq $T=100$ ns, temps de cycle du DSP), d'où une fréquence de multiplexage effective de 1.6 MHz. Cette durée est de loin plus importante que celle nécessaire à la conversion A/N et au multiplexage des canaux. La durée correspondant à IRQ1 (routine Reset) est plutôt évaluée d'après la formule empirique indiquée ci après.

$$T_1 = 13 T + T_0 (n-1) \quad (4.4)$$

Avec : T = temps de cycle du DSP ;

T_1 = durée de l'interruption IRQ1 (INT1)

n = nombre de canaux, tq $n > 0$.

La sélection d'un seul canal au niveau du circuit de multiplexage ($n = 1$) montre que $T_1=13T$, c'est à dire qu'il n'y a acquisition que du seul canal 0 sur une durée totale de $13T$ (soit 1300 ns), durée d'exécution de la routine correspondant à IRQ1 (appelée : T_{offset}). Cependant la durée de cette routine augmente en fonction du nombre de canaux en entrée.

On peut écrire l'expression (4.4) comme :

$$T_1 = T_{offset} + T_0 (n-1) \quad (4.5)$$

Le chronogramme de la Figure 4.9 montre explicitement le timing de ces signaux d'interruption pour trois (3) cas d'acquisition (1 canal, 8 canaux et 16 canaux).

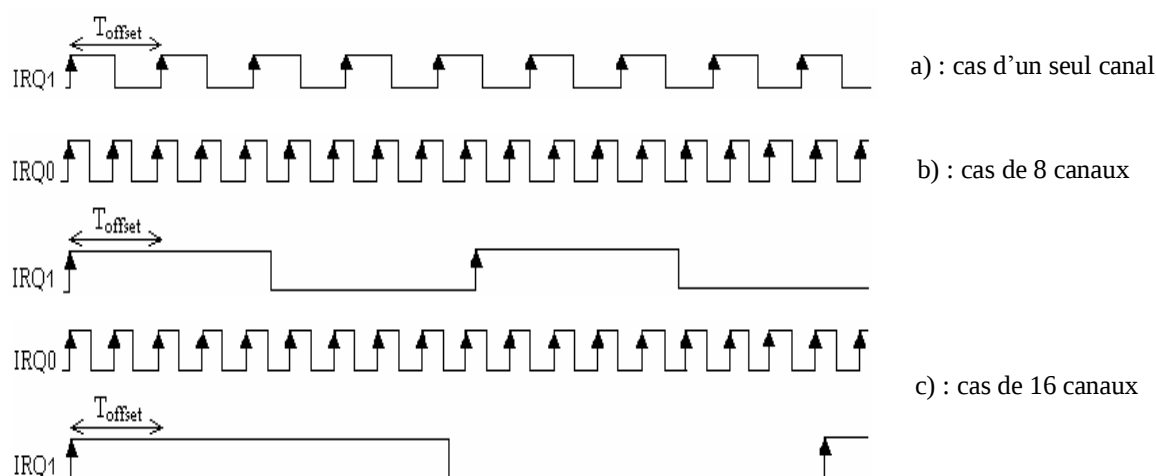


Figure 4.9 chronogramme des interruptions IRQ0 et IRQ1

Dans le tableau de la Figure 4.10 on montre les temps d'exécution limites (T_1) en fonction des canaux présents en entrée du circuit de multiplexage. La durée T_1 ne représente en fait que la durée d'échantillonnage des signaux en entrée. Les valeurs obtenues dans ce tableau montrent pour le cas des signaux de fuites, un maximum de 128 canaux pour le cas des signaux de 6 kHz de fréquence max ou 256 canaux pour le cas des signaux de 3.2 kHz max

Nombre de voie n	T_0 (ns)	T_1 (ns)	$f_e = 1/T_1$ (KHz)	$f_{max} = f_e / 2$ (KHz)
1	600	1300	769	384
2	"	1900	526	263
4	"	3100	322	161
8	"	5500	181	90
16	"	10300	97	48
32	"	19900	50	25
64	"	39100	25	12
128	"	77500	12	6
256	"	154300	6.4	3.2
512	"	307900	3.2	1.6
1024	"	615100	1.6	0.8

Figure 4.10 Tableau : Nombre de canaux aux fréquences d'échantillonnage limites

La courbe indiquée à la Figure 4.11 montre l'évolution du nombre de canaux en entrée du circuit de multiplexage, en fonction de la fréquence d'échantillonnage limite ($1/T_1$) correspondant à chaque nombre de canaux.

