

Table des matières

Introduction	5
1 Principe sur la distribution et la ditection de fuite d'eau	7
1.1 Introduction	7
1.2 Généralités sur la mécanique des fluides	8
1.2.1 Définition d'un fluide	8
1.2.2 Liquides et gaz	8
1.2.3 Caractéristiques physique	9
1.3 Alimentation en eau potable	11
1.3.1 Ressource	13
1.3.2 Pompage	13
1.3.3 Traitement	13
1.3.4 Stockage	13
1.3.5 Robinetterie	13
1.3.6 Canalisations	14
1.3.7 Branchement	14
1.3.8 Abonnés	14
1.4 L'exploitation des réseaux	15
1.5 Les plants et le fonctionnement du réseau	15
1.5.1 Les plans du réseau	15

1.5.2	La réparation des fuites	16
1.5.3	Les pertes d'eau	17
1.5.4	Débit et vitesse moyenne	18
1.6	Choix du type de matériaux	19
1.6.1	Tuyaux en fonte	19
1.6.2	Tuyaux en acier	20
1.6.3	Tuyaux en PVC (Polychlorure de Vinyle non Plastifier)	20
1.7	Définition d'un fuite	20
1.8	Les principales causes de fuites	21
1.8.1	Bilans d'eau	21
1.8.2	Détection des fuites	22
1.9	La localisation des fuites	23
1.10	La prélocalisation des fuites	23
1.10.1	Les mesures de nuit	23
1.10.2	Le camion de quantification	24
1.10.3	Les enregistreurs de bruits	24
1.10.4	La localisation précise des fuites	25
1.11	Les facteurs qui influent sur l'efficacité des méthodes acoustiques	27
1.12	Difficulté dans le cas des tubes en plastique	28
1.13	Conclusion	30
2	Les détecteurs des fuites	32
2.1	Introduction	32
2.2	Détecteur AQUAPHON -F	32
2.2.1	Principe	34
2.2.2	Caractéristiques techniques	35
2.3	Le Détecteur HL400 - seba KMT	35
2.3.1	Présentation de l'appareil	35

2.3.2	Caractéristiques techniques	36
2.4	Détecteur DF 3000	37
2.5	Détecteur SeCorr 05	37
2.5.1	Caractéristiques techniques	38
2.6	Détecteur Micro CALL Super Tx	40
2.6.1	Caractéristiques	40
2.7	Conclusion	41
3	Généralité sur le réseau de neurone	43
3.1	Introduction	43
3.2	Définition	44
3.3	Le neurone biologique	44
3.3.1	Structures des neurones biologiques	44
3.3.2	Fonctionnement du neurone biologique	46
3.4	Les neurones artificiels	47
3.4.1	Le neurone formel	48
3.4.2	L'activation du neurone	49
3.5	Architecture des réseaux de neurones	51
3.5.1	Réseaux statiques	51
3.5.2	Réseaux dynamiques	51
3.5.3	Réseaux auto-organisés	51
3.6	Apprentissage des réseaux de neurones	52
3.6.1	Apprentissage supervisé	53
3.6.2	Apprentissage non-supervisé	53
3.6.3	Le renforcement	53
3.6.4	Le mode hybride :	54
3.7	Réseaux de neurones à apprentissage supervisé	54
3.7.1	Réseaux de neurones basés sur la décision	54
3.7.2	Réseaux multicouches statiques :	58

3.8	Algorithmes d'apprentissage des RNA à apprentissage supervisé :	60
3.8.1	Méthode des moindres carrés (Least Mean Square Error) :	60
3.8.2	Rétro-propagation du gradient (backpropagation) :	61
3.9	Problèmes d'apprentissage :	66
3.10	L'application au traitement du signal :	67
3.11	Conclusion	68
4	Réalisation pratique	69
4.1	Introduction	69
4.2	Le circuit hydraulique	70
4.3	Signal temporel	71
4.4	L'application des RNA pour le traitement du ce signal	80
4.4.1	Architecture de réseau RNA avec deux entrées et une sortie : . . .	81
4.4.2	La méthode de rétropropagation	81
4.4.3	La méthode de Levenberg	85
4.4.4	La méthode de Réseau à fonction radiale (RBF)	86
4.5	Comparaison entre les trois méthodes	90
4.6	Conclusion	91
	Conclusion générale	92
	Bibliographie	94

Introduction générale

La fiabilité d’approvisionnement en eau à plusieurs significations, ce n’est pas juste une considération économique, mais aussi la sauvegarde d’une ressource naturelle périssable. Bien que les ressources s’amenuisent, la demande ne cesse d’augmenter. On se doit donc d’avoir des rendements irréprochables.

Une fuite n’est pas seulement une perte économique. C’est aussi le risque de faire pénétrer des impuretés dans le réseau de distribution, qui présente un danger pour la santé publique. Pour un système de distribution d’eau les fuites d’eau présentent une portion importante de l’eau non génératrice de revenus. Selon les recommandations en termes de meilleure pratique d’IWA (International Water Association), pour les études du régime de l’eau plus de 65% des eaux perdus sont dus à une consommation non autorisée de l’eau, à des erreurs de compteurs, à une mauvaise exécution de branchement, la mauvaise qualité des matériaux constituant les canalisations, les défauts de pose et les corrosions internes ou externes des conduites.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante :

- Dans *le chapitre 1*, nous présentons 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 chapitre 2*, 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 chapitre 3* nous présentons une introduction générale aux réseaux de neurones artificiels. Nous parlons de l’évolution des RNA, du neurone biologiques et enfin des différents types de réseaux et des différents algorithmes d’apprentissage.

- *Le chapitre 4* est consacré à la simulation, où nous avons présenté les résultats

obtenus , puis nous analysons et traitons pour chaque cas le signal par l'analyse spectrale de Fourier(FFT).et le réseau de neurone ces simulations sont réalisées avec le logiciel MATLAB, des testes des testes de validation de la méthode proposée cont. être effectuées.

· Et enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale.

Problématique :

La majorité des détecteurs anciens et nouveaux se basent dans leurs principe de fonctionnement sur la corrélation de deux signaux arrivant de deux capteurs placés de part et d'autre de la fuite généralement ces capteurs sont lacées sur les bouches d'eau ces capteurs coûtent chers.Dans notre travail on à proposé une technique se basant sur les caractéristiques statistiques des signaux privant d'un seul capteur(microphone). tel que (moyenne, puissance, variance...ex),ces caractéristiques sont utilisés les réseaux de neurones artificiel avec deux paramètre à l'entrée et un paramètre à la sortie nous avons localiser la position de la fuite.

Chapitre 1

Principe sur la distribution et la detection de fuite d'eau

1.1 Introduction

La distribution de l'eau se fait par un système de canaux et de conduites. D'une manière générale, le système de distribution souffre des cassures incessantes. Dans les vieux quartiers, les cassures sont dues soit aux travaux de canalisation (téléphone, gaz, assainissement) soit à la corrosion des conduites. Dans les nouveaux quartiers la situation est plus préoccupante. Les conduites sont en PVC et, au niveau des coudes, les cassures sont fréquentes. La pression excessive provoque aussi des cassures par "coup de bélier ".

Dans la plupart des réseaux de distribution, une forte proportion de l'eau se perd pendant le transport entre les usines de traitement et les points de consommation. Le volume perdu est généralement de 20 à 30 % de la quantité produite. Dans certains réseaux, en particulier les plus anciens, les pertes peuvent atteindre 50 %. Les pertes d'eau peuvent avoir plusieurs causes : fuites, erreurs de mesure, utilisation publique. La cause principale est généralement les fuites.

La distribution d'eau est de plus en plus une activité d' haute technologie . chaque

constitution d'un système de distribution concourt de façon décisive à la qualité du service de l'eau.

A coté des captages et des stations de traitement, les réseaux de transport et de distribution sont tout aussi importants.

1.2 Généralités sur la mécanique des fluides

1.2.1 Définition d'un fluide

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres [1]. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entres particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient, par exemple : les métaux en fusion sont des fluides qui permettent par moulage d'obtenir des pieces brutes de formes complexes.

1.2.2 Liquides et gaz

Les liquides et gaz habituellement étudiés sont isotropes, mobiles et visqueux. La propriété physique qui permet de faire la différence entre les deux est la compressibilité.

- l'isotropie assure que les propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace.

- la mobilité fait qu'ils n'ont pas de forme propre et qu'ils prennent la forme du récipient qui les contient.

- la viscosité caractérise le fait que tout changement de forme d'un fluide réel s'accompagne d'une résistance (frottements).

1.2.3 Caractéristiques physique

Les fluides peuvent être classés en fluides parfaits (sans frottement), fluides réels (avec frottement), fluides incompressibles (liquides) et fluides compressibles (gaz). Les fluides sont caractérisés par les propriétés suivantes : la masse volumique, le poids volumique, la densité et la viscosité. Ces propriétés seront utilisées ultérieurement.

Masse volumique

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1.1)$$

où :

ρ : Masse volumique en $(\frac{kg}{m^3})$.

m : masse en (kg) .

v : volume en (m^3) .

Le tableau 1.1 donne la valeur de ρ pour différents types de matériaux.

Fluide	Masse volumique $\rho(\frac{kg}{m^3})$
Benzène	0,880. 10^3
Chloroforme	1,489. 10^3
Eau	10^3
Huile d'olive	0,918. 10^3
Mercure	13,546. 10^3
Air	0,001205. 10^3
Hydrogène	0,000085. 10^3
Méthane	0,000717. 10^3

Tableau(1.1) : la valeur de ρ pour différents types de matériaux

Poids volumique

$$\varpi = \frac{mg}{v} = \rho g$$

où :

ϖ : Poids volumique en $(\frac{N}{m^3})$.

m : masse en (kg) .

g : accélération de la pesanteur en $(\frac{m}{s^2})$.

v : volume en (m^3) .

Densité

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (1.2)$$

Dans le cas des liquides on prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

- Viscosité dynamique :

$$F = \mu s \frac{\Delta v}{\Delta z} \quad (1.3)$$

où :

F : force de glissement entre les couches en (N) ,

μ : Viscosité dynamique en $(kg/m.s)$,

s : surface de contact entre deux couches en (m^2) ,

Δv : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s) ,

Δz : Distance entre deux couches en (m) .

- Viscosité cinématique

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

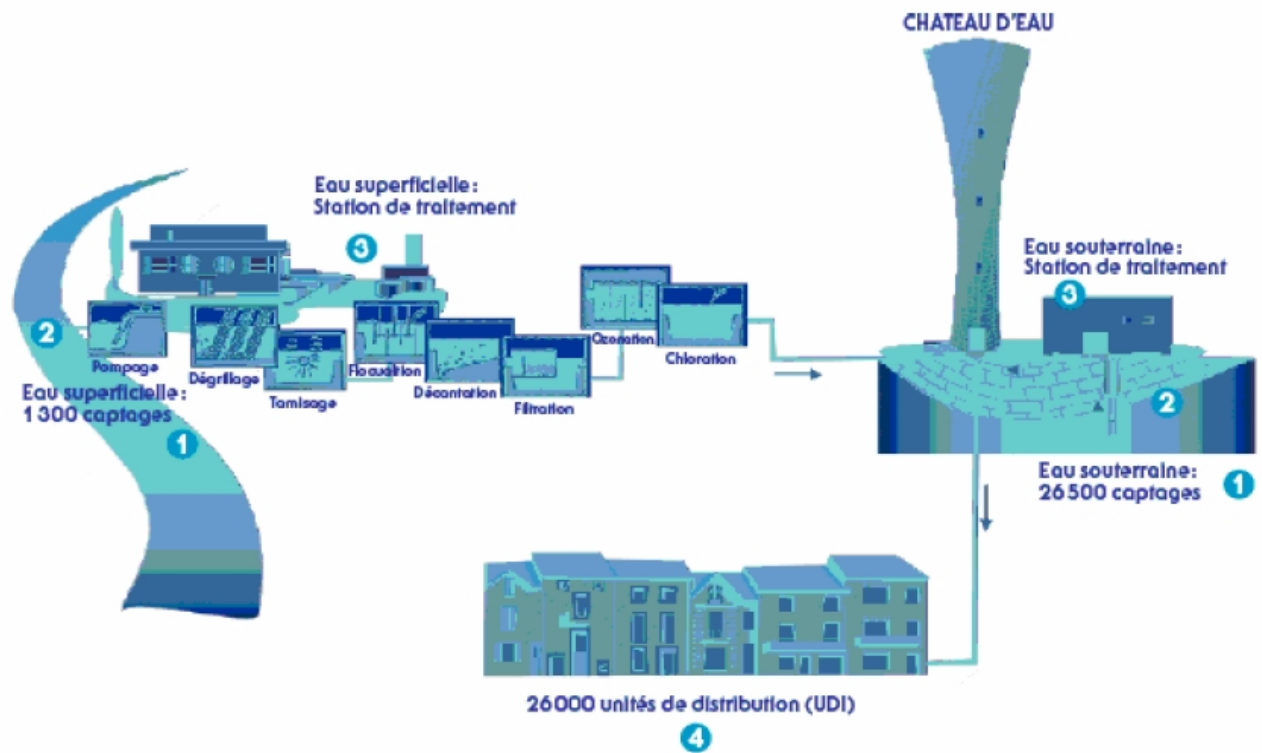
L'unité de la viscosité cinématique est le (m^2/s) .

1.3 Alimentation en eau potable

Depuis son captage dans le milieu naturel jusqu'au robinet du consommateur, l'eau nécessite de nombreuses infrastructures pour son transport *Figure(1.1)*[2] :

1. les ouvrages de captage.
2. les ouvrages de traitement.
3. les stations de pompage.
4. les réservoirs.
5. les canalisations.

Ainsi que des équipements de régulation, d'automatisme ou de surveillance.



Figure(1.1) : Organisation d'une alimentation en eau potable

1.3.1 Ressource

L'eau à potabiliser, appelée eau brute, provienne à 60% des nappes souterraines (forage, source, captage) et pour 40% des eaux de surface (rivières, lacs, retenues. . .). Dans tous les cas, il importe de protéger cette ressource contre les pollutions accidentelles ou les malveillances par la mise en place de périmètres de protection [2].

1.3.2 Pompage

Dans asions : entre la ressource et le traitement, pour l'acheminer vers un réservoir ou pour desservir directement certains usager un système de distribution d'eau potable, l'eau peut être pompée à plusieurs occ [2].

1.3.3 Traitement

La qualité de l'eau brute est variable suivant son origine et suivant les saisons. Pour la rendre potable, elle subit un traitement avant distribution. Il peut s'agir d'une usine complexe pour les eaux de surface (dégrillage, oxydation, coagulation-floculation, décantation, filtration. . .) ou de traitement plus simple (élimination de composés indésirables comme le fer ou le manganèse) pour les eaux souterraines. Dans tous les cas, une désinfection permet de se prémunir contre le risque bactériologique[2] .

1.3.4 Stockage

L'eau est stockée dans des réservoirs situés après l'usine de traitement et généralement après un pompage.

1.3.5 Robinetterie

Les réseaux d'eau potable comportent des accessoires qui facilitent la maintenance et l'entretien du réseau, régulent les paramètres de l'écoulement de l'eau (débit, hauteur, pression. . .), ou permettent de disposer de points de puisage sur le réseau [2].

On citera notamment :

1. les vannes (coupure de l'eau).
2. les ventouses (évacuation de l'air).
3. les vidanges.
4. les régulateurs de pression, de débit ou de niveau.
5. les poteaux incendie , les bornes de puisage. . . .

1.3.6 Canalisations

La distribution de l'eau potable jusqu'au consommateur s'effectue par un réseau souterrain de canalisations. On distingue les canalisations d'adduction (destinées au transport des gros débits) et le réseau de distribution (assurant la desserte vers tous les utilisateurs) . Les matériaux les plus couramment utilisés sont la fonte, le PVC , le polyéthylène , l'acier, le béton. Les diamètres varient de 20 mm pour les branchements jusqu'à plus de 2 mètres pour les canalisations d'adduction des très grands centres urbains. Un réseau bien entretenu est un réseau fiable [2].

1.3.7 Branchement

Destiné au raccordement des consommateurs sur le réseau de distribution, c'est la liaison entre le réseau public et le domaine privé. Le compteur est l'élément principal du branchement. Il comptabilise l'eau fournie à l'utilisateur et lui permet de surveiller sa consommation. En général, le compteur marque la limite de responsabilité entre la collectivité et l'abonné [2].

1.3.8 Abonnés

Les abonnés représentent chacun des foyers et chacune des entreprises utilisant l'eau du réseau. Les droits et obligations des abonnés vis-à-vis du distributeur d'eau sont définis dans le règlement du service des eaux.

