

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Jijel

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique



*Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
Master en Télécommunications*

Option

Systemes des Télécommunications

Thème

**Estimation des paramètres des signaux
acoustiques par des méthodes inverses**

Présenté par :

- Yakoub KAHLESSENANE
- Djamel eddine BOUDJENANA

Encadré par :

- M^{me} F. ARICHE
- M^r M. GRIMES

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage pour accomplir ce modeste travail de recherche.

Nous remercions vivement notre encadreur M^{me} F.ARICHE de nous avoir confié ce travail d'abord et pour son soutien, ses conseils précieux, ses encouragements et

sa grande patience durant toute la période de ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à notre co-encadreur Mr M.GRIMES pour son aide, sa grande disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce projet.

Nous remercions les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de participer au jugement de ce travail.

Nous souhaitent également remercier tous nos enseignants d'Electronique pour tous le savoir qu'ils nous ont donné durant toute ces années d'étude, plus précisément notre agréable chef de département Mr T.BENKEDIDAH, sans oublié sa secrétaire Mlle B.BADIA pour sa gentillesse.

Un remerciement très chaleureux à nos parent pour leurs soutiens et leurs conseils tout au long de nos études ainsi que tous les membres de la famille, nos amis et tous ceux, qui de près ou de loin, nous ont apportés leur contribution, pour accomplir ce travail.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et

leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères,

Pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien

infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Yakoub Kahlessenane

Dédicace

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être, pour tout le soutien et l'amour que vous me portez, merci, merci et merci. Avec toute ma tendresse.

A mes chères sœurs.

A mes oncles, tantes.

A mes cousins et cousines.

Meilleurs vœux de succès dans vos études et dans votre vie.

A mes amis.

Vous m'avez encouragée et aidée quand j'avais besoin de vous. Je n'aurais jamais pu le faire sans vous. Mes sincères remerciements.

A tous mes enseignants, du primaire à l'université

A tous les amis que j'ai eus dans ma vie.

A mes camarades de promo 2020

BOUDJENANA Djamel Eddine

Table des matières

Sommaire.....	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux.....	XI
Liste des abréviations et notations.....	XII
Introduction générale	1

Chapitre I

Généralité sur les ondes acoustiques

1. Introduction.....	4
2. Onde acoustique.....	4
3. Milieu de propagation	5
3.1. <i>Son et lumière</i>	5
3.2. <i>Son et vent</i>	5
4. Propagation des ondes acoustiques	5
4.1. <i>Onde transversale et longitudinale</i>	6
5. Les ultrasons	7
5.1. <i>Définition onde sonore</i>	7
5.2. <i>Définition ultrason</i>	7
5.3. <i>Caractéristiques générales</i>	8
6. Production des ultrasons	9

6.1.	<i>Effet piézo-électrique</i>	9
6.2.	<i>Transducteurs piézoélectriques</i>	10
7.	Atténuation de l'onde ultrasonore.....	10
8.	Utilisation des acoustiques.....	11
9.	Acoustique sous-marine.....	12
9.1.	<i>Signaux sous-marins</i>	12
9.2.	<i>Influence du milieu de propagation</i>	13
10.	Application de l'acoustique sous-marine.....	14
10.1.	<i>Applications militaires</i>	14
10.2.	<i>Applications civiles</i>	15
11.	Conclusion.....	15

Chapitre II

Propagation des ondes acoustiques sous-marines

1.	Introduction.....	17
2.	Propriétés des ondes acoustiques.....	17
2.1.	<i>Pression acoustique</i>	17
2.2.	<i>Célérité et densité</i>	17
2.3.	<i>Fréquence et longueur d'onde</i>	18
2.4.	<i>Intensité et puissance</i>	19
3.	Pertes de propagation.....	20
3.1.	<i>Pertes par divergence géométrique</i>	20
3.2.	<i>Pertes par amortissement</i>	21
3.3.	<i>Perte conventionnelle de propagation</i>	22
3.4.	<i>Absorption par les bulles</i>	22

4.	Multiples et influence de la célérité	22
4.1.	<i>Trajets multiples</i>	22
4.2.	<i>Célérité du son dans l'eau de mer</i>	23
4.3.	<i>Réfraction par un profil bathycélérimétrique</i>	23
5.	Réflexion par la surface et le fond de la mer	24
5.1.	<i>Réflexion et transmission à une interface plane</i>	24
5.2.	<i>Réflexion par la surface de la mer</i>	26
5.3.	<i>Réflexion par le fond de la mer</i>	26
6.	Rétrodiffusion des ondes par une cible	26
6.1.	<i>Echos de cible, rétrodiffusion et réverbération</i>	26
6.2.	<i>Notion d'indice de cible</i>	27
6.3.	<i>Section efficace de diffusion</i>	27
6.4.	<i>Échos de sous-marins</i>	28
6.5.	<i>Échos de poissons</i>	28
6.6.	<i>Rétrodiffusion par des cibles étendues</i>	28
6.7.	<i>Rétrodiffusion volumique : Bancs de poissons</i>	29
6.8.	<i>Rétrodiffusion par le fond de la mer</i>	29
7.	Déformation et fluctuation des signaux acoustiques sous-marins	29
7.1.	<i>Effet Doppler</i>	29
7.2.	<i>Caractéristiques temporelles des échos</i>	30
8.	Conclusion	30