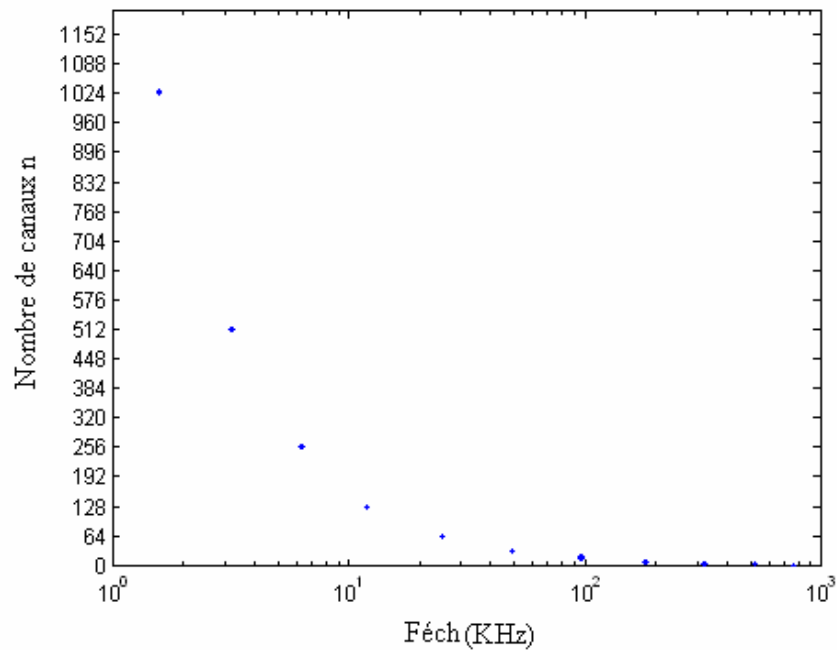


Figure 4.11 Evolution du nombre de canaux en fonction de la fréquence d'échantillonnage limite

4.1.2 Tests de validation

Pour valider ce principe d'acquisition multivoie, nous avons procédé par simuler la présence de plusieurs signaux présentés en entrée. Pour se faire, nous avons édité un fichier de 160 données (0 à 159) en format 1.15. Deux exécutions du programme sont effectuées : une avec 8 canaux de 5 échantillons chacun, et une autre avec 16 canaux de 10 échantillons. Le lancement du programme est effectué une fois que le port d'entrée réservé à ces données est ouvert au niveau du simulateur (port CAN validé), ainsi que la validation des deux interruptions IRQ0 et IRQ1. L'objectif est de stocker les différents échantillons au niveau de la RAM données DSP.

* Exemple de 8 canaux en entrée :

Le fichier de 160 valeurs (0000 à 0159) est présenté en entrée. Le programme effectue dans ce cas une acquisition de 8 canaux de 5 échantillons (valeurs) chacun. Le choix de T0 est toujours égal à 600 ns, alors que T1 est donné d'après la formule (4.4), soit : $T1 = 13 \times 100 + 600 (8-1) = 5500 \text{ ns}$.

Le résultat obtenu après exécution du programme est montré à la Figure (4.12)

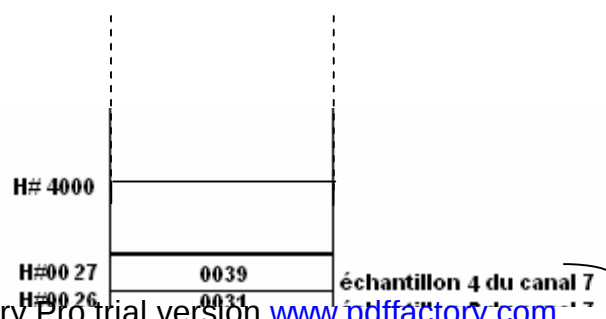


Figure 4.12 Acquisition de 8 canaux de 5 éch chacun

*** Exemple de 16 canaux en entrée :**

Le même fichier de 160 valeurs (0000 à 0159) est présenté en entrée. Le programme effectue dans ce cas une acquisition de 16 canaux de 10 échantillons (valeurs) chacun. Le choix de T0 est toujours égal à 600 ns, alors que T1 est donné d'après la formule (4.1), soit : $T1 = 13 \times 100 + 600 (16-1) = 10300 \text{ ns}$.