1.4 L'exploitation des réseaux

Les tâches d'exploitation courante font partie intégrante de la mission du gestionnaire de réseau et de la lutte contre le gaspillage. Elles doivent permettre de satisfaire les exigences des usagers, aussi bien en termes de quantité que de qualité d'eau distribuée[2]. Elles doivent également contribuer à la préservation durable de la qualité de l'eau. Les travaux d'exploitation visent donc, à la fois à pérenniser la durée de vie des ouvrages mais également à optimiser leur fonctionnement. Ils se déclinent le plus souvent sous la forme de procédures permettant de définir les moyens matériels à mobiliser, les périodes les plus favorables ainsi que le temps nécessaire à leur exécution. A l'issue de leur réalisation, il est recommandé de rédiger des rapports d'intervention permettant de répertorier toutes les informations susceptibles d'être exploitées :

- Pour améliorer les pratiques.
- Pour avoir une plus grande lisibilité sur le travail accompli.
- Pour la mise au point d'outils de décision (renouvellement) ou de suivi (indicateurs).
- Dans le cadre d'études statistiques.
- Dans le cadre de la modélisation d'un réseau ou d'un service. . . .
- Dans le cadre d'une démarche qualité.

En résumé, l'exploitant doit posséder une vision dépassant le cadre strict de ses attributions.

Il est aussi le garant de l'utilisation raisonnée de la ressource en eau.

1.5 Les plants et le fonctionnement du réseau

1.5.1 Les plans du réseau

C'est l'outil de base pour l'exploitation et la connaissance d'un réseau.

- Le plan d'ensemble permet d'avoir une vue générale du réseau et de repérer les ouvrages importants et les principales canalisations (avec leurs diamètres). On utilise

fréquemment les fonds de plan IGN, (échelle 1/25 000 ou 1/10 000).

- Les plans détaillés ou plans de masse, en général sur fond de plan cadastral, indiquent la nature, le diamètre des canalisations, et repèrent les principaux accessoires du réseau :

vannes, ventouses, vidanges, branchements,... (échelle 1/2 000 ou 1/2 500).

- Les plans de récolement restituent sur plan le relevé précis des travaux réalisés. Fournis après chaque tranche de travaux, ils servent de base à la mise à jour des plans du réseau.

- Les carnets de vannage où les accessoires hydrauliques et les branchements du réseau sont repérés par rapport à des points fixes (triangulation). Aujourd'hui, les plans papier sont de plus en plus remplacés d'améliorer le stockage et la gestion de ces plans. Les bases de données associées peuvent être utilisées pour récolter des renseignements supplémentaires utiles dans la gestion abonnés sensibles,...

Une fois réalisés, les plans seront utilisés dans chacune des étapes du diagnostic. Ils constitueront un outil indispensable pour l'exploitation du réseau. Il convient donc d'attacher une attention particulière à leur actualisation lors de la modifications du réseau ou des branchements [2].

1.5.2 La réparation des fuites

Cela suppose d'avoir localisé précisément la fuite et la position de la conduite, d'où l'importance d'avoir des plans à jour . Les exploitants consacrent beaucoup de temps à cette activité car les réseaux présentent un nombre important de fuites. Il s'agit d'opérations délicates car réalisées dans des conditions difficiles (terrains gorgés d'eau, proximité des réseaux électriques, de gaz. . .) et, par voie de conséquence, assez fréquemment à l'origine de dégradations de la qualité de l'eau. Ces opérations doivent être menées avec la plus grande rigueur et le plus grand soin :

- o Les phases de coupure d'eau peuvent provoquer des pollutions par le phénomène de retour d'eau.

- o Les opérations sont réalisées selon des procédures bien établies et accompagnées à

chaque fois d'une désinfection.

1.5.3 Les pertes d'eau

Les pertes d'eau correspondent à la différence entre le volume mis en distribution et le volume utilisé sur le réseau :

$$\text{Pertes d'eau} = \text{volume mis en distribution} - \text{volume consommé}$$

La notion de pertes d'eau varie selon les valeurs prises en compte dans l'estimation des volumes utilisés : volumes consommés comptabilisés ou volumes consommés non comptés.

Principales composantes de ces pertes

- *Les défauts de comptage*

Ce sont les erreurs entre le volume relevé et le volume qui a réellement transité par l'appareil de comptage. On distingue :

- Le dérive des compteurs : on observe en général un sous-comptage des compteurs avec le temps.
- Les compteurs bloqués ou faussés.
- Les appareils sur-dimensionnés ou mal installés : dans ces circonstances, l'insensibilité aux petits débits peut entraîner une sous-estimation des volumes consommés, surtout sur les « gros compteurs ».
- Les erreurs de lecture.

- *Les gaspillages*

Il s'agit de volumes perdus suite à un dysfonctionnement du service ou à une erreur d'exploitation :

- Débordements de réservoirs.
- Vidanges pas ou mal fermées.
- Chasses d'égouts défectueux.

1.5.4 Débit et vitesse moyenne

On fixe tout d'abord le débit par seconde Q dont 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 [6].

Profil en travers

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

$$\omega = \frac{Q}{U} \quad (1.4)$$

On détermine ensuite un profil en travers dont la section mouillée est égale à w , 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 des berges est fonction du terrain. Les valeurs suivantes sont généralement admises :

- a. Terres meubles ou légères, sables, $\theta = 26^\circ 34'$ $\cotg \theta = 2$.
- b. Terrains fermes sans revêtement, $\theta = 33^\circ 42'$ $\cotg \theta = 1.5$.
- c. Terrains revêtus de bois ou pierres, $\theta = 45^\circ$ $\cotg \theta = 1$.
- d. Roche stratifiées, maçonnerie et pierres sèches $\theta = 60^\circ$ $\cotg \theta = 0.6$.
- e. 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 [6].

1.6 Choix du type de matériaux

Dans le but de bon choix de type de matériau, on prend en compte les paramètres suivant :

- Le diamètre.
- La pression de service à supportée par le matériau.
- Les condition de pose.
- Le prix de la conduite.
- La durée de vie du matériau.
- La disponibilité de ce dernier sur le marché.

Le choix du matériau utilisé est en fonction de la pression supportée, de l'agressivité du sol de l'ordre économique (cout et disponibilité sur le marché) aussi que la bonne jonction de la conduite avec les équipements auxiliaires (joints, coudes, vannes, . . . ect.).

Parmi les matériaux utilisés on peut citer : l'acier, la fonte et le PVC.

1.6.1 Tuyaux en fonte

Ils représentent plusieurs avantages :

- Une bonne résistance aux forces internes.
- Une bonne résistance à la corrosion.
- Très rigides et solides.

Inconvénient c'est qu'ils sont très lourds, très chers, et ne sont pas disponibles sur le marché.

1.6.2 Tuyaux en acier

Les tuyaux en acier sont plus légers que les tuyaux en fonte. d’ou l’économie sur le transport et la pose.

- Bonne résistance aux contraintes (choc et écrasement).

1.6.3 Tuyaux en PVC (Polychlorure de Vinyle non Plastifier)

- Une bonne résistance à la corrosion.
- Disponible sur le marché.
- Une pose de canalisation facile.

Leur inconvénient est le risque de rupture.

1.7 Définition d’une fuite

Il s’agit des pertes physiques qui proviennent d’une mauvaise étanchéité des canalisations et des accessoires. Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution : conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, bouches d’incendie. Les fuites d’eau constituent une perte d’argent et de ressource naturelle précieuse, et elles représentent un danger pour la santé publique. La perte économique principale est le coût de l’eau elle-même, de son traitement et de son transport. Il y a aussi l’endommagement du réseau et des fondations des routes ou des bâtiments .

Ajoutons à cela les risques pour la santé publique, les contaminants pouvant s’infiltrer dans les conduites par les endroits où l’eau s’échappe, lorsque la pression baisse dans le réseau. Les contraintes économiques, les questions de santé publique et le besoin d’économiser l’eau incitent les exploitants de réseaux à mettre sur pied des programmes de contrôle des fuites. Les programmes de contrôle systématique des fuites comportent deux grands volets : les bilans d’eau et la détection des fuites.

1.8 Les principales causes de fuites

Parmi les principales causes de fuites, on retiendra :

- Les conditions de pose : choix des matériaux, techniques de raccordement, soin apporté à la réalisation des travaux.
- La nature du terrain : remblai, acidité et stabilité des sols.
- La qualité de l'eau : agressivité naturelle.
- Les conditions hydrauliques : pression excessive, variation de pression, coup de bélier, air dans les conduites.
- L'âge des conduites.
- L'environnement du réseau : circulation automobile, chantiers, courants vagabonds, . . .
- La densité des accessoires de robinetterie, de fontainerie et de branchements.
- Les variations de température : gel, dégel.

1.8.1 Bilans d'eau

Les bilans d'eau permettent de déterminer les quantités d'eau qui se perdent dans les réseaux de distribution. Ils peuvent être effectués sur l'ensemble du réseau ou par secteur. Sur l'ensemble du réseau, ils donnent une idée globale des pertes d'eau. Ils exigent une comptabilité détaillée des quantités d'eau entrant dans le réseau et en sortant, et 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 30 km 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. Les zones 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 des 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. Depuis quelques années, dans les pays développés on a tendance à installer de façon permanente des débitmètres raccordés au système SCADA par télémétrie. 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.

1.8.2 Détection des 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 ou les bruits 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 détection des fuites déterminent grossièrement l'emplacement des fuites dans le réseau de distribution en auscultant tous les points accessibles du réseau. 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 1 m). 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 (p. ex. gaz traceur, imagerie infrarouge et géoradar), mais celles-ci sont encore très peu utilisées et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que celle des méthodes acoustiques.

1.9 La localisation des fuites

Pour localiser précisément les fuites, on utilise différentes méthodes mises en oeuvre, en général, par étapes successives. A partir d'un secteur jugé douteux (cf. étape précédente du diagnostic), on essaye d'identifier le tronçon fuyard (prélocalisation) puis on détermine la position précise de la fuite (localisation). Les outils et les méthodes mis en oeuvre sur le terrain sont basés soit sur la quantification, soit sur des approches acoustiques. L'eau sous pression qui s'échappe par une défectuosité de la conduite génère des vibrations acoustiques. Ces bruits, dont la fréquence varie de quelques hertz à quelques kilohertz selon les caractéristiques de la fuite et de la canalisation, se propagent à grande vitesse à la fois sur la conduite (sur de longues distances) et dans le sol (sur des distances de quelques mètres le long du tracé de la conduite). Il s'agit donc d'écouter, d'enregistrer et d'analyser ces bruits.

1.10 La prélocalisation des fuites

1.10.1 Les mesures de nuit

On mesure de nuit, entre 1h et 4h, les volumes enregistrés sur un compteur de zone après fermetures successives et à intervalles réguliers (15 à 30 minutes) des vannes

de sectionnement du secteur analysé. En isolant ainsi chaque ramification du réseau, on quantifie les fuites par tronçons mettant en évidence les parties du réseau les plus affectées. Cette méthode utilisable de nuit, est particulièrement appropriée aux réseaux de type rural à structure ramifiée.

1.10.2 Le camion de quantification

Cette méthode mise en œuvre par des sociétés spécialisées, consiste à mesurer en continu les débits de consommation à l'intérieur d'une maille. Après avoir isolé du réseau quelques centaines de mètres de conduites et vérifié l'étanchéité des vannes, on réalise le quartier par des tuyaux souples à partir d'un hydrant extérieur à la maille. L'alimentation s'effectue via un camion de quantification équipé d'appareils de mesures : débitmètre et manomètre enregistreurs. Le débit consommé dans la maille est analysé avec précision (5 mesures par seconde) et sa valeur minimum représente le "débit de perte" de la maille : fuite, consommation permanente, usage public, ... Cette méthode s'utilise de jour, sans interruption de la distribution.

1.10.3 Les enregistreurs de bruits

Cette technique met en œuvre des capteurs de bruit autonomes et sensibles qui enregistrent et analysent le niveau sonore de la conduite. On peut ainsi repérer le bruit généré par une fuite sur le réseau. Ces capteurs sont programmés et installés sur le réseau pendant la journée. Ils sont placés sur les points d'accès du réseau (poteaux d'incendie, robinets de branchement, bouches à clé)... et espacés de 50 à 200 mètres. Ils enregistrent automatiquement le niveau de bruit minimum de la conduite. Ces Appareils "travaillent" généralement la nuit qui est la période idéale pour déceler les bruits de fuites .

Après quelques heures ou une nuit de mesure, les données sont interprétées directement sur place ou à l'aide d'un logiciel associé aux capteurs et permettent de soupçonner la présence de fuites entre les deux enregistreurs. Le déplacement des enregistreurs de bruit sur une zone permet d'affiner la prélocalisation. Les évolutions sont nombreuses sur

ce type de matériel : transmission des données par voie radio ou GSM, mémorisation du bruit, multicorrélation,...

1.10.4 La localisation précise des fuites

Les amplificateurs mécaniques

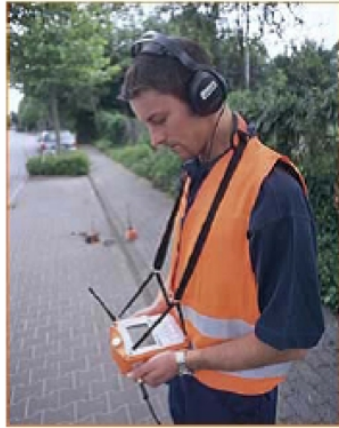
De conception rudimentaire, ces appareils, aux performances limitées, requièrent une oreille exercée. Les détecteurs mécaniques sont généralement utilisés pour des écoutes directes sur le réseau où l'atténuation du bruit est beaucoup moins rapide qu'au sol [2]. L'amplification de type mécanique offre l'avantage de ne pas déformer ou modifier les bruits. C'est aussi une entrave aux performances de l'appareil qui restent assez modestes.

Les amplificateurs électroniques

Ces détecteurs, beaucoup plus sensibles que les amplificateurs mécaniques sont composés de trois éléments principaux : un capteur (microphone), un récepteur et un signal de sortie *Figure.(1.2)*. Le capteur "microphone" transforme les vibrations mécaniques en courants électriques de faible intensité. Ces signaux sont amplifiés et traités électroniquement par le boîtier récepteur. Deux sorties permettent à l'opérateur d'apprécier le bruit de fuite. La plupart des appareils comporte différents capteurs adaptés aux points d'écoute :

- écoute directe sur les carrés de vannes ou les branchements.
- écoute sur surfaces planes (chaussée, trottoirs, dalle béton,...).
- écoute sur surfaces irrégulières (graviers, cailloux,...).
- écoute sur sol mou (pelouse, terre,...).

La méthode d'utilisation de ce type d'appareil consiste à écouter et analyser les bruits captés par contact direct sur le réseau . Dès l'amorce d'un bruit de fuites, il faudra rechercher le bruit maximal entre deux points d'accès au réseau puis finaliser la recherche par des écoutes au sol des écoutes..



Figure(1.2) : Amplificateur électronique

La corrélation acoustique

les performances des corrélateurs n'ont cessé de s'améliorer *Figure.(1.3) : transmission radio, puissance de calcul, sensibilité, ergonomie, encombrement, prix, multicorrélation...*

Elle est basée sur trois propriétés fondamentales du "bruit de fuite" :

- il est aléatoire, son évolution dans le temps ne répond à aucune règle.
- sa propagation dans la conduite se fait à vitesse égale de part et d'autre de la fuite.
- il est permanent dans le temps, contrairement à la plupart des autres bruits parasites.

La méthode consiste à capter en 2 points différents et accessibles de la conduite, le bruit émis par la fuite et à trouver une ressemblance entre les signaux reçus.

Le résultat du traitement, réalisé par le corrélateur ou un ordinateur, donne simultanément la détection de la fuite (ressemblance des signaux) et sa localisation (repérage du décalage qui a permis de retrouver cette ressemblance)

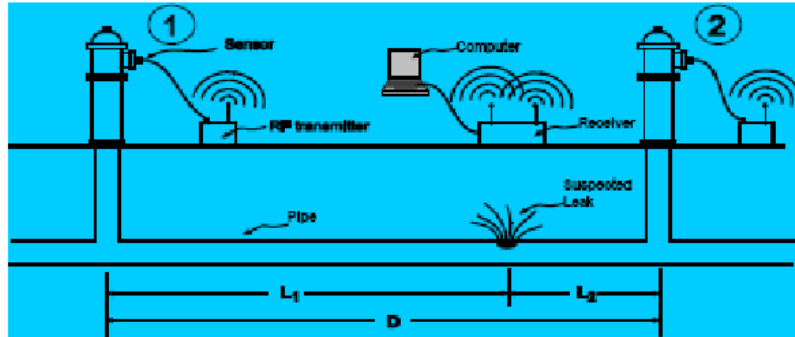


Figure.(1.3) : Corrélacion acoustique

1.11 Les facteurs qui influent sur l'efficacité des méthodes acoustiques

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 fréquence 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 – les fréquences dominantes sont d'autant plus basses que le diamètre de la conduite est grand ou que son matériau est peu rigide. À 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 audibles 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 1,05 kgf/cm².

Les différents appareils de détection acoustique des fuites présentent de grandes variations aux points de vue sensibilité, plage de fréquence, conditionnement et traitement du signal. Plus les capteurs de fuites sont sensibles, 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 produits par les fuites. Les amplificateurs augmentent le rapport signal-bruit et rendent audibles les signaux faibles.