Chapitre III

Méthodes de détection non paramétriques

1. Introduction.....	32
2. Méthodes de détection non paramétriques	32
2.1. <i>Transformée de Hilbert</i>	32
2.2. <i>Transformée en ondelettes</i>	33
2.2.1. Définition et propriétés.....	34
2.2.2. Avantages et inconvénients	35
2.3. <i>Passage par zéro</i>	36
2.4. <i>Transformée d'autocorrélation</i>	37
2.4.1. Définition	37
2.4.2. Méthode d'autocorrélation	37
2.4.3. Inférence temps de vol à partir de la fonction d'autocorrélation	38
2.4.4. Autocorrélation, signal analytique et enveloppe	38
3. Simulations et résultats	40
3.1. <i>Transformée de Hilbert</i>	42
3.2. <i>Transformée en ondelettes</i>	45
3.3. <i>Passage par zéro</i>	48
3.4. <i>Transformée d'autocorrélation</i>	50
3.5. <i>Résultats et discussion</i>	53
4. Conclusion	55

Chapitre IV

Estimation basée sur la poursuite adaptative

1. Introduction.....	57
2. Notions sur la poursuite adaptative	57

3. Poursuite adaptative	58
4. Les algorithmes génétiques :.....	59
4.1. <i>Principes généraux</i>	61
a) Codage	62
b) Sélection	63
c) Croisement (crossover).....	63
d) Mutation.....	63
5. Poursuite adaptative basée sur les algorithmes génétiques.....	64
6. Simulations et résultats	65
a) <i>Cas 1 : Cible unique</i>	66
b) <i>Cas 2 : Cibles séparées</i>	67
c) <i>Cas 3 : Cibles chevauchées</i>	69
7. Conclusion	70
Conclusion générale.....	71

Table des figures

Figure I. 1: Principe d'une onde acoustique.....	4
Figure I. 2: Onde transversale sur une onde corde.....	6
Figure I. 3: Onde longitudinale.....	7
Figure I. 4: Domaine de fréquence des ondes acoustiques.....	7
Figure I. 5: Schéma d'un transducteur tonpilz.....	10
Figure I. 6: Atténuation des échos en négligent la diffraction.....	11
Figure I. 7: Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse Fréquence de quelque kHz. (Source Quiet-Océans).....	13
Figure II. 1: Structure de trajets multiples.....	22
Figure II. 2: Exemples de signaux temporels comportant des trajets multiples, enregistrés dans des zones Littorales de faible hauteur d'eau.....	23
Figure II. 3: Module du coefficient de réflexion à l'interface entre.....	25
Figure II. 4: Réflexion cohérente et diffusion par une surface.....	25
Figure II. 5: Réflexion, réfraction et onde d'interface.....	26
Figure II. 6: Géométrie de la diffusion par une cible.....	27
Figure II. 7: Phénomènes de rétrodiffusion par le fond aux fréquences des sondeurs.....	29
Figure III. 1: Calcul du temps de décalage entre deux signaux.....	33
Figure III. 2: Pavage temps-fréquence.....	34
Figure III. 3: Zéro croisement d'un signal.....	36
Figure III. 4: Calcul de la fonction d'autocorrélation.....	38
Figure III. 5: Mesure du temps de propagation et du déphasage entre deux échos.....	39
Figure III. 6: Schéma synoptique d'une transmission d'un signal sous-marin.....	41
Figure III. 7: Signal simulé sans et avec bruit.....	42
Figure III. 8: Application de la transformé de Hilbert sur trois cibles séparées.....	43
Figure III. 9: Application de la transformé de Hilbert.....	44
Figure III. 10: Transformée en ondelettes TOC des trois cibles séparées.....	46

Figure III. 11: Transformée en ondelettes TOC du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées) (a)Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.....	47
Figure III. 12: Transformée passage par zéro du trois cibles séparées (a)Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.....	49
Figure III. 13: Transformée passage par zéro du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées) (a)Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.....	50
Figure III. 14: Transformée d'autocorrélation du trois cibles séparées (a) sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.....	51
Figure III. 15: Transformée autocorrélation du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées) (a) sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.....	52
Figure IV. 1: Les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique.....	60
Figure IV. 2: Organigramme d'un algorithme génétique.....	62
Figure IV. 3: Diagramme de la poursuite adaptative basée sur les algorithmes génétiques. ...	64
Figure IV. 4: Application de l'algorithme MPGA pour une cible unique.	66
Figure IV. 5: Application de l'algorithme MPGA pour trois cibles séparées.....	67
Figure IV. 6: Application de l'algorithme MPGA pour deux cibles chevauchées	69

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Les ordres de grandeur de quelques puissances acoustiques.....	9
Tableau II. 1 : Gammes de fréquences des principaux systèmes ASM, et portées approximatives.	18
Tableau III.1: Les paramètres du signal simulé.....	41
Tableau