Le résultat obtenu après exécution du programme est montré à la Figure (4.13)

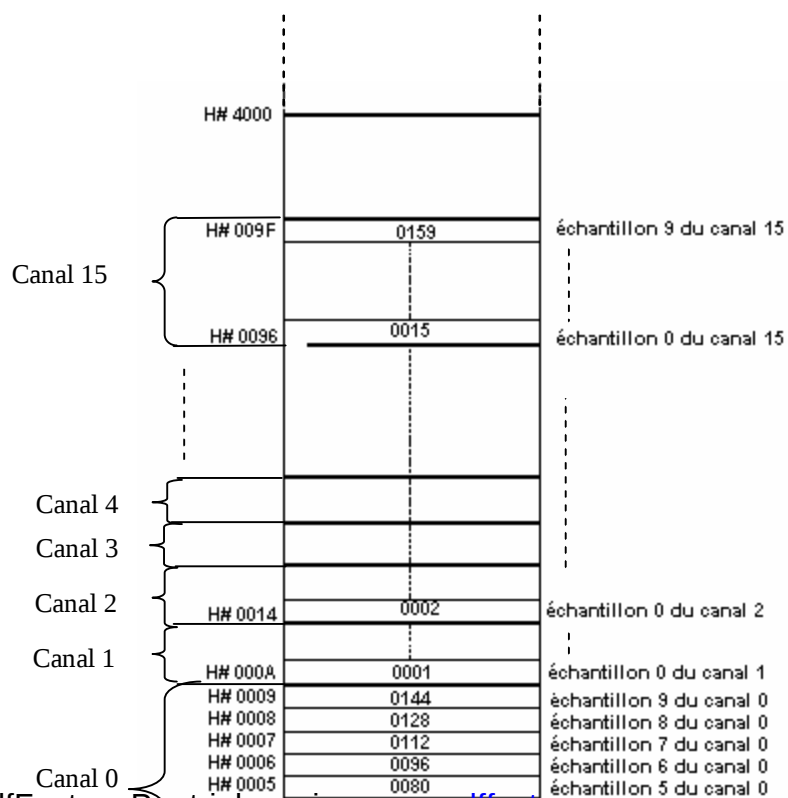


Figure 4.13 Acquisition de 16 canaux de 10 éch chacun

L'exécution du programme pour ces deux exemples montre bien la souplesse avec laquelle opère celui-ci. L'opérateur est libre de choisir le nombre de canaux ainsi que le nombre d'échantillons prévu pour l'acquisition. Différents canaux pour différents échantillons ont été testés, et ont montré le bon fonctionnement de ce principe.

4.2 Améliorations

Quelques aspects peuvent être discutés si on veut améliorer les performances de ce microsystème à DSP. Trois points importants sont à souligner :

* Le circuit de multiplexage :

Comme indiqué à la Figure (4.8), ce circuit est constitué de plusieurs étages de multiplexeurs. Pour l'acquisition d'un nombre important de signaux en entrée, on doit obligatoirement tenir compte de leur vitesse de commutation. Le multiplexeur le plus rapide qui puisse exister sur le marché devrait donc être une priorité de choix. Il faut souligner toutefois que le temps réservé au multiplexage d'un canal avec le temps de conversion A/N doit être inférieur au temps d'acquisition de l'échantillon. Dans le cas contraire, il faut retarder le processeur DSP dans l'acquisition de l'échantillon.