1.12 Difficulté dans le cas des tubes en plastique

La plupart des utilisateurs professionnels estiment que les méthodes acoustiques permettent de bien détecter les fuites dans les conduites en métal mais qu'elles sont pro-

blématiques dans le cas des tubes en plastique. Le matériel de détection acoustique des fuites a été conçu principalement pour les conduites métalliques. Or les signaux émis par les fuites dans les tubes en plastique ont des caractéristiques acoustiques sensiblement différentes de ceux qui sont produits par des fuites dans des conduites métalliques. Les tubes en plastique sont plus silencieux et ne transmettent pas les bruits autant que les conduites métalliques. De plus, les bruits produits par les fuites dans les tubes en plastique sont constitués principalement de signaux de basse fréquence, contrairement à ceux émis par les fuites dans les conduites métalliques.

Une étude récente [7] menée par l'IRC et financée par l'American Water Works Association Research Foundation a montré que les fuites dans les tubes en plastique peuvent être repérées au moyen des techniques acoustiques, mais que celles-ci présentent plusieurs difficultés. En mode de fonctionnement automatique, les corrélateurs de bruits de fuites ont rarement permis de repérer celles-ci, car la plage de fréquence choisie par les appareils était généralement trop élevée. Les opérateurs utilisant de tels appareils en mode manuel avaient aussi tendance à choisir une plage de fréquence trop élevée ; c'est pourquoi ils n'ont pas détecté certaines fuites. Il a été aussi démontré que l'accéléromètre (type de capteur de vibrations) n'était efficace que dans le cas des fuites sérieuses. Pour les fuites moins importantes, il faut utiliser des hydrophones.

Par ailleurs, on s'est rendu compte que les spécialistes ne pouvaient pas entendre les bruits émis par les fuites dans les tubes en plastique à l'aide d'écouteurs reliés aux corrélateurs de bruits de fuites. Selon la sagesse populaire, s'il n'y a pas de bruit, il n'y a pas de fuite. Les spécialistes ont donc été surpris de constater que les corrélateurs repéraient des fuites qu'eux ne pouvaient entendre. Il a été montré que les signaux produits par les fuites dans les tubes en plastique sont constitués principalement de sons de fréquence inférieure à 50 Hz. Or l'oreille humaine ne peut entendre ces bruits. Pour la même raison, les tiges d'auscultation et les aquaphones n'étaient efficaces que s'ils étaient raccordés à des points d'accès très proches (environ 5 m) des fuites. En pratique, ces résultats indiquent que pour détecter les fuites dans les tubes en plastique, il est possible qu'il faille

ne compter que sur les corrélateurs. On peut ausculter le sol à intervalles de, disons, 1 m ou moins à l'aide de microphones au sol, mais cette opération demande beaucoup de temps et est donc peu pratique.

L'étude de l'IRC a montré que certaines modifications pouvaient permettre aux corrélateurs de bruits de fuites de mieux repérer celles qui se produisent dans les tubes en plastique : révision des algorithmes en mode automatique, capteur à sensibilité plus élevée (en particulier accéléromètre), capacité de percevoir les basses fréquences, réglage fin des filtres passe-haut et passe-bas. Plusieurs modifications apportées aux techniques mises en oeuvre peuvent aussi améliorer l'efficacité du matériel : utilisation des composantes basse fréquence des signaux produits par les fuites, mesure de la vitesse de propagation du son dans les tubes, vérification du bon fonctionnement des capteurs de fuite (particulièrement les hydrophones), et installation d'hydrophones ou d'accéléromètres sensibles à la vibration sur les bouches d'incendie sous pression.

1.13 Conclusion

Les fuits d'eau présentent un grand problème qui touche à la santé humaine détection au temps opportun. Tout d'abord pour corriger ce problème il faut bien autre chose que les aspects physiques et mécaniques qui caractérisent la canalisation de distribution d'eau, les réseaux de distribution d'eau vérifient régulièrement ceux-ci et procèdent à la fuite. Les bilans d'eau donnent une idée globale des quantités perdues et permettent de cerner les zones du réseau où se produisent des fuites importantes. On détermine l'emplacement exact des fuites au moyen de matériel d'auscultation et d'appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Le matériel acoustique est efficace dans le cas des conduites métalliques, mais il peut être problématique dans le cas des tubes en plastique. Les fuites dans les conduites en métal et dans les tubes en plastique peuvent aussi être repérées à l'aide de techniques non acoustiques comme celles du gaz traceur, de l'imagerie infrarouge et du géoradar. Cependant, l'utilisation de ces techniques est encore très

limitée et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que dans le cas des méthodes acoustiques. Pour la localisation précise des fuites on fait recourt à des appareils modernes, leurs inconvénients c'est qu'ils sont chers et ils se basent toujours dans leurs principe sur la corrélation acoustique des signaux provenant des deux capteurs placés directement sur la conduite .Cette dernier présentent des difficulté dans des endroits bruités .Dans le chapitre suivant on fait un panorama sur les détecteurs.

Chapitre 2

Les détecteurs des fuites

2.1 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.

2.2 Détecteur AQUAPHON -F

Le système AQUAPHON-F (avec liaison radio) existe en deux versions[8] :

- 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 [8] :

- 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 ».

2.2.1 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.

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.

2.2.2 Caractéristiques techniques

- 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

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.

2.3 Le Détecteur HL400 - seba KMT

2.3.1 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(2.2)* [9].



Figure (2.2) : Détecteur HL400-sebaKMT

2.3.2 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.

2.4 Détecteur DF 3000

Ce détecteur de 1ère 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(2.3)*, 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 [10].

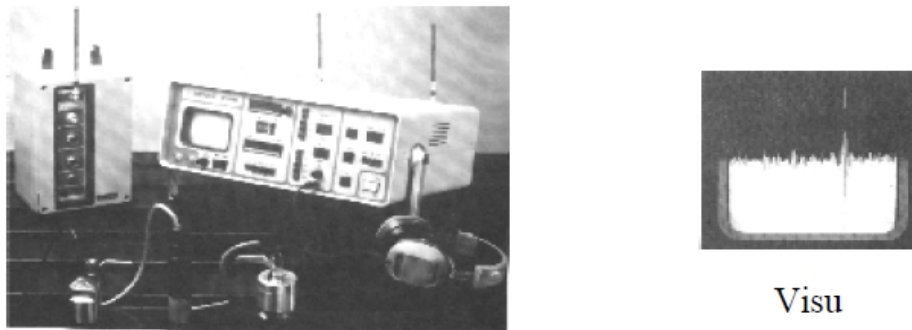


Figure (2.3) : Corrélateur DF3000

2.5 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(2.3)* [8].



Figure (3.4) : Détecteur SeCorr05

2.5.1 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 inférieurs à 10Hz.

· **Haute résolution du calculateur** : Très grande précision du résultat (pour une conduite de 250 m de long la précision est de $\pm 6cm$).

· **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 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

2.6 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 [11].

2.6.1 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.

2.7 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. Leur inconvénient c'est qu'ils sont chers donc, il faut recourir à une autre méthode moins coûteuse qui va donner des performances identiques ou meilleurs par rapport à celle déjà existant. On a pensé à estimer la distance séparant la fuite du capteur par la technique des réseaux de neurones ces derniers font l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3

Généralité sur le réseau de neurone

3.1 Introduction

Les réseaux de neurones formels sont des structures la plupart du temps simulés par des algorithmes exécutés sur les ordinateurs d'usage général, parfois sur des machines ou même des circuits spécialisés, qui prennent leurs inspirations à partir du fonctionnement élémentaire des systèmes nerveux. Ils sont utilisés essentiellement pour résoudre des problèmes de classification, de reconnaissance de formes, d'association, d'extraction de caractéristique, et d'identification, . . . etc. La recherche dans le domaine des RNA a vécu trois périodes d'intense activité. La première, dans les années 1940 est liée aux travaux de McCulloch et Pitts. La seconde, durant les années 1960 avec les travaux de Rosenblatt sur le perceptron et le théorème de convergence ainsi que les travaux de Minsky et Papert démontrant les limites du perceptron mono-couche. Le creux de la vague dura environ 20 ans, jusqu'au début des années 1980, avec l'approche proposée par Hopfield et l'algorithme de rétro-propagation dans le cadre des Perceptrons Multi-Couches (PMC) proposé pour la première fois par Werbos, réinventé par la suite plusieurs fois avant d'être popularisé par Rumelhart et al. en 1986 [12, 13]. Avant d'aborder la construction des réseaux de neurones pour l'analyse des défauts, nous allons donner brièvement les principales définitions et notions de base d'un réseau de neurone.

3.2 Définition

Inspirés des réseaux de neurones biologiques, un réseau de neurones est un système composé de plusieurs unités de calcul simples fonctionnant en parallèle, dont la fonction est déterminée par la structure du réseau, la solidité des connexions, et l'opération effectuée par les éléments ou nœuds (neurones) [13].

3.3 Le neurone biologique

L'élément fonctionnel de base du système nerveux est le neurone. Un neurone (cellule nerveuse) est une cellule biologiquement spécialisée pour le traitement et la transmission de l'information.

Les neurones biologiques sont caractérisés par cinq fonctions qui leur sont propre [14] :

1. Recevoir des signaux en provenance de neurones voisins.
2. Intégrer ces signaux.
3. Engendrer un flux nerveux.
4. Conduire le flux nerveux et le transmettre à un autre neurone capable de le

recevoir.

3.3.1 Structures des neurones biologiques

D'une espèce animale à une autre, les neurones présentent des différences notoires, et à l'intérieur d'une même espèce, il existe de nombreuses variétés de neurones. Les différences portent tant sur les aspects anatomiques que sur les aspects fonctionnels. Cependant, divers points communs subsistent, et sont à la base de l'archétype de la cellule nerveuse. Le neurone est constitué principalement de trois parties qui, vis-à-vis des transferts d'information, ont un rôle fonctionnel bien défini : un corps cellulaire ou soma et de deux types de prolongements cellulaires plus ou moins ramifiés : les dendrites et l'axone *Figure.(3.1)*

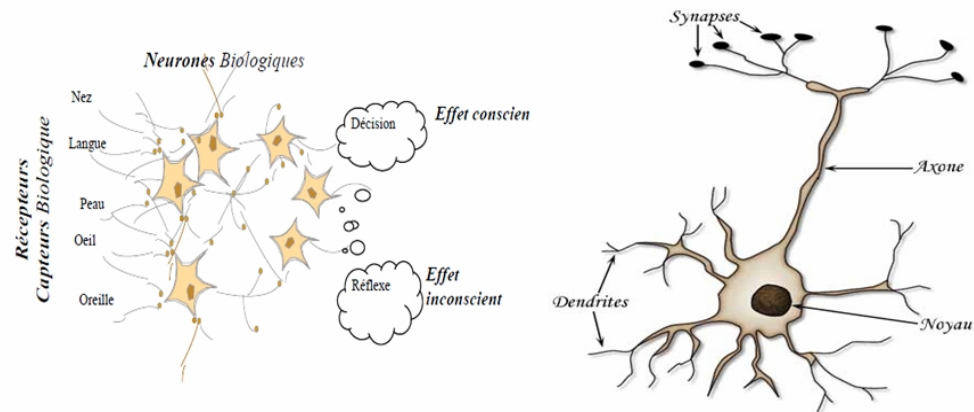


Figure (3.1) : structure d'un réseau de neurones biologiques

Le soma

Le soma possède un noyau qui contient l'information génétique de l'organisme dont le neurone est issu, et un cytoplasme qui contient la "machinerie de synthèse" des protéines constitutives ou régénératrices de ce neurone

Les dendrites

Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. Les dendrites reçoivent l'information au niveau de points de contact avec les autres neurones. Ces points de contact sont appelés synapses. L'information est ensuite acheminée vers le corps cellulaire ou soma.

L'axone

Le neurone transmet l'information, générée dans son corps cellulaire, via l'axone. L'extrémité de l'axone peut être plus ou moins ramifiée en une arborisation terminale. Chaque branche de cette arborisation se termine en un bouton synaptique autour duquel se trouvent les synapses.

3.3.2 Fonctionnement du neurone biologique

Le neurone reçoit des signaux (impulsions) provenant d'autres neurones au niveau des dendrites et transmet l'information via l'axone [15].

1. Arrivée d'un potentiel d'action.
2. Libération du neuromédiateur dans l'espace synaptique.
3. Ouvertures des canaux ioniques dues au neuromédiateur.
4. Génération d'un potentiel évoqué excitateur.
5. Génération d'un potentiel évoqué inhibiteur.
6. Fermeture des canaux, élimination ou capture du neuromédiateur.

La jonction entre deux neurones est connue sous le nom de synapse. Une synapse est une structure élémentaire et une unité fonctionnelle de communication (axo-dendritique). Lorsque l'impulsion nerveuse (potentiel d'action) atteint la synapse, certaines substances chimiques (acides aminés, protéines), appelés neurotransmetteurs sont libérées dans l'espace synaptique séparant la membrane axonale (du premier neurone) de la membrane dendritique (du second neurone). Le neurotransmetteur traverse l'espace synaptique et se fixe sur des sites récepteurs post-synaptiques du neurone récepteur. Selon que la synapse est excitatrice ou inhibitrice, cette action du neurotransmetteur va potentialiser, ou au contraire, inhiber la capacité du neurone récepteur à émettre des potentiels d'action

En fait, le fonctionnement synaptique va s'ajuster en fonction des signaux reçus, ce qui permet de dire que les synapses "apprennent" leur "comportement" à partir des activités dans lesquelles elles sont impliquées (ou à partir des signaux qui leur sont imposés ...).

On estime à environ 100 à 1 000 milliards le nombre de neurones du système nerveux humain, et on compte en moyenne de 1 000 à 100 000 synapses par neurone. Ces valeurs donnent une idée de la complexité du système nerveux. Les neurones sont donc fortement connectés entre eux. Ces connexions ne sont pas aléatoires, elles correspondent à des réseaux dont les architectures sont assez bien connues, mais dont les propriétés fonctionnelles restent encore souvent difficiles à comprendre.

3.4 Les neurones artificiels

De nombreux travaux ont été effectués dans le cadre du développement de systèmes intelligents, dont certains inspirés par les réseaux de neurones biologiques. Des chercheurs de différents horizons ont défini et/ou construit des RNA pour résoudre des problèmes aussi variés que la reconnaissance de formes, la prévision, l'optimisation, les mémoires associatives ou le contrôle. Des approches classiques ont été proposées pour résoudre ces types de problèmes. Avec succès pour des cas où les contraintes sont clairement définies, cependant aucune solution n'est assez flexible pour s'adapter avec succès à un autre domaine.

L'évolution a offert au cerveau humain un nombre de caractéristiques ; en particulier notre cerveau possède :

1. Une architecture massivement parallèle.
2. Un mode de calcul et une mémoire distribués.
3. Une capacité d'apprentissage.
4. Une capacité de généralisation.
5. Une capacité d'adaptation.
6. Une résistance aux pannes.
7. Une faible consommation énergétique.

Il est donc tentant d'étudier des systèmes basés sur les réseaux de neurones pour voir si certaines des caractéristiques de notre cerveau peuvent être "récupérées".

Les ordinateurs actuels outrepassent les capacités humaines dans le calcul numérique et la manipulation de symboles. Cependant, les humains peuvent, sans effort, résoudre des problèmes complexes liés à la perception (reconnaissance d'un visage dans une foule) à une telle vitesse et avec une telle efficacité que n'importe quel ordinateur.

3.4.1 Le neurone formel

Le premier neurone formel vit le jour en 1943 *Figure.(3.2)*. Il a été modélisé par Mc.Culloch et W.Pitts en s'inspirant du neurone biologique.

Un neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les grands principes du fonctionnement du neurone biologique et particulièrement, la sommation des entrées. Sachant qu'au niveau biologique, les synapses n'ont pas toutes la même «valeur», les auteurs ont donc créé un algorithme qui pondère la somme de ses entrées par des poids synaptiques (coefficients de pondération).

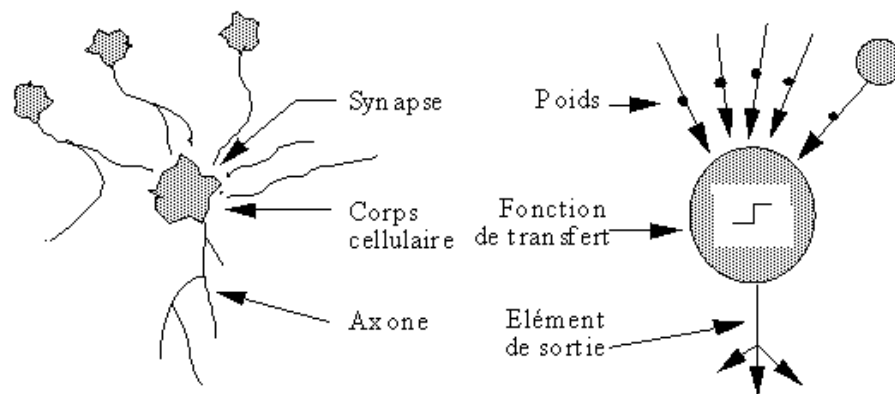


Figure. (3.2) : Mise en correspondance neurone biologique/neurone artificiel

3.4.2 L'activation du neurone

Elle définit l'état interne du neurone. Elle est régit par différents types de fonctions d'activation. Les plus importantes sont citées ci-dessous.