* Extension de la RAM DSP

Pour des raisons de simulation nous avons réservé une partie de la RAM données du DSP pour le stockage des échantillons des canaux acquis. Un nombre important de canaux en entrée exige par conséquent un espace mémoire plus important. Pour ces besoins de stockage de grands volumes de données, il devient donc indispensable d'élargir cette capacité mémoire. L'extension de la mémoire reste possible jusqu'à 64 M mots de 16 bits [25]. L'accès du DSP

à cette extension s'effectue à travers la zone d'intérêt de 1k mots située dans l'espace données. Des registres de gestion de la mémoire définis dans l'espace périphérique du DSP se chargent de la gestion de cette extension par pages de 1k mots se trouvant dans l'extension mémoire. La totalité de cette mémoire étendue peut aussi être lue et/ou écrite par le calculateur hôte (PC) à travers cette fenêtre Figure (4.14).

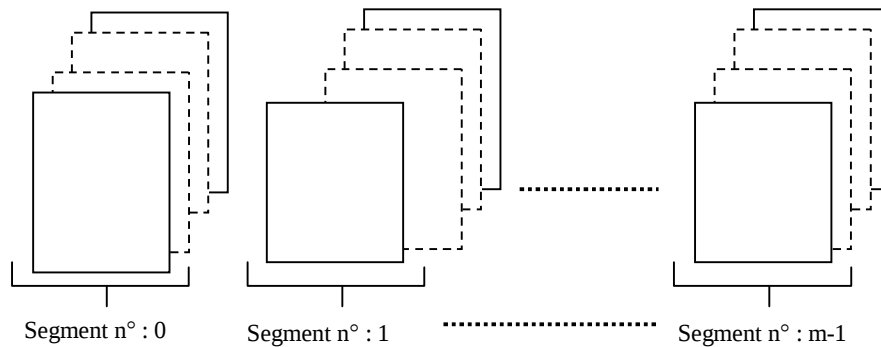


Figure 4.14 Extension mémoire adressée par pages de 1 k mots x 16 bits [25]

* Choix d'un DSP de dernière génération

Dans le but d'améliorer les performances de calcul du microsystème, il est utile, voire indispensable de remplacer le processeur ADSP-2100 utilisé dans cette application par un nouveau arrivé sur le marché appelé : ADSP-2191. Celui-ci de dernière génération, plus rapide que son prédécesseur de 16 fois, soit 160 MHz de vitesse (ou 6.25 ns de temps de cycle) acquiert plus de puissance donc évoque plus d'intérêt dans un traitement multicanaux.

CONCLUSION

Ce chapitre a fait particulièrement l'objet d'une évaluation des performances du DSP utilisé comme unité d'acquisition et de traitement au niveau du système de détection de fuites proposé. Le système de développement du DSP utilisé, a permis le développement et la simulation des programmes clés, à savoir, l'acquisition des signaux et leur traitement dans le but d'une détection de fuite. Une comparaison PC/DSP a été opérée dans le sens d'une validation de fonctionnement et d'une évaluation des performances. Une première évaluation concernant l'exécution de l'algorithme de corrélation à la fois sur PC opérant en virgule flottante et DSP à virgule fixe, a permis de faire une comparaison directe entre les deux processeurs en matière de vitesse de calcul et précision. Le DSP s'est montré très précis et rapide et ce malgré le rapport de vitesse existant avec les autres processeurs. La compatibilité

du code entre ce DSP et ceux de la même famille de dernière génération laisse espérer de meilleurs performances relativement à celles obtenus.

Dans une seconde étape, l'approche multicanaux a été proposée dans le but d'une amélioration des performances du système proposé. Le procédé d'acquisition multicanaux présenté a été validé d'abord par une analyse détaillée. Des tests de simulation d'exécution du programme ont par la suite confirmé son bon fonctionnement sur des exemples d'acquisition d'échantillons (cas de 8 et 16 canaux).

Cette étude en simulation a donc surtout permis une évaluation des performances du système proposé. Notre choix pour ce type d'architecture est bel et bien confirmé. Il justifie les critères déjà annoncés, à savoir le moindre coût, la souplesse et les performances de calcul (précision et vitesse).

CONCLUSION GENERALE

Les divers dispositifs et outils de contrôle existant actuellement de par le monde, sont réalisés dans le but d'assurer une surveillance permanente et efficace des ressources naturelles au niveau des canalisations. C'est dans l'esprit et l'intérêt considérable que présente la détection des fuites dans les réseaux de transport et de distribution, que nous avons tenté d'exposer notre contribution. Le système de détection proposé doit marier à la fois moindre coût, souplesse, et rapidité de traitement. Le critère économique en est pour cause essentielle, quand on sait que le système doit être apte à gérer tout un réseau de conduites.

Pour aborder le problème des fuites, il a bien fallu évoquer dans le premier chapitre l'ensemble des aspects physiques et mécaniques qui caractérisent l'eau. Les réseaux de transport et de distribution de cette ressource naturelle ont été bel et bien décrits. Nous avons particulièrement mis l'accent sur les techniques et moyens mis en œuvre pour réduire les pertes dues aux fuites conséquentes. Une description sommaire a été introduite quant à l'ensemble des techniques de surveillance existantes.

Dans le second chapitre il était question d'une description des détecteurs utilisés actuellement dans différents pays du monde. Il s'agit de détecteurs travaillant selon le principe de l'écoute de bruits captés, et les détecteurs à base de corrélation acoustique. Dans le but de montrer les performances de chacun, des exemples illustrés de leurs caractéristiques techniques ont été décrits. Les systèmes de détection à base de corrélation acoustique considérés comme les plus performants, ont retenu notre attention. Leur grand avantage réside dans le fait qu'ils permettent une détection et localisation à distance des fuites, évitant toutefois tout déplacement de l'opérateur. L'intérêt majeur présenté par ce type de détecteurs, a orienté notre choix pour la conception d'un système de type PC-DSP, où le DSP est un coprocesseur à virgule fixe. Une solution jouissant d'un compromis mariant à la fois, souplesse, moindre coût, et rapidité de traitement. L'architecture proposée de type maître esclave, est structurée autour d'un PC et d'un processeur de traitement numérique de signaux à arithmétique entière. Une solution économique, intermédiaire entre l'utilisation des processeurs classiques, moins chers et plus lents, et les processeurs DSP flottants, plus rapides mais plus onéreux.

Le chapitre trois a été plutôt dédié à la description du système de détection proposé. Nous avons particulièrement proposé notre système de détection pour la localisation d'une seule fuite. Le travail a porté essentiellement sur la conception et la mise en œuvre des programmes d'acquisition et de traitement des signaux de fuites provenant des capteurs. Une interface d'acquisition a été proposée dans ce sens pour acquérir les échantillons des signaux en entrée.

Enfin le dernier chapitre a fait plutôt l'objet d'une évaluation des performances du DSP utilisé comme unité d'acquisition et de traitement au niveau du système de détection de fuites proposé. Le cœur du système de détection est bel et bien ce microprocesseur DSP. Les performances du système en général sont alors liées aux caractéristiques de calcul de ce DSP. On parle essentiellement de la précision de calcul et de la rapidité de traitement. Pour se faire, nous avons utilisé le système de développement du DSP pour développer et simuler les programmes clés, à savoir, l'acquisition des signaux et leur traitement. Une première évaluation concernant l'exécution de l'algorithme de corrélation à la fois sur PC opérant en virgule flottante et DSP en virgule fixe, a permis de faire une comparaison directe entre les deux processeurs en matière de vitesse et précision de calcul. Le DSP s'est montré très précis et rapide, et ce malgré le rapport de vitesse existant avec les autres processeurs. Dans une seconde étape, l'approche multicanaux a été proposée dans le but d'une amélioration des performances du système proposé. Le procédé d'acquisition multicanaux présenté a été validé d'abord par une analyse détaillée. Des tests de simulation d'exécution du programme ont par la suite confirmé son bon fonctionnement sur des exemples d'acquisition d'échantillons (cas de 8 et 16 canaux). Cette étude en simulation a surtout permis une évaluation des performances du système proposé. Notre choix a été bel et bien confirmé. Il a justifié les critères déjà annoncés, à savoir le moindre coût, la souplesse et les performances de calcul (précision et vitesse).