Fonction discriminant

Cette fonction, appelé aussi fonction de base, détermine l'activité du neurone. Dans le cas du perceptron, c'est une fonction linéaire qui est la plus utilisée.

Afin d'améliorer les performances des réseaux, d'autres fonctions discriminants non linéaires ont été élaborées. Nous citons ci-dessous les plus utilisées.

Fonction de base radiale (Radial Basis Function RBF)

La forme générale de cette fonction est :

$$\phi = \frac{\|x - c\|^2}{2} \quad (3.1)$$

Où x représente les entrées et c les centres de chaque classe de l'espace d'entrée. Ce dernier sera échantillonné par cette fonction.

Fonction à base elliptique (Elliptic Basis Function EBF)

Cette fonction est la généralisation de la fonction de base radiale :

$$\Phi = \sum_{k=1}^n \zeta_k (x - c)^2 + \theta \quad (3.2)$$

Elle est modulée par des paramètres ζ_k et dotée d'un biais θ . Le paramètre n représente le nombre d'entrées.

Fonction dynamique linéaire

La fonction dynamique linéaire détermine la dynamique du réseau. Elle est régie par l'équation différentielle suivante :

$$a_0 u_i(t) + a_1 u_i(t) = x_i(t) \quad (3.3)$$

Où :

u_i est l'activation du i ème neurone.

x_i est l'entrée du système dynamique décrit par l'équation ci-dessus (3.3).

θ_i sont des paramètres.

Fonction non dynamique non linéaire

Elle a pour rôle de borner l'activité du neurone. Le premier modèle proposé est la fonction seuil qui est une fonction binaire. L'inconvénient de cette fonction est sa non dérivabilité ce qui ne lui permet pas de faire certaines opérations, comme la différentiation qui est nécessaire pour améliorer les paramètres internes du réseau.

A cet effet, d'autres fonctions dérivables, monotones et continues pouvant effectuer le seuillage ont été mises au point. Parmi lesquelles on retrouve la sigmoïde, la tangente hyperbolique ou la log-sigmoïde. Une autre fonction non monotone est utilisée, c'est la fonction gaussienne dont son grand avantage est son comportement local *Figure.(3.3)*.

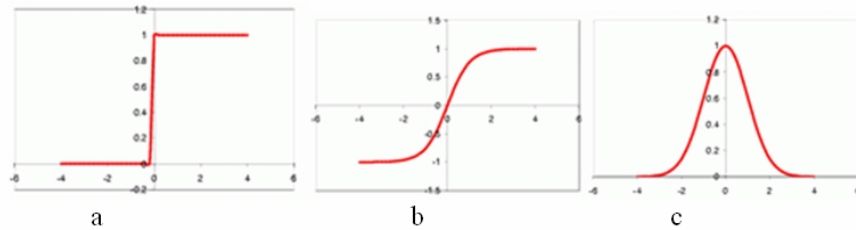


Figure. (3.3) . : Différents types de fonctions d'activation

a :fonction à seuil,b :tangente hyperbolique,c :fonction gaussienne

3.5 Architecture des réseaux de neurones

On distingue trois types d'architecture.

3.5.1 Réseaux statiques

Dans ce type d'architecture, chaque neurone reçoit ses entrées à partir de la couche précédente sans qu'il n'y ait retour d'information. Ce qui veut dire que le neurone ne communique pas avec la couche précédente, il en reçoit seulement l'information.

Ce genre de réseaux peut être utilisé pour la classification et l'approximation des fonctions.

3.5.2 Réseaux dynamiques

Contrairement aux réseaux statiques, les réseaux dynamiques contiennent le retour d'information, ce qui leurs permet de commander et d'identifier des systèmes dynamiques.

3.5.3 Réseaux auto-organisés

Se sont des réseaux qui changent leurs structures internes pendant l'apprentissage. Les neurones se regroupent topologiquement suivant la représentation des exemples.

L'exemple le plus simple de réseau de neurones est souvent donné par le perceptron multicouches (PMC) [16]. Dans un perceptron, plusieurs couches contenant des neurones sont connectées entre elles de l'entrée vers la sortie. Afin d'illustrer un peu ces propos, le dessin suivant de la *Figure(3.4)* représente le schémas type d'un perceptron à trois couches :

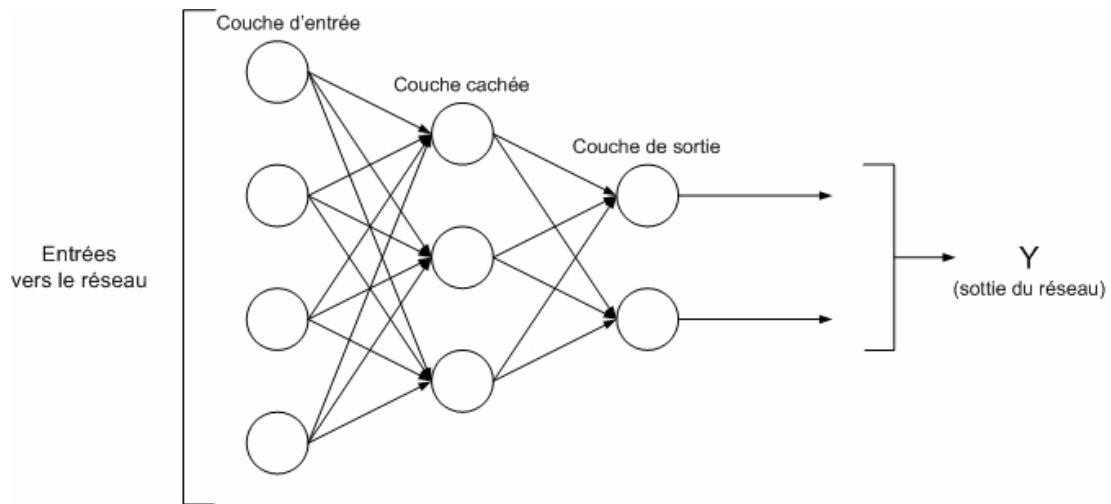


Figure. (3.4) : .Perceptron à trois couches

- Couche d'entrées : c'est la couche des neurones d'entrée, les neurones du réseau qui perçoivent les données du problème.
- Couche cachée : les neurones cachés qui ne sont ni à l'entrée ni à la sortie du réseau. les neurones cachés n'ont aucun lien direct avec l'utilisateur.
- Couche de sorties : un sous-ensemble de neurones dont l'activation sera interprétée comme la réponse du réseau, ce sont les neurones de sortie.

3.6 Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est vraisemblablement la propriété la plus intéressante des réseaux neuronaux.

Par définition, l'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. L'apprentissage neuronal fait appel à des exemples de comportement

Dans le cas des réseaux de neurones artificiels, l'apprentissage se traduit par la modi-

fication des poids du réseau dans l'optique d'accorder la réponse du réseau aux exemples et à l'expérience. A l'issue de l'apprentissage, les poids sont fixés : c'est alors la phase d'utilisation.

On peut considérer qu'il existe quatre sortes d'apprentissage :

1. Le mode supervisé.
2. Le mode non-supervisé (ou auto-organisationnel).
3. Le renforcement (certains auteurs le classent dans la catégorie des modes supervisés).
4. Le mode hybride.

Pour chaque catégorie il existe de très nombreux algorithmes.

3.6.1 Apprentissage supervisé

Dans le cas de l'apprentissage supervisé, l'adaptation intervient directement lorsque le système compare la réponse qu'il a calculée avec la réponse attendue (ou désirée) en fonction des entrées fournies. La performance de l'apprentissage est déterminée par l'intermédiaire d'un critère à optimiser.

3.6.2 Apprentissage non-supervisé

Dans cet apprentissage, le réseau requiert seulement les entrées. Il modifie ses poids selon un critère interne.

3.6.3 Le renforcement

Le renforcement est en fait une sorte d'apprentissage supervisé et certains auteurs le classent d'ailleurs, dans la catégorie des modes supervisés. L'approche par renforcement essaye d'apprendre la corrélation entrées-sorties via une estimation de son erreur, c'est-à-dire du rapport échec/succès, le but étant de maximiser un index de performance (fourni)

appelé signal de renforcement. Le système est capable de savoir si la réponse est correcte ou non, mais sans connaître la bonne réponse.

3.6.4 Le mode hybride :

Le mode hybride reprend en fait les deux autres approches, puisque une partie des poids va être déterminée par apprentissage supervisé et l'autre partie par apprentissage non-supervisé.

3.7 Réseaux de neurones à apprentissage supervisé

Le but de cet apprentissage est de trouver un vecteur de poids synaptiques optimal afin de ramener le réseau vers le comportement désiré imposé par un superviseur à l'aide d'échantillons aléatoires.

Il existe deux approches. La première est basée sur la validité de la décision du réseau, ce type de réseaux est appelé réseau basé sur les décisions (Decision Basis Neural Network ou DBNN). La seconde est basée sur l'optimisation d'un critère qu'il faut optimiser, appelé fonction coût.

3.7.1 Réseaux de neurones basés sur la décision

Le perceptron :

Conçu en 1958 par Rosenblatt [17], c'est un réseau de neurones statique très simple avec une seule couche d'entrée reliée à un ou plusieurs neurones de sortie, acceptant seulement des valeurs d'entrées et de sorties binaires *Figure.(3.5)*. L'information circule dans un seul sens, de la couche d'entrée vers la couche de sortie (feedforward).

Le réseau est capable de résoudre des opérations logiques simples comme AND ou OR.

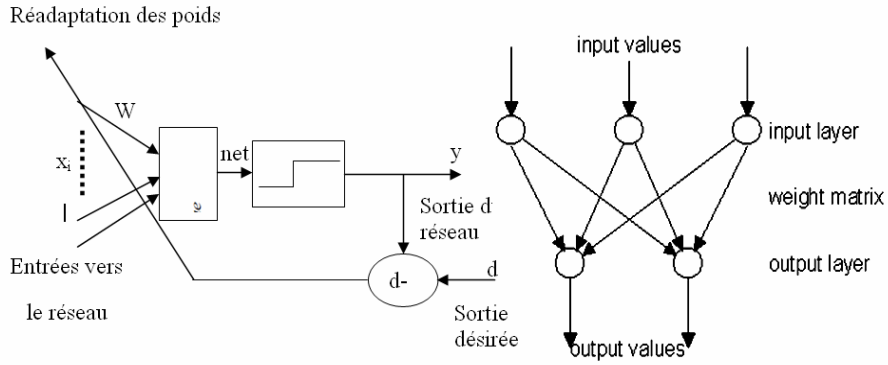


figure. (3.5) : Structure du perceptron linéaire

L'activité des neurones dans ce type de réseaux est définie par l'équation linéaire suivante :

$$net_i = \sum_{j=1}^n x_i w_{ij} + \theta_i \quad (3.4)$$

$$i = 1 \dots n$$

x_j représentent les entrées des neurones.

w_{ij} le poids synaptique en provenance du $j^{ème}$ neurone de la couche d'entrée vers le $i^{ème}$ neurone de sortie.

θ_i est un paramètre qui agit sur le seuil en sortie.

La sortie est définie par la fonction seuil :

$$s_i(net_i) = \begin{cases} 1 & net_i > 0 \\ 0 & net_i \leq 0 \end{cases}$$

L'adaptation des poids de ces réseaux se fait comme suit :

$$w(t+1) = w(t) + \Delta w(t) \quad (3.5)$$

tel que

$$\Delta w(t) = \eta(d(t) - y(t))x(t) \quad (3.6)$$

Où :

η : est un paramètre qui contrôle le taux d'apprentissage.

$x(t)$: représente le vecteur présenté à l'entrée du réseau.

$y(t)$: est la sortie du réseau.

$d(t)$: est la sortie désirée.

L'entraînement du réseau se poursuit jusqu'à ce que chaque exemple soit correctement classé. Mais en 1969, Papert et Minsky [18] démontrent les limites du perceptron. Ce dernier n'est efficace que pour des problèmes linéairement séparables.

Une amélioration de ce perceptron à une ou plusieurs couches de neurones cachés a donné naissance au perceptron multicouches.

Adaline, Madaline :

En 1960 B.Widrow [19], un automaticien, développe le modèle Adaline (Adaptative Linear Element). Dans sa structure, le modèle ressemble au Perceptron, une couche d'entrée connectée à une ou plusieurs sorties *Figure.(3.6)*. Dans le cas de plusieurs sorties, il est alors appelé Madaline (Multiple Adaptive Linear Element). Ce type de réseau est destiné à l'approximation des fonctions.

Cependant la loi d'apprentissage est différente. Celle-ci est à l'origine de l'algorithme de rétropropagation de gradient très utilisé aujourd'hui avec les perceptrons multicouches.

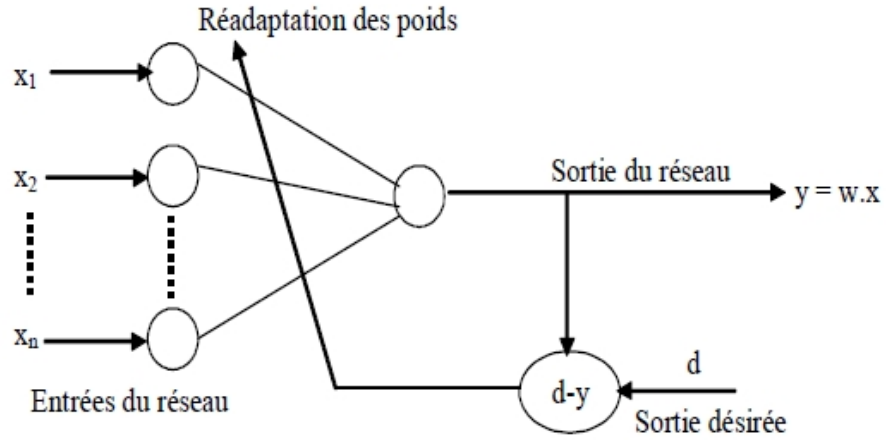


Figure (3.6) : Structure du réseau ADALINE

L'apprentissage du Madaline s'effectue grâce à la minimisation d'une fonction coût calculée à partir des exemples de la base d'apprentissage et de la sortie du réseau de neurones. Cette fonction détermine l'objectif à atteindre. A la présentation d'une entrée, la sortie est le produit scalaire de cette entrée avec un vecteur poids w_{ij} (Figure.3.6) :

$$y_i^k = \sum_{j=1}^n x_i w_{ij} + \theta_j \quad i = 1, \dots, m \quad (3.7)$$

x_j : l'entrée du jème neurone.

w_{ij} : poids synaptique du ième neurone de la couche de sortie provenant du jème neurone de la couche d'entrée.

θ_i : est le biais de la jème sortie.

On définit l'erreur instantanée relative à chaque sortie par la différence entre la valeur de la sortie du réseau calculée et la sortie désirée par :

$$e_j^k = d_j^k - y_j^k \quad (3.8)$$

Le problème réside dans l'ajustement des poids w_{ij} de telle sorte que l'écart entre la sortie désirée et la sortie calculée par le réseau soit nul pour tous les exemples. ($k = 1, \dots, n_{ex}$ avec n_{ex} le nombre d'exemples).

3.7.2 Réseaux multicouches statiques :

Un réseau multicouche est une extension du perceptron qui a une ou plusieurs sous-couches entre la couche d'entrée et la couche de sortie. Ces couches sont complètement connectées (plus exactement, une couche au niveau i , reçoit en entrée les signaux émanant de toutes les cellules de la couche $i - 1$, et propage l'information vers (toutes) les cellules de la couche $i + 1$) mais il n'existe aucune connexion intra-couche *Figure.(3.7)*.

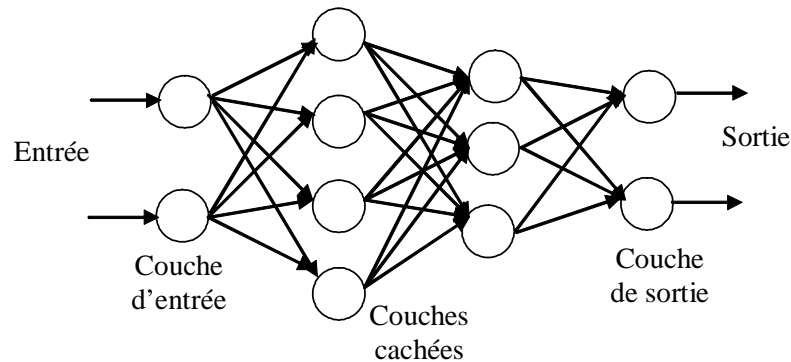


Figure (3.7) : architecture d'un réseau multicouche statique

type de réseau a des aptitudes à la généralisation, c'est-à-dire qu'il peut produire une réponse correcte (ou du moins presque correcte) pour une entrée qui ne lui a pas été présentée pendant la phase d'apprentissage. Le réseau peut être assimilé à une fonc-

tion d'entrée-sortie non linéaire, l'apprentissage ayant pour but de mettre au point cette fonction à partir d'un ensemble (judicieusement) choisi d'exemples.