La structure du système de détection proposée a donc été justifiée par le choix d'une architecture bien adaptée. Le critère de souplesse retenu évoque plutôt l'éventualité d'une extension du système vers une structure multivoie laissant envisager la possibilité de contrôler une partie importante de tout un réseau de canalisations. Les tests opérés ont bel et bien confirmé la qualification du DSP utilisé en matière de précision de calcul et de rapidité de

traitement. Les performances obtenues peuvent aussi être améliorées d'avantage, vu la compatibilité du code de l'ADSP-2100 avec les autres DSPs de la même famille. A titre d'exemple l'ADSP-2191 de dernière génération, fonctionnant à 160 MHz, laisse envisager une amélioration importante des performances. Le nombre de fuites à contrôler (cas multivoie) peut être augmenté avantageusement. Enfin l'utilisation des DSPs à virgule flottante restera tout de même une éventualité à ne pas écarter, un compromis est à considérer. Vu son prix moindre, le système reste ouvert dans l'avenir à d'autres possibilités d'extension, tel que le fonctionnement autour d'une architecture multiprocesseur.

ANNEXE

Environnement DSP sous Bildeur

```
.SYSTEM    hard_2100 ;  
.SEG/RAM/ABS=0/PM/CODE      program_mem [h#4000];  
.SEG/RAM/ABS=h#4000/PM/DATA coef_store[h#4000];  
.SEG/RAM/ABS=0/DM/DATA     donnees [h#3E00];  
.PORT/ABS=h#3FFC           TIMER;  
.PORT/ABS=h#3FF9           ADC;  
.PORT/ABS=h#3FFB           CONTROL_REG;  
.ENDSYS ;
```

****** Programme général d'acquisition et de traitement à deux canaux ******

sur ADSP-2100

```
.MODULE/ABS=0                DF2004 ;
.PORT                        ADC ;
.VAR/PM/RAM/ABS=h#4000      channel_1;
.VAR/DM/RAM/ABS=0          channel_2;
.VAR/DM/RAM/ABS=h#400      Result_buffer;
.VAR/DM/RAM/ABS=h#3DF0      N,N1,M,Ni;
.INIT                       N:64;      { N samples}
.INIT                       N1:63;     { N1=N - 1 }
.INIT                       M:32;      { M = N/2 }
.INIT                       Ni : h#0200; { Ni = 1/N }

.EXTERNAL CCorrelation ;
.GLOBAL N,M,channel_1, channel_2, Result_buffer ;

jump acquisition ;
jump reset ;
rti ;
rti ;
my0=dm(Ni) ;
ay0=1 ;
ay1=-1 ;
l0=0 ;
m0=1 ;
i0=^channel_2;
l4=0;
m4=1;
i4=^channel_1;
imask=2;
icntl=3;
out   :      ar=ay0-1;      {wait loop}
                IF EQ jump out;
                imask=3;
```

```

        ay0=1;
        jump out;
acquisition :  ax0=dm(ADC);           { Channel acquisition N°2 }
              dm(i0,m0)=ax0;
rti;

reset:        ar =dm(N1);             { Channel acquisition N°1 }

              ar=ar-ay1;
              IF EQ jump exit;
              ar=ay1+1;
              ay1=ar;
              mx0=dm(ADC);
              mr=mx0*my0(ss);
              pm(i4,m4)=mr1;
              ay0=0;
rti;
exit:
call CCorrelation ;
TRAP.
.ENDMOD;

```

****** Module de calcul de la fonction intercorrélation ******

```
.MODULE    cross_ Correlation ;
.EXTERNAL N, M,channel_1,channel_2 , result_buffer;
.ENTRY    CCorrelation ;
CCorrelation :
i0=^channel_2 ;
m0=1 ;
l0=0 ;
m1=1 ;
l1=0 ;
i2=dm(N) ;
m2=-1;
l2=0;
m4=1;
l4=0;
i4=^channel_1;
m5=1;
l5=0;
m6=1;
i6=^result_buffer;
l6=0;
CNTR=dm(M);
DO corr_loop UNTIL CE;
i5=i4;
i1=i0;
CNTR=i2;
MR=0,MY0=PM(i5,m5),MX0=DM(i1,m1);
DO data loop UNTIL CE;
Data loop:MR=MR+MX0*MY0(SS),MY0=PM(i5,m5),MX0=DM(i1,m1);
MY0=PM(i4,m4);
MX0=DM(i2,m2);
Corr_loop    DM(i6,m6)=MR1;
RTS;
.ENDMOD;
```

***** Programme d'acquisition multivoie *****

```
.MODULE/ABS=0          ACQUISITION –MULTIVOIE ;
.PORT                  ADC ;
.CONST                 Nech= 9 ;
.CONST                 test= -1 ;
jump Acquisition;
jump Reset;
rti;
rti;
imask=2;
l0=0;
m0=10;
i0=0;
ay0=0;
ay1=test;
out1 :
ar=ay0-1;
if NE jump out1;
imask=3;
jump out1;
Acquisition :                { interruption d'acquisition (canal 2) }
    ax0=dm(adc);
    dm(i0,m0)=ax0;
rti;
Reset:                        { interruption Reset (canal 1) }
    ar =nech1;
    ar =ar-ay1;
    if eq TRAP;
    ar= ay1+1;
    ay1=ar;
    i0=ay1;
    ax0= dm(adc);
    dm(i0,m0)=ax0;
    ay0=1;
rti;
.ENDMOD;
```


REFERENCES

- [1] RAYMOND Comolet, Mécanique expérimentale des fluides, Edition DUNOD, 5 édition, Paris, 2002, pp : 3- 4
- [2] INGE L. RYHMING, Dynamique des fluides, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2 édition, Suisse, 1991, pp : 2-3
- [3] VICTOR. METREVELI, Mécanique des milieux continus. Office des publications universitaires , Alger,1990, pp : 39
- [4] N. MIDOUX, Mécanique et rhéologie des fluides en génie chimique, Edition Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, 1988
- [5] C.GOMILA, H.GUERREE, La distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales ,2^{ème} édition, Paris, 1974.
- [6] J. LECONTE, Chaudronnerie et tuyauteries industrielles, Tome 1, Edition Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, Novembre 1991.
- [7] Y.OURAGH, Ecoulements forcés en hydraulique ; Première partie, O. P. U, Alger, 1994.
- [8] A.CHATAIN, Eléments normalisés pour tuyauteries sous pression. Techniques de l'ingénieur.
- [9] L. GASNIER, M. WITTEMBERG, Hydraulique générale et écoulements sous pression. Edition ENTPE, Paris, 1985
- [10] SONALGAZ, Brochure, Tubes de distribution de gaz Décembre 1992
- [11] A DUPONT, Hydraulique urbaine, Edition EYROLLES, Tome 2, Paris, 1971, pp : 40-52
- [12] M. MATANA, Plomberie : canalisation sanitaires, gaz, eau chaude, bruits, Edition HOUMA.
- [13] [www. Cereso.com/prestation_detection-electromagnetique.html](http://www.Cereso.com/prestation_detection-electromagnetique.html)
- [14] Osama Hunaidi, La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau, ISSN, Octobre 2000, Canada, pp : 1206-1239
- [15] www.sewerin.com secorr
- [16] M. Djerioui et M. Ladjal, Simulation de la technique de corrélation acoustique dans un processeur DSP à virgule fixe (Application à la détection de fuites sur les canalisations), Mémoire d'ingéniorat, Université de M'sila, 2002

[17] www.sebareseaux.fr

[18] www.palmer.co.uk

[19] <http://tpe2002.ifrance>

[20] J.MAX et collaborateurs –Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques, 4 édition, Edition MASSON, Paris, 1986, pp : 438-439

[21] J. RIOUT, Capteurs industriels technologie et méthodes de choix, Jouve, Paris, 1986, pp : 69

[22] M.BOUAMAR, Le processeur de signal ADSP-2100 et son système de développement LAAS-CNRS N°89013, Toulouse ,1989

[23] M. Bouamar, M. Ladjal,M. Djerioui, Simulation de la technique de corrélation acoustique dans un processeur DSP à virgule fixe, Premier congrès international sur le Génie électrique, proceeding CIGE'04,10-12, octobre 2004, Sétif, Algérie, pp :151-155

[24] M. Salem et M. Khodja - Acquisition multicanaux à base de microprocesseur DSP à virgule fixe (Application aux signaux de fuites sur les canalisations d'eau), Mémoire d'ingéniorat, Université de M'sila, 2003

[25] N. CHAMI, Etude d'un système biprocesseur à DSP dédié à la surveillance des machines tournantes. Thèse de magister, Université de Sétif, 2001.