Les réseaux multicouches ont été utilisés dans de nombreuses applications, allant du classificateur, des approximations de fonctions, jusqu'à l'identification de la parole, l'analyse de scènes ou l'identification de cibles militaires.

Réseaux à fonction de base linéaire (Linear Basis Function LBF) :

Ce réseau est basé sur l'algorithme de back-propagation, il est régi par l'équation :

$$u_i^l(t) = \sum_{j=1}^{N_{l-1}} w_{ij}^l(t) y_j^{l-1}(t) + \theta_i^l(t) \quad (3.9)$$

$$y_i^1(t) = f(u_i^1(t)) \quad (3.10)$$

Tel que :

1 : le nombre de couches.

$u_i^l(t)$: représente l'activité du jème neurone dans la lème couche.

$y_i^1(t)$: la sortie du ième neurone dans la lème couche, en provenance du jème neurone de la couche précédente.

$\theta_i^l(t)$: est un paramètre appelé Biais. Il a pour objectif de donner plus de souplesse à la fonction de sortie du neurone en approximation de fonctions. Il est différent pour chaque neurone.

$w_{ij}^l(t)$: sont les poids synaptiques de la lème couche reliant les ième et jème neurones.

La fonction d'activation $f(u)$ est monotone non décroissante. Elle a pour rôle de limiter l'activité du neurone. Pour les neurones de la couche d'entrée, cette fonction n'est autre que l'identité. Ainsi dans la couche d'entrée, chaque neurone fait passer une composante du vecteur entrée vers sa sortie sans aucun traitement, c'est à dire où représente la ième entrée du réseau à l'instant t.

3.8 Algorithmes d'apprentissage des RNA à apprentissage supervisé :

3.8.1 Méthode des moindres carrés (Least Mean Square Error) :

Cette méthode consiste à minimiser l'erreur quadratique défini par [20] :

$$(e^k)^2 = (D^k - W^T X^k)^2 \quad (3.11)$$

D^k est le vecteur de sorties désirées.

W^T est la matrice transposée de la matrice poids w .

X est le vecteur des entrées.

Après l'entraînement avec plusieurs exemples, l'erreur moyenne à minimiser doit avoir un minimum, ce qui revient à résoudre l'équation :

$$\frac{\partial}{\partial w} E [(e^k)^2] = 0 \quad (3.12)$$

Or :

$$E [(e^k)^2] = E(D^k)^2 - 2E(D^k X^k)W^T + WE(X^{kT} X^k)W^T \quad (3.13)$$

En posant R_{aut} la matrice moyenne des auto-corrélations entre les exemples d'entrées et P_{int} la matrice des inter-corrélations entre les entrées et leurs sorties désirées :

$$R_{aut} = E(X^{kT} X^k)$$

$$P_{int} = E(D^k X^k)$$

On aura

$$\frac{\partial}{\partial w} E [(y^k)^2] = -2P + 2wR \quad (3.14)$$

D'où l'on obtient le vecteur poids optimal :

$$W^* = P_{int} \cdot R_{aut}^{-1} \quad (3.15)$$

3.8.2 Rétro-propagation du gradient (backpropagation) :

Les premières approches datent de la fin des années 60, début des années 70. L'algorithme de rétro-propagation à plusieurs variantes, appelé l'algorithme du retour dynamique, a été découvert en 1974 par Werbos. En 1986, Rumelhart, Hinton et Williams [21] groupe d'informaticiens, exploitent le pouvoir et le potentiel de la rétro-propagation, ceci a poussé la communauté scientifique à s'y intéresser de plus en plus, ce qui a fait de lui l'algorithme connexionniste le plus utilisé qu'on désigne par " backpropagation". L'erreur se rétropropage à travers les couches du réseau *Figure.(3.8)*.

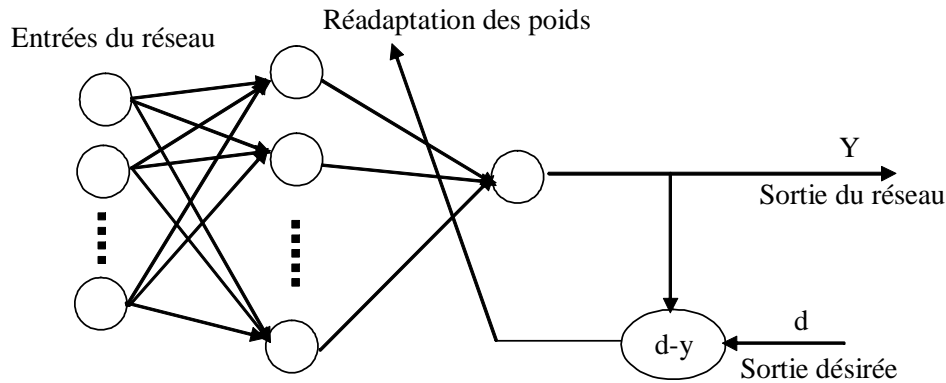


Figure (3.8) : Principe de l'entraînement du réseau par rétropropagation du gradient

L'algorithme de base de la backpropagation est celui de la descente du gradient. Contrairement au Madaline, dans l'algorithme de la backpropagation, les poids directement liés à la sortie ont un lien direct avec l'erreur à minimiser. Ceci introduit des calculs supplémentaires à effectuer.

Au début, il faut initialiser les poids synaptiques à de petites valeurs comprises entre -1 et +1. Ensuite il faut :

1. Présenter un nouvel exemple x^p à l'entrée du réseau
2. Calculer la sortie y_i^p du réseau et l'erreur quadratique E_p à la sortie, correspondant à l'exemple x^p , connaissant la sortie désirée :

$$E_p = \sum_{i=1}^{n_l} (d_i^p - y_i^p)^2 \quad (3.16)$$

n_L est le nombre de neurones dans la couche de sortie.

3. Calculer les valeurs de réadaptation des poids :

$$[\Delta w_{ij}^L]_p = \eta \cdot f(u_i^L(t)) \delta_i^L y_j^{L-1} \quad (3.17)$$

Où :

η : est le paramètre qui contrôle la vitesse de l'apprentissage appelé taux d'apprentissage.

$f(u_i^L(t))$ est la sortie du i ème neurone de la L ème couche.

Δw_{ij}^L est la valeur rajoutée aux poids.

Avec :

$$\delta_i^L = \begin{cases} d_i^p - y_i^L & \text{pour les neurones de la couche de sortie} \\ \sum_{k=1}^{n_{L+1}} \delta_{ki}^{L+1} w_{ki}^{L+1} & \text{pour les autres couches} \end{cases} \quad (3.18)$$

Variantes de la backpropagation :

Backpropagation à taux d'apprentissage adaptatif :

L'algorithme de la backpropagation réclame une variation infinitésimale des poids à chaque itération. Cette variation est contrôlée par le taux d'apprentissage. Un facteur trop petit assure la convergence mais très lentement. Alors qu'un facteur plus grand génère des changements plus importants dans les valeurs des poids synaptiques, pouvant accélérer ainsi l'apprentissage, mais engendrant aussi une instabilité dans la recherche

du minimum global, ce qui compromet la convergence. D'où l'importance du choix de ce paramètre dans l'algorithme d'apprentissage.

Une technique très simple est utilisée afin d'accélérer la convergence. Elle consiste à mettre en œuvre un algorithme qui contrôle l'erreur d'entraînement à chaque étape.

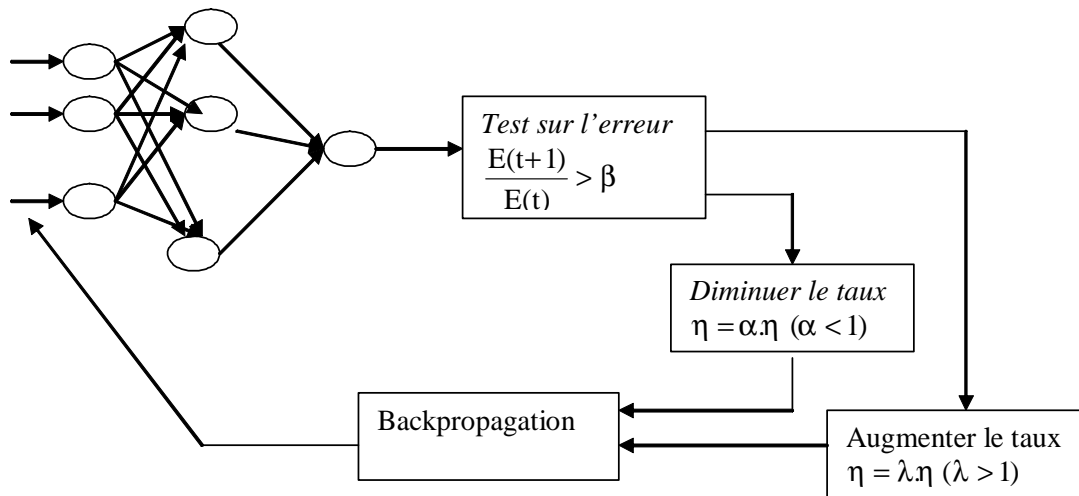


Figure. (3.9) : Schéma de principe d'adaptation du taux d'apprentissage

Pour un block learning, à chaque fois que l'erreur actuelle $E(t+1)$ dépasse la précédente $E(t)$ par un seuil précédemment fixé (β), due a une augmentation des oscillations d'où risque de divergence, on rejette alors les poids générés, on revient au point précédent et on diminue le taux d'apprentissage. Si par contre l'erreur diminue, les poids générés sont retenus et le taux d'apprentissage est augmenté. De cette manière, on essaye de à chaque étape d'avancer le plus rapidement possible vers l'optimum tout en évitant la divergence de l'algorithme. Cette méthode donne une convergence plus rapide avec une bonne précision d'entraînement.

Backpropagation avec momentum :

La backpropagation est très utilisée avec le Momentum. C'est une méthode importante et efficace. D.E.Rumelhart a proposé une solution très efficace pour accélérer la convergence. Elle consiste à utiliser les changements précédents des poids pour la réadaptation des poids actuels.

L'équation d'adaptation devient donc :

$$w_{ij}^l(t+1) = w_{ij}^l(t) + \alpha \Delta w_{ij}^l(t) + \alpha_m \Delta w_{ij}^l(t-1) \quad (3.19)$$

Le terme ajouté à l'équation (3.22) est appelé Momentum, en analogie avec la mécanique classique, où un objet en mouvement garde l'impulsion acquise grâce à la quantité de mouvement qui lui a été communiquée précédemment pour accélérer son mouvement.

Le paramètre α_m est utilisé pour pondérer l'effet de ce terme. Sa valeur est généralement comprise entre 0.1 et 0.8. L'adaptation de sa valeur donne des résultats très intéressants. L'utilisation de cette méthode permet de faire sortir les poids des minima locaux, afin de chercher d'autres optimums, ce qui donne beaucoup de chances d'aboutir à un minimum global.

Robust backpropagation :

Cette variante est insensible aux perturbations affectant les échantillons grâce à des estimations robustes. Parmi les lois de densité les plus utilisées dans le domaine de la statistique, on cite, la loi de gauss ou celle de Cauchy, ou la densité de probabilité basée sur la fonction logistique.

$$S(E_p) = \tanh\left(\frac{E_p}{2}\right) \quad (3.20)$$

$$S(E_p) = \frac{2E_p}{1 + E_p^2} \quad (3.21)$$

Fast backpropagation :

Dans la backpropagation classique, dès qu'on arrive à l'étape de réduire la fonction erreur, la convergence de l'algorithme devient de plus en plus lente. Ce qui a poussé N.B.Karayanis et A.N.Venetsanopoulos [22] à proposer l'application de l'algorithme de

backpropagation avec une fonction objective dite généralisée, pour accélérer cette convergence. Le critère proposé est décrit par :

$$G(\lambda) = \lambda E_1 + (1 - \lambda) E_2$$

$$= \lambda \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{nl} \frac{1}{2} (e_i^k)^2 + (1 - \lambda) \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{nl} \theta(e_i^k) \quad (3.22)$$

$$\theta(d_i^k - y_i^k) = d_i^k (d_i^k - y_i^k) \quad (3.23)$$

La méthode de Levenberg-Marquardt

La méthode de Levenberg-Marquardt (LM) consiste à modifier les paramètres selon la relation suivante :

Avec : I = Matrice identité

Cette méthode est particulièrement astucieuse car elle s'adapte d'elle-même à la forme de la fonction de coût. Elle effectue un compromis entre la direction du gradient et la direction donnée par la méthode de Newton. En effet, si λ est grand, on reconnaît la méthode du gradient (dans ce cas la valeur du pas est donnée par $1/\lambda$) et si λ est petit, la modification des paramètres correspond à celle de la méthode de Newton.

Cette méthode permet d'éviter les inconvénients du choix du pas et du nombre d'itérations, car elle choisit automatiquement un compromis entre la direction du gradient et la direction de Newton. Nous choisissons une valeur initiale de λ (Bishop propose $\lambda = 0.1$) qui est modifiée durant l'optimisation. A chaque itération, on calcule la fonction de coût avec la valeur de précédente ; si la fonction de coût diminue, on effectue la modification des paramètres et on diminue (par exemple, divisé par 10) ; si la fonction de coût croît, on recherche à se rapprocher du gradient et on augmente (multiplie par 10) jusqu'à ce que le coût diminue. Cette méthode présente un intérêt pratique car elle peut être utilisée sans avoir à choisir le pas λ . Partant d'une valeur initiale pour λ

3.9 Problèmes d'apprentissage :

L'apprentissage d'un RNA passe par la définition de plusieurs paramètres ou choix s'agissant de la règle d'apprentissage ou du réseau. Chacun d'entre eux a une influence positive ou négative sur l'apprentissage lui-même. D'où la difficulté de choisir ces paramètres. Il existe un certain nombre de problèmes qu'on peut rencontrer lors de l'apprentissage. Parmi eux [23] :

- Insuffisance de la règle d'apprentissage, rien ne garantit que la règle d'apprentissage soit capable de tirer profit de plein potentiel du réseau.
- Minima locaux. La majorité des apprentissages supervisés procèdent par descente du gradient. Or, ce type de technique peut conduire à une solution sous optimale. En pratique, ce type de problème est particulièrement difficile à éviter, notamment parce que la surface d'erreur n'est généralement pas connue. Sachant que les poids initiaux du réseau conditionnent en partie les résultats de l'apprentissage, plusieurs chercheurs relancent l'apprentissage à partir du choix des poids initiaux différents pour se préserver de ce problème.
- Mauvais choix des paramètres initiaux, comme par exemple le nombre de neurones cachés du réseau. Cette valeur est particulièrement importante parce qu'elle détermine le nombre de variables libres (c'est à dire de poids) du réseau, et parce qu'elle détermine les capacités de calcul du réseau. Ainsi, un nombre insuffisant de neurones cachés peut compromettre la capacité du réseau à résoudre la tâche donnée. Inversement, trop de neurones cachés permettent au réseau d'apprendre les particularités de corpus d'apprentissage (d'apprendre les corpus par cœur), au détriment des performances de généralisation.

Les paramètres propres à la règle d'apprentissage sont souvent aussi difficiles à choisir que ceux du réseau. Par exemple, la plupart des règles d'apprentissage comprennent un pas d'apprentissage, valeur qui affecte la taille du vecteur de correction. Une fois de plus, le bon choix de ce paramètre peut relever de l'exploit : un pas trop petit empêche le réseau de se stabiliser sur une solution et rend la convergence lente, tandis qu'un pas

trop grand augmente inutilement la quantité de calculs à effectuer et peut empêcher le réseau de converger.

- Surapprentissage. Quand l'apprentissage d'un réseau est prolongé, son choix de poids reflète de trop près les particularités de corpus d'apprentissage, au détriment de la tâche réelle.
- Mauvais échantillonnage. Les corpus d'apprentissage ne reflètent pas toujours adéquatement la tâche, soit par mauvais échantillonnage, soit tout simplement parce qu'il est trop petit. Il en résulte que le réseau généralise mal et se comporte incorrectement quand il est mis en situation réelle.
- Oubli et interférence. Certains patrons peuvent interférer avec l'apprentissage d'autres patrons. Cela est particulièrement vrai lorsque le corpus d'apprentissage est grand, ou que le comportement à apprendre comprend plusieurs cas exceptionnels. Ces derniers sont alors difficiles à apprendre par le réseau et peuvent nécessiter un traitement particulier.
- Mauvais codage. Il se peut que la technique de codage choisie accule ou rende inutilement obscure l'information nécessaire à la résolution du problème.

3.10 L'application au traitement du signal :

Dans ce domaine, les application réalisées traitent essentiellement de la reconnaissance de signatures radar ou sonner . La société NESTOR a développé un réseau de neurones qui identifie une cible à coup sur (100 % de réussite) et reconnaît du bruit avec un taux de réussite de 95 % . Cette application à été construite à partir de signaux sonars et des traits caractéristiques de ces signaux déterminés par les experts comme utiles pour identifier une cible en environnement bruité. Le réseau agit dans ces comme un filtre pour éliminer le bruit.

3.11 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les notions principales relatives aux réseaux de neurones. A cet effet, il est à rappeler qu'un réseau de neurones n'est rien d'autre qu'un 'approximation de fonctions basé sur l'interconnexion de plusieurs entités élémentaires appelées neurones. Nous avons aussi parlé des réseaux de neurones biologiques, dont s'inspirent les RNA. Nous avons donné quelques définitions et notions de bases : architecture, principe de fonctionnement et apprentissage. Nous avons présenté différents types de réseaux de neurones classés en deux grandes familles, selon le type d'apprentissage, supervisé et non-supervisé. Quant aux méthodes d'apprentissage, La méthode de back-propagation constitue l'algorithme d'apprentissage supervisé le plus utilisé. Toutefois, cette méthode converge trop lentement et dépend étroitement de la base d'apprentissage. D'autre part, cet algorithme se bloque souvent dans des minimums locaux. L'algorithme de descente de gradient a l'avantage de son indépendance par rapport au nombre de couches cachées, mais il présente l'inconvénient du choix des taux d'apprentissage, des poids, des centres et des variances. S'ils sont trop petits, le temps d'exécution va être trop lent. Par contre, s'ils sont trop grands les paramètres à ajuster oscillent autour de l'optimum. L'algorithme d'optimisation aléatoire, ROM, ne dépend pas du système sur lequel il est utilisé. De plus sa technique de recherche permet d'atteindre un minimum global. Pour conclure, les récents développements dans le domaine des RNA ont suscité à la fois enthousiasmes et critiques. Pour de nombreuses tâches, aucune approche n'est vraiment supérieure. Le choix de la meilleure technique doit en fait être guidé par la nature du problème à résoudre.

Chapitre 4

Réalisation pratique

4.1 Introduction

Après l'évocation de toutes les notions, sur les fuites et les appareils utilisés pour sa détection, nous passerons à expliquer la partie expérimentale on fait le montage de la *Figure* (4.1). On a fait au laboratoire une réalisation pratique d'un canal prototype hybride composé d'une partie de 10 m en acier et une autre partie en plastique de 16 m fermant aussi un circuit fermé sur un réservoir lié à une pompe à eau.

Sur la partie en acier on a percé un trou de quelques mm pour obtenir une fuite. À la base d'un seul capteur (microphone) lié directement à l'entrée audio du PC on a relevé le signal capté. En suite on a commencé à changer la position du capteur par rapport à la fuite et à chaque position on enregistré le signal pendant 10 s, les fichiers aussi obtenus ont pour forme (.wav)

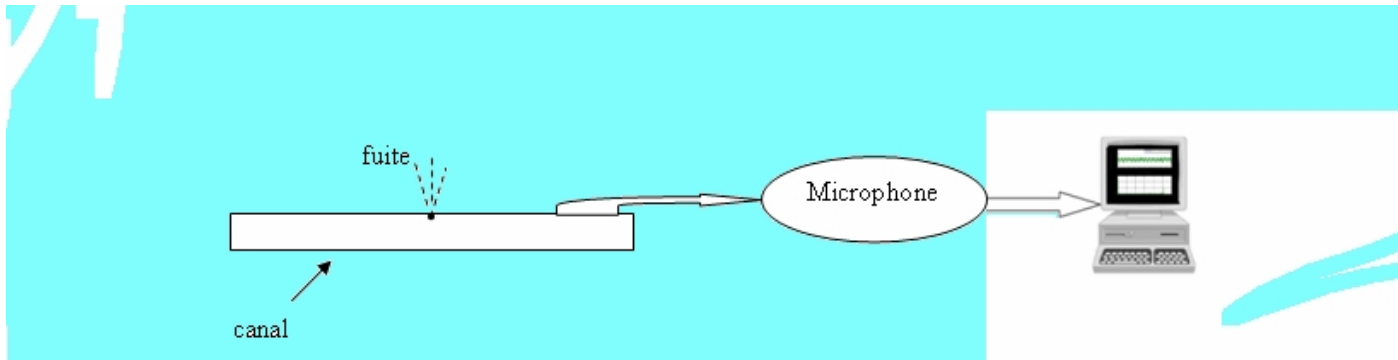


Figure (4.1) : Schéma synoptique de la réalisation.

4.2 Le circuit hydraulique

Pour ce projet on utilisé un système équivalent à un réseau de distribution d'eau composé par les élément suivants *Figure(4.2)* :

- 1-Réservoir(100liters).
- 2-Une conduite d'eau (un tuyau de canalisation).
- 3-Un robinet d arrêt.
- 4-Support.
- 5-Fuite d'eau,crée une fuite sur la partie en acier.
- 6-Une pompe.



Figure (4.2) : Circuit hydraulique

Matériels utilisés pour la détection de fuite :

- 1-Un pc de marque IBM.
- 2-capteur de sons (microphone).

4.3 Signal temporel

Après exécution du programme élaboré sous Matlab ce dernier (programme) utilisé une instruction pour la conversion d'un signal audio a des échantillon qu'on peut les traiter par la suite par le PC la forme générale de cette instruction est wavread.

Cette dernier donne un nombre d'échantillons $N = 225940$ sur les 10 s ,avec une fréquence d'échantillonnage $F_s = 22050$ Hz .

Les signaux aussi obtenus et avec leurs transformées de Fourier sont montrés par les figures ci dessous.

1-pour $d=50$ cm.

Sans fuite :

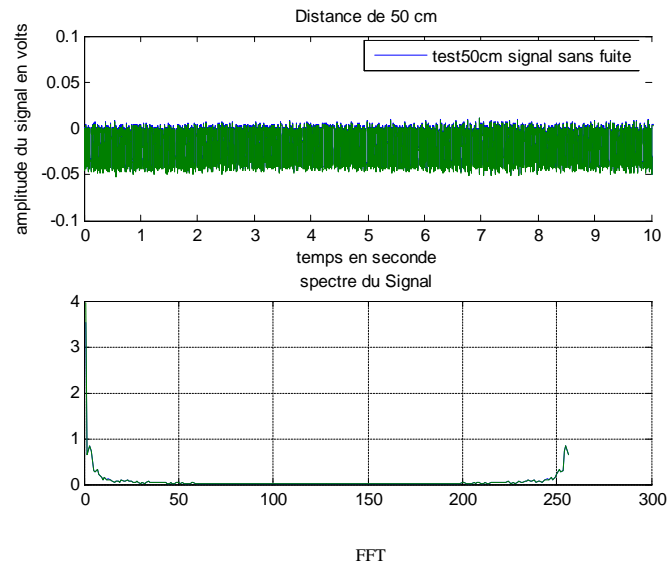


Figure (4.3) : FFT du signal pour $d=50$ cm

Avec fuite :

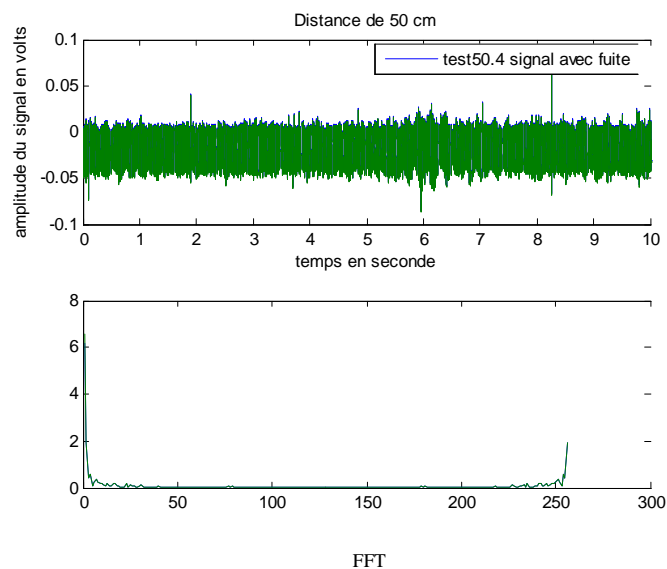


Figure (4.4) : FFT du signal pour d=50 c m

2-pour d=1 m.

Sans fuite :

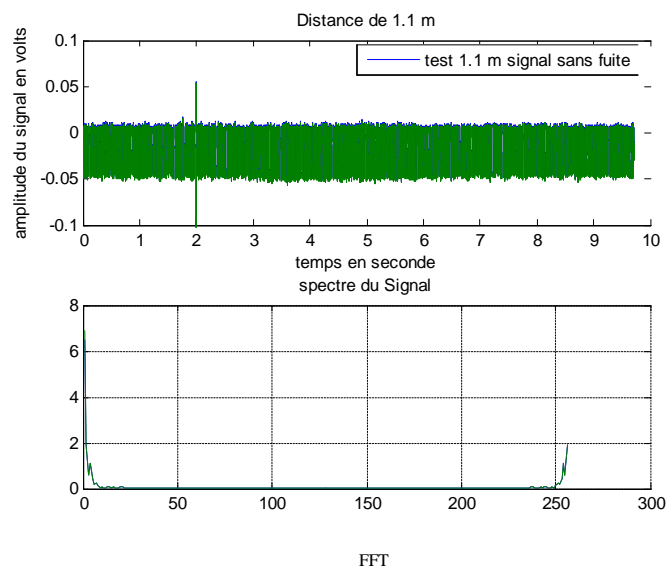


Figure (4.5) : FFT du signal pour d =1.1 m

Avec fuite :

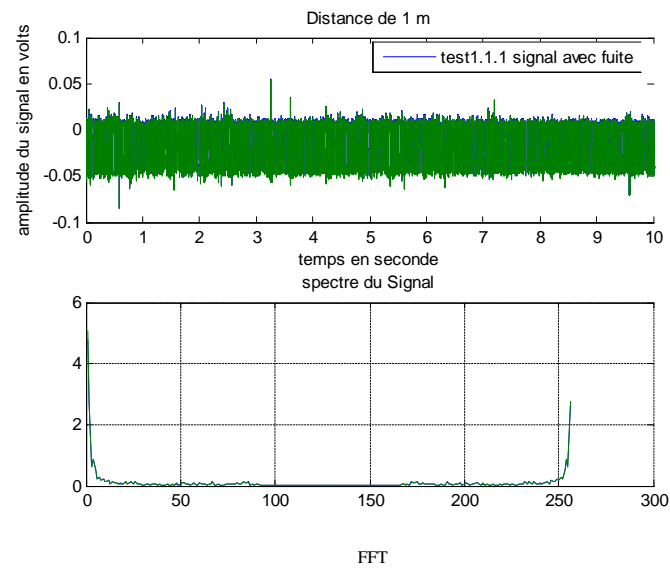


Figure (4.6) : FFT du lesignal pour d=1 m

3-pour d=3.5 cm.

Sans fuite :

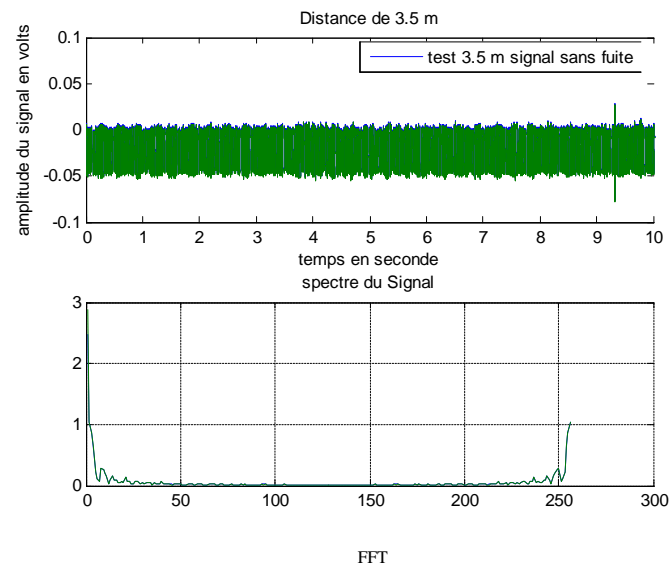


Figure (4.7) : FFT du signal pour d=3.5 m

Avec fuite :

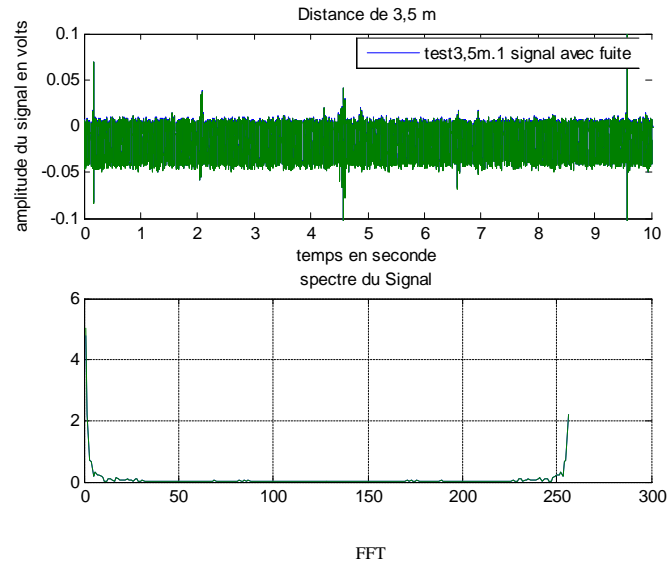


Figure (4.8) : FFT du signal pour d=3.5 m

Interprétation des courbes :

En faisant la comparaison entre les figures des signaux sans et avec fuite .Nous n'avons pas fait une distinction.

On est ramené à faire un changement de la fréquence pour obtenir plus d'information sur le signal.

On a choisi une fréquence d'échantillonnage $F_s=8000$ Hz les résultats après exécution du programme sont donnés par les figures ci-dessous.

1-pour $d=10$ cm.

Sans fuite :

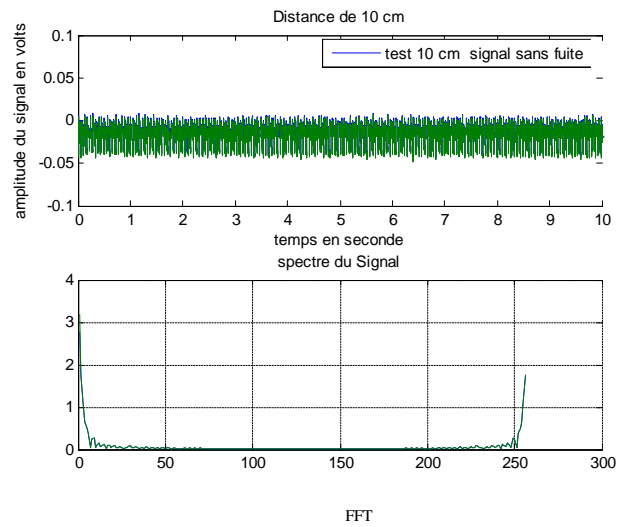


Figure (4.9) : FFT du signal pour $d=10$ cm

Avec fuite :

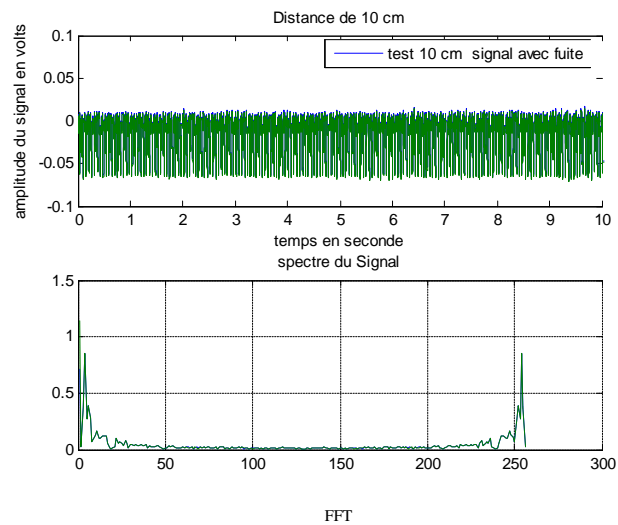


Figure (4.10) : FFT du signal pour $d=10$ c m

2-pour $d=1$ m.

Sans fuite :

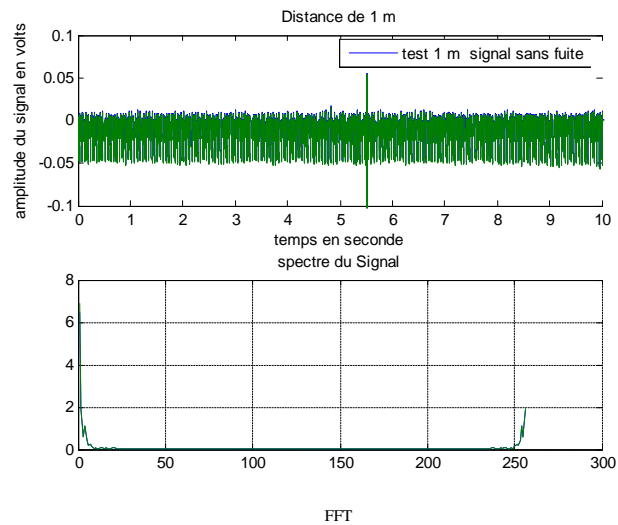


Figure (4.11) : FFT du signal pour $d = 1$ m

Avec fuite :

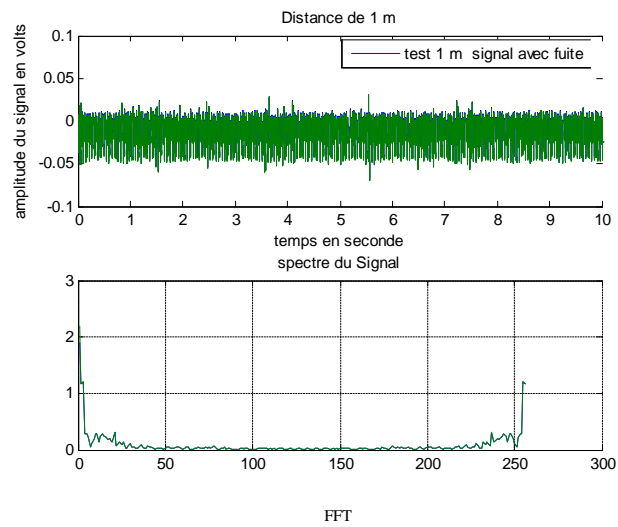


Figure (4.12) : FFT du signal pour $d=1$ m

3-pour $d=2$ m.

Sans fuite :

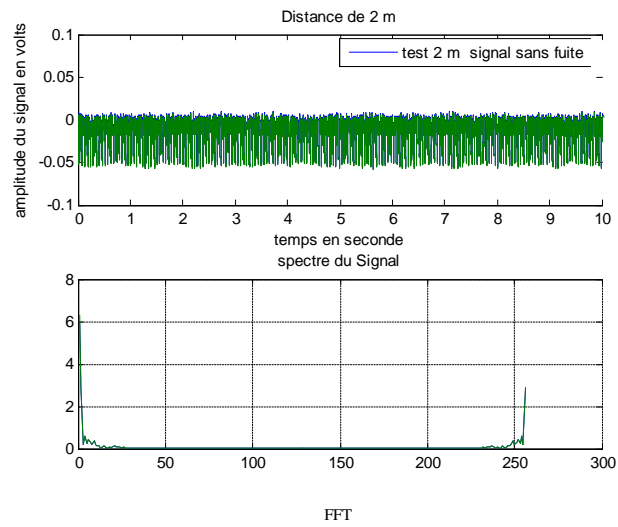


Figure (4.13) : FFT du signal pour $d=2$ m

Avec fuite :

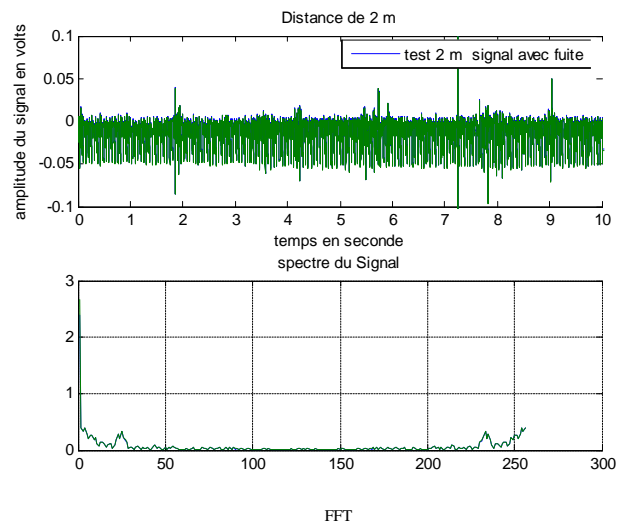


Figure (4.14) : FFT du signal pour $d=2$ m

Interprétation des courbes :

La comparaison des spectres des signaux (sans /avec) fuite nous laisse dire que la fréquence de la fuite est située à une fréquence inférieure à 50 Hz .

○ Comparaison entre le signal avec et sans fuite pour les distances $d = [10\text{cm}, 1\text{m}, 2\text{m}, 3\text{m}]$

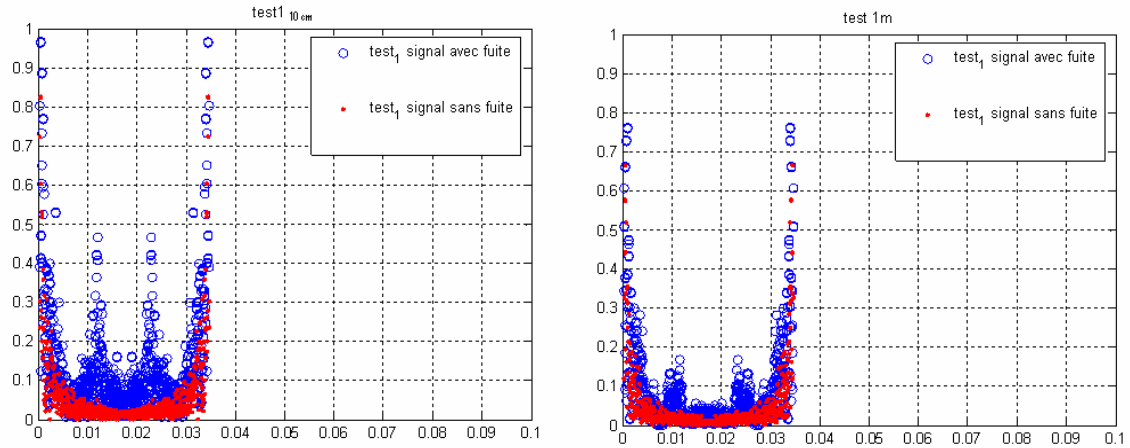


Figure. (4.15) : comparaison entre le signal avec/sans fuite pour $d=[10\text{ cm et } 1\text{m}]$

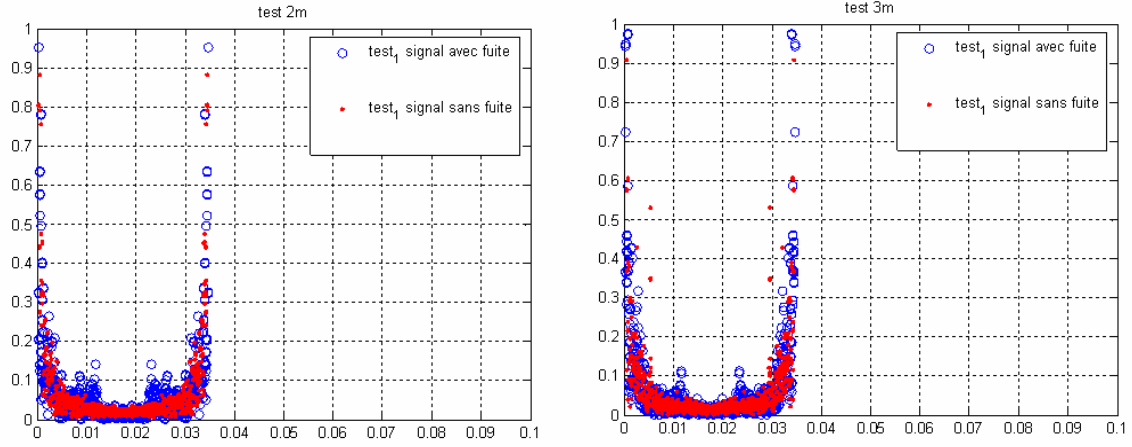


Figure. (4.16) : comparaison entre le signale avec/sans fuite pour $d=[2 \text{ m et } 3 \text{ m}]$

Interprétation des courbes :

D'après les figures ci-dessus on constate au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la fuite l'amplitude du signal capte diminue .Elle est représenter en bleu sur les courbes.

4.4 L'application des RNA pour le traitement du ce signal

A partir des testes on a formé une base de donnée .Nous avons utilisé la moyenne et la puissance du signal comme paramètres a l'entrée du réseau et la distance comme paramètres de porté.

4.4.1 Architecture de réseau RNA avec deux entrées et une sortie :

Dans ces méthodes, deux valeurs (X_i, Y_i) sont injectées à l'entrée pour une sortie Y_{i+1} .

Pour les trois réseaux de neurones, les entrées utilisées sont :

1. Valeur moyenne.
2. La puissance.

et la sortie est : la distance par rapport à l'endroit de la fuite

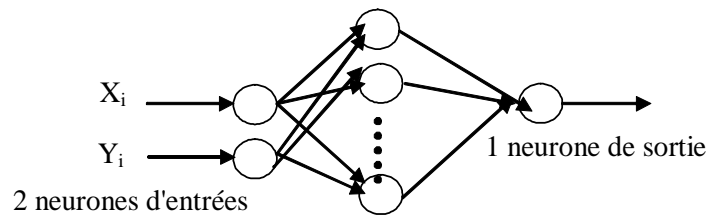


Figure. (4.16) . : Architecture du réseau

4.4.2 La méthode de rétropropagation

Cette approche consiste La méthode la plus utilisée est la rétropropagation [24, 25] : on introduit des valeurs dans les cellules d'entrée et en fonction de l'erreur obtenue en sortie

on corrige les poids accordés aux pondérations. C'est un cycle qui est répété jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit atteint.

Les étapes de 2 à 4 sont répétées jusqu'à atteindre ce but *Figure.(4.17)* :

1. Déclarations des différentes variables.
2. Le réseau est simulé.
3. Recherche de l'entrée qui correspond à l'erreur la plus élevée..

4. Réadaptation des poids pour minimiser l'erreur.

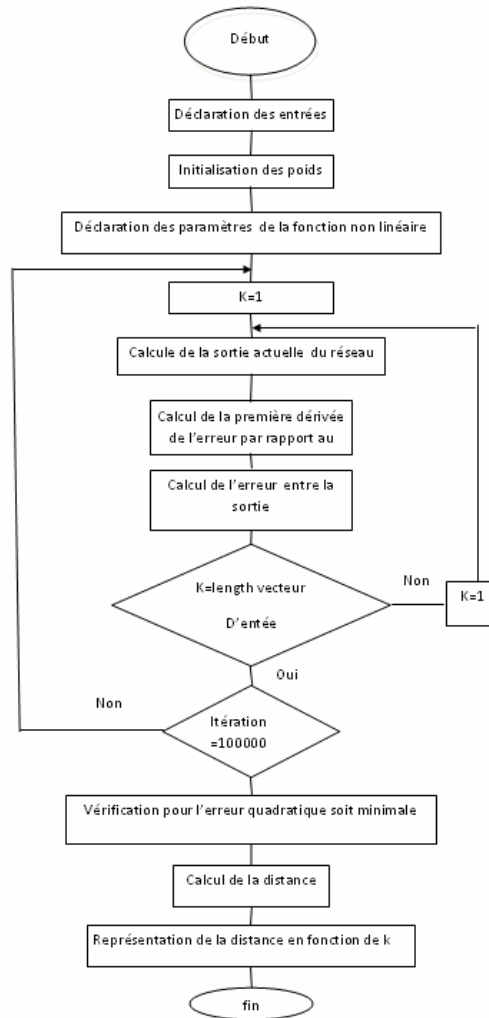


Figure (4.17) : Organigramme du réseau

Les Résultats obtenus a partir de la rétropropagation :

La méthode de rétropropagation a donnée une bonne approximation de la courbe estimée et la corbe réelle les premières résultats sont représentés dans la figure *Figure(4.18)* .mai le tempe d'exécution est très long

$$Ev = 0.2223$$

Temps d'exécution : 134.7 seconds

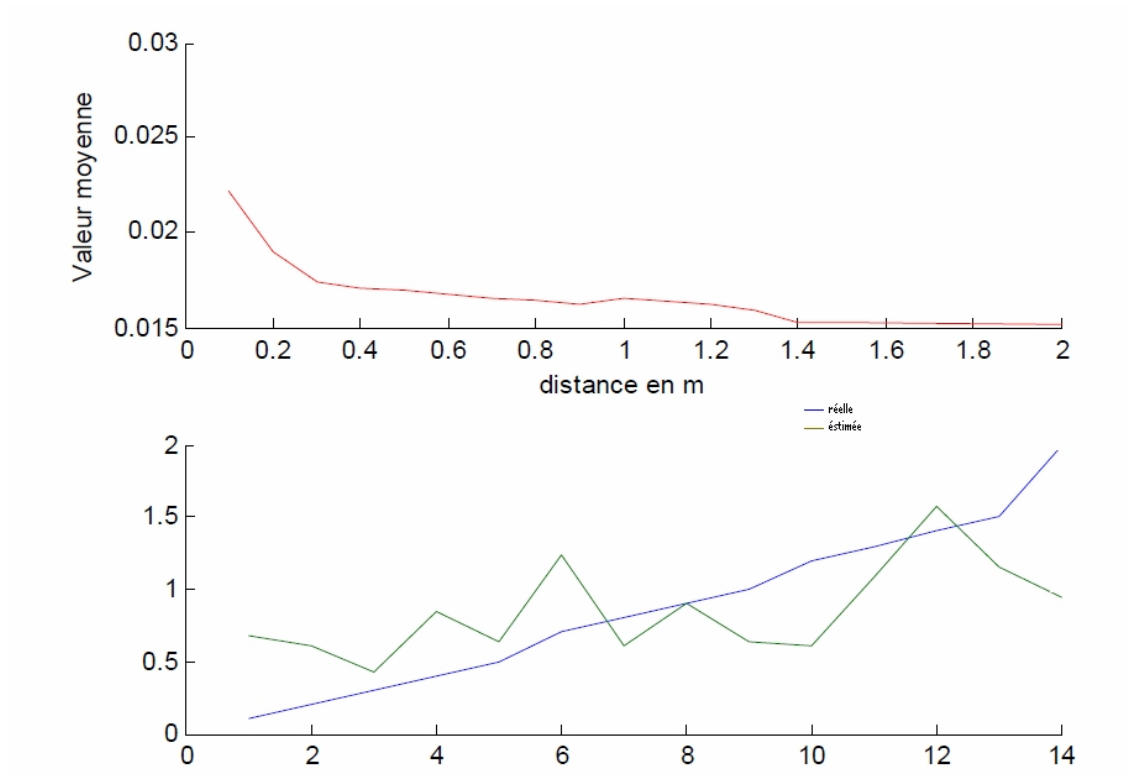


Figure (4.18) : Variation de la disance estimée et réel en fanction de k

Après plusieurs entrainement on a obtenu une superposition des deux courbes minimisant ainsi l'erreur. *Figure(4.19).*

$$Ev = 1.0280e - 005$$

Temps d'exécution : 101.9 seconds

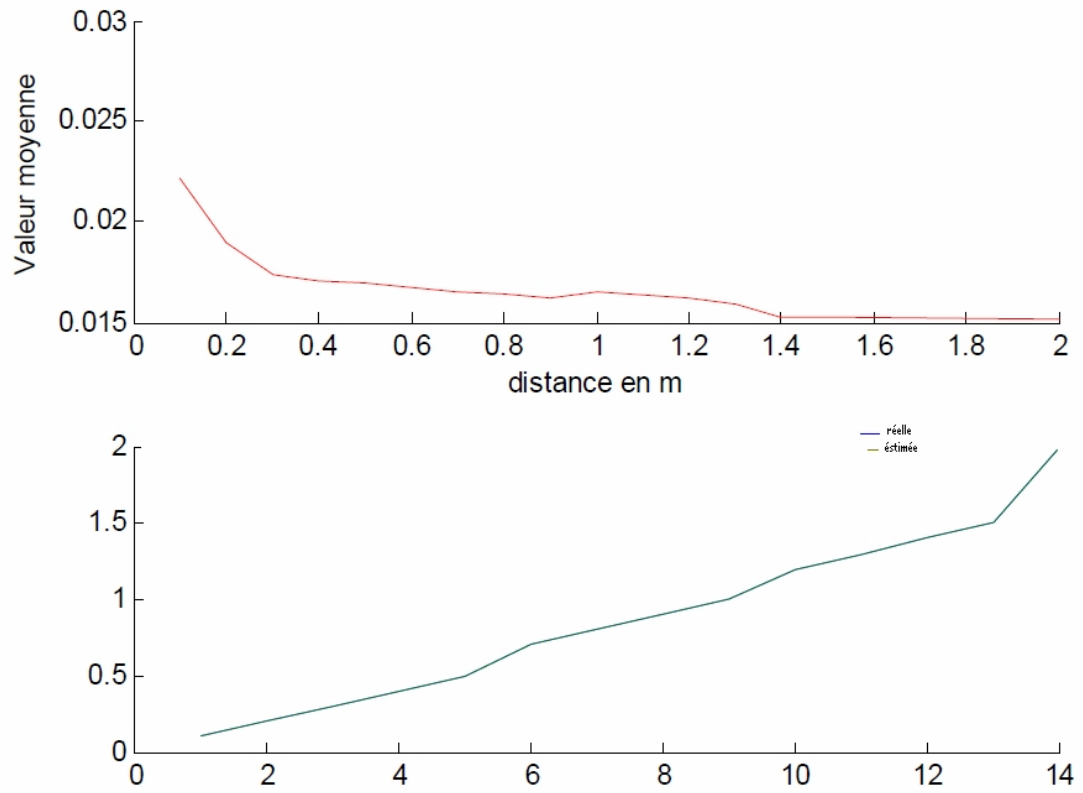


Figure. (4.19) : Variation de la disance estimée et réel en fanchon de k

Les résultats de calcul sont mentionnés sur le *Tableau* (4.1)

la distance mesurée en pratique en (cm)	la distance estimée par le réseau en (cm)
10	10.28
20	20.67
30	34.23
50	49.64
70	72.71

Tableau (4.1) : La distance mesurée en pratique et la distance estimée

4.4.3 La méthode de Levenberg

Dans cette partie nous avons utilisé une nouvelle approche pour la prédiction de la distance par le réseau RNA.

$$Er = 5.7968e - 028$$

Temps d'exécution : 14.2 seconds

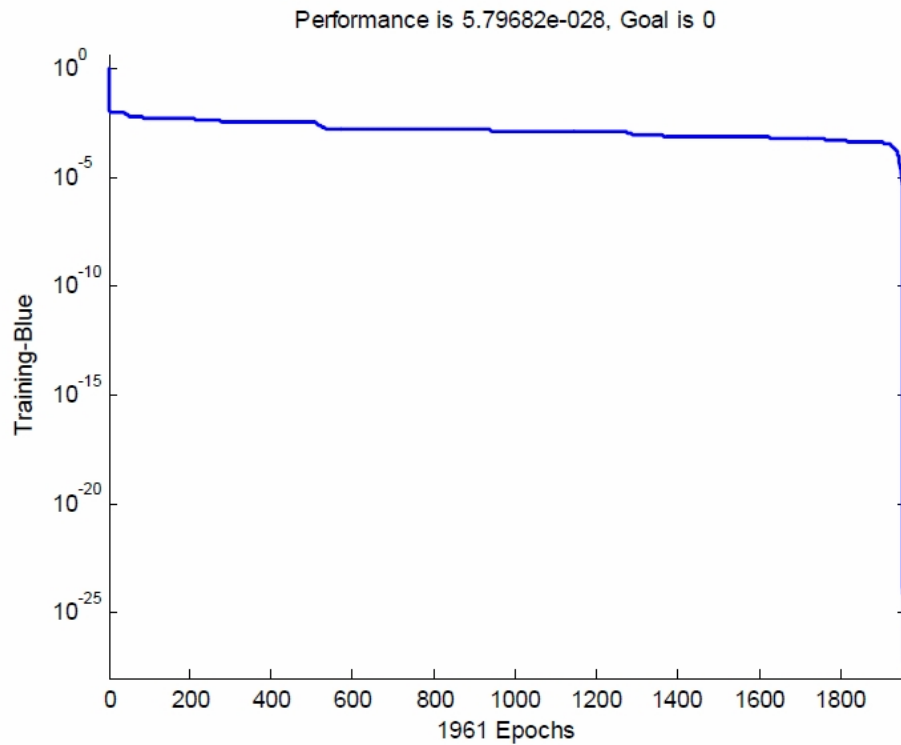


Figure (4.20) : Validation de réseau

4.4.4 La méthode de Réseau à fonction radiale (RBF)

Le réseau RBF est un réseau de neurones utilise l'apprentissage supervisé. Il s'agit d'une ' spécialisation ' d'un PMC. Le réseau possède trois couches comme le perceptron multicouches(PMC), où la couche cachée contient des neurones RBF qui contiennent chacune une fonction d'activation gaussienne.Cette approche consiste à ajouter des neurones à la couche cachée du réseau jusqu'à ce que l'erreur spécifiée soit atteinte.

Les étapes de 2 à 5 sont répétées jusqu'à atteindre ce but *Figure(4.21)* :

1. Déclarations des différentes variables.

2. Le réseau est simulé.
3. Recherche de l'entrée qui correspond à l'erreur la plus élevée.
4. Un neurone à fonction radiale est ajouté au réseau avec un poids égal à cette entrée.
5. Réadaptation des poids pour minimiser l'erreur.

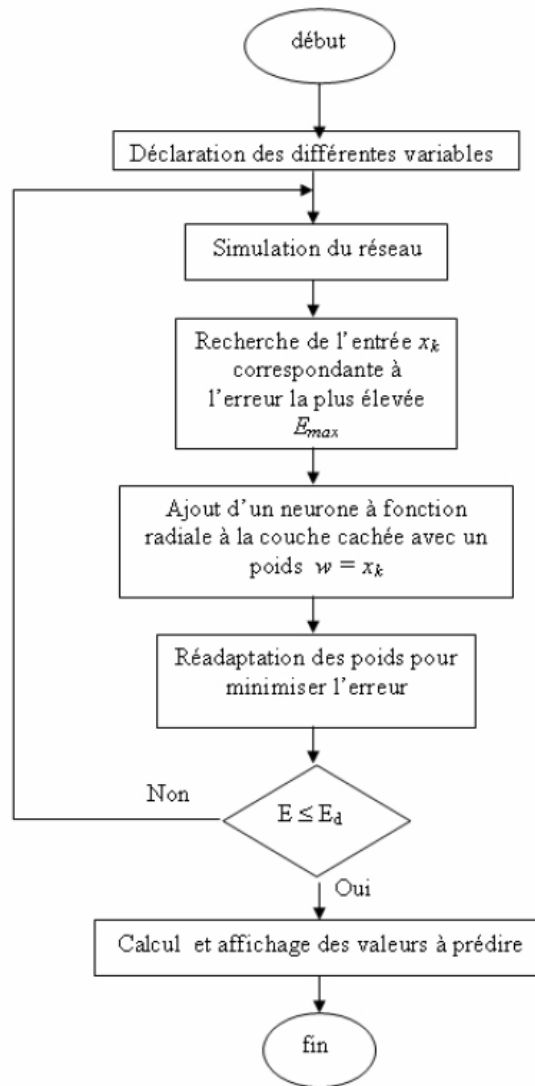


Figure (4.21) : Organigramme du réseau

Les Résultats de cet méthode :

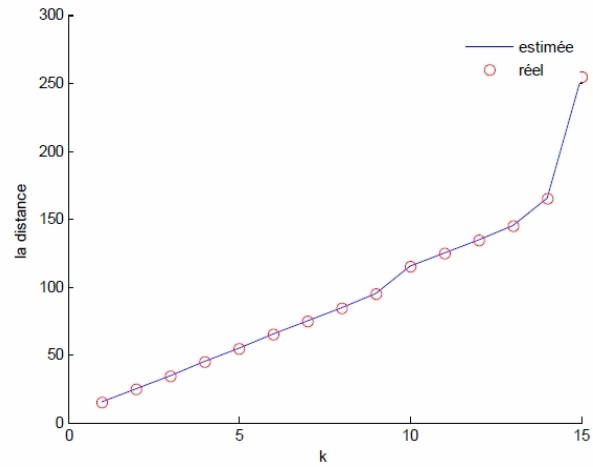


Figure (4.22) : Variation de la disance estimée et réel en fanction de k

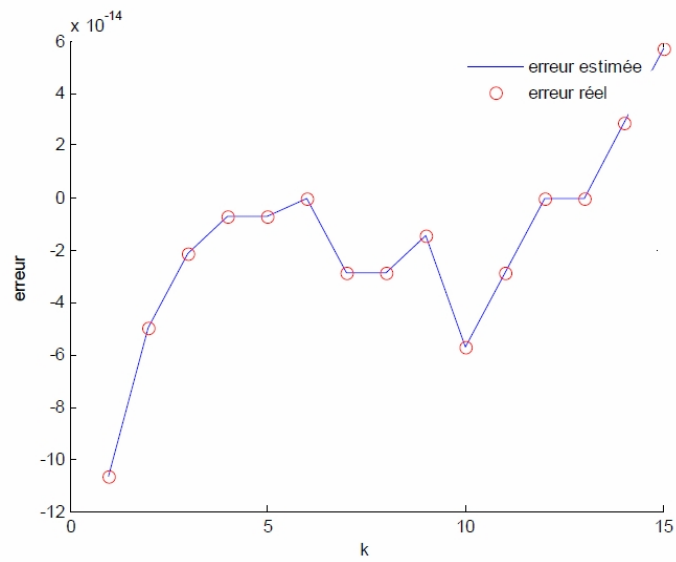


Figure (4.23) : Représentation de l'erreur estimée et réel

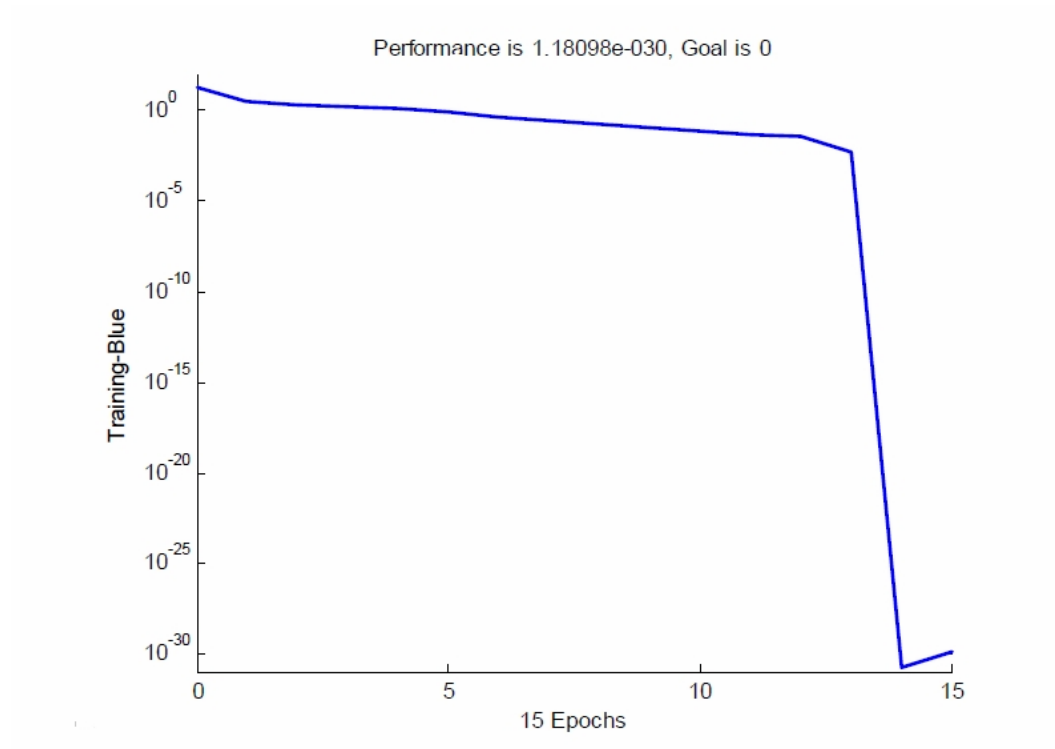


Figure (4.24) : Validation du réseau

$Er = 7.8732e-032$.

Temps d'exécution : 0.7 seconds .

Les résultats de calcul sont mentionnés sur le *Tableau (4.2)*

la distance mesurée en pratique en (cm)	la distance estimée par RBF en (cm)
25	25.093
45	44.97
55	56.787
65	64.982
75	75.005
85	48.314
95	94.999
115	115.28
125	125.03
135	135
145	147.22
165	162.53
255	254.94

Tableau (4.2) : La distance mesurée en pratique et la distance estimée

4.5 Comparaison entre les trois méthodes

En faisant une comparaison des 3 méthodes on a constaté que la méthode RBF a présentée des meilleurs performances en terme de temps d'exécution et erreur de calcul par rapport aux deux autres méthodes.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cité les différentes étapes essentielles pour la construction d'un réseau de neurone artificiel en se basant sur l'algorithme de : rétropropagation., Levenberg et RBF Nous avons montré la possibilité d'utiliser ce type de RNA pour détecter la positionnement de la fuite . Les résultats obtenus laissent entrevoir une application en temps réel de ces architectures avec des performances appréciables.

Conclusion générale

Le travail effectué dans ce présent mémoire a pour objet de consacré à l'acquisition et la caractérisation provenant d'une fuite d'eau, dans un but de trouver une solution aux problèmes de fuites.

Dans le chapitre 1 nous avons défini et donné les paramètres qui constituent la fuite d'eau , cette notion très importante qui ne cesse d'attires plusieurs pole de la recherche scientifique .l'influence de ces paramètre à savoir : la réparation des fuites,les perte d'eau ,débit et vitesse moyenne, les principe cause de fuite ...

Dans le chapitre 2 nous avons représenter la fonctionnements des détecteurs telle que les détecteurs travaillant selon le principe de l'écoute de bruits captés, et les détecteurs à base de corrélation acoustique.

Dans le chapitre 3 nous avons fait une recherche bibliographique pour mieux définir , connoter et exploiter les réseaux de neurones artificiels.

Dans le chapitre 4 des teste ont appliqués pour confirmer le bon fonctionnement de la méthode utilisée.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence la capacité des réseaux de neurones artificiels(Rétro propagation ,levenberg et RBF) à être de très bons et puissants approximations de fonctions. Ces réseaux donne de très bons résultats de prédiction. Leur simplicité et leur capacité à apprendre ont en fait des outils très utilisés dans différentes applications.

De plus, le bon choix des paramètres et des algorithmes leur procure encore plus de puissance et de rapidité à converger. Le choix de la meilleure technique doit en fait être guidé par la nature du problème à résoudre. Ceci est mis en évidence dans notre étude, où grâce à un meilleur choix de l'algorithme et des paramètres.

D'après les courbes de simulations obtenues, on constate que les trois méthodes présentent une bonne généralisation pour la plus part des caractéristiques dans le cas de la nouvelle méthode, et sont meilleurs approximations. La troisième méthode(RBF) reste

incontestablement la meilleure méthode de prédiction et présente la meilleure précision que les deux autres méthodes.

L'utilisation des réseaux de neurones artificiels dans différents domaines pour la prédiction, le diagnostic...etc. reste le moyen le plus économique et le plus rapide. Les RNA ne sont pas seulement économique, ils nous permettent surtout de gagner beaucoup de temps. Ceci permet aux chercheurs de passer moins de temps aux laboratoires, ce qui leur donne plus de temps pour se consacrer à d'autres travaux et activités..

Perspectives :

La méthode a été appliquée sur une seule fuite notre but et de la généraliser pour la détection de plusieurs fuite a la fois,utiliser a un système de calcul rapide pour minimiser le temps d'exécution penser a une détection en temps réel.

Bibliographie

- [1] Ridha BENHAMOUDA Notion de mécanique de fluide .
- [2] connaissances et maitrise des pertes dans les réseau potable mais 2006 office international de l'eau .
- [3] J. LECONTE, Chaudronnerie et tuyauteries industrielles, Tome 1, Edition Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, Novembre 1991.
- [4] Y.OURAGH, Ecoulements forcés en hydraulique ; Première partie, O. P. U, Alger, 1994.
- [5] A.CHATAIN, Eléments normalisés pour tuyauteries sous pression. Techniques de l'ingénieur.
- [6] C.GOMILA, H.GUERREE, La distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales ,2ème édition, Paris, 1974.
- [7] Osama Hunaidi, La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau, ISSN, Octobre 2000, Canada, pp : 1206-1239.
- [8] www.sewerin.com secorr.
- [9] www.sebareseaux.fr.
- [10] 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.
- [11] www.palmer.co.uk.

- [12] J.Hertz, A.Kroghrt, R.G.Palmer,” introduction to the theory of neural computation”, Addison-Wesley, 1990.
- [13] E.Davalo, P.Naim, des réseaux de neurones, Edition Eyrolles, 1990.
- [14] R.L.Harvey, ‘Neural network principles’, Printice Hall International INC, 1994.
- [15] Y.M.Yeddou, ‘Etude de synthèse sur les réseaux de neurones et leurs applications’, thèse de magister en Automatique à l’ENP, Alger 1998.
- [16] L.Mokhnache, ‘Application des Réseaux de Neurones dans le Diagnostic et la Prédiction des Isolations de Haute Tension’, thèse de doctorat à l’ENP, Alger, 2004.
- [17] F.Rosenblatt, ‘The perceptron : a probalistic model for information storage and organization in the brain’, Psychological Review, Volume 65, pp. 386-408, 1958.
- [18] M.Minsky, S.Papert, ‘Perceptrons’, Cambridge, Mass : MIT Press, 1969.
- [19] B.Widrow, M.E.Hoff, ‘Adaptive switching circuits’, Western Electric Showand Convention Record, part 4, pp. 96-104, août 1960.
- [20] J.M.Zurada, ‘Introduction to artificiel neural systems’, West publishing Company, USA,1992.
- [21] R.J.Williams, D.Zipser, ‘A learning algorithm for continually running fully recurent neural networks’, Neural Networks, Neural computation, Volume 1, pp. 268-280, 1989.
- [22] A.Karakasoglu, S.I.Sudharsanan, « Identification and Decentralized Adaptative Control Using Dynamical Neural Networks with Application to Robotic Manipulators », IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.4, N0 6, Novembre 1993.
- [23] A.El Hadj, ‘Utilisation des Réseaux de Neurones Artificiels dans le Domaine de la Pollution des Isolateurs’, thèse de magister à l’ENP, Alger, 2001.
- [24] R. Rojas,”Neural Networks : A Systematic Introduction”, Springer-Verlag, Berlin, pp.84-91 (perceptron learning) ; pp.159-162 (backprop), 1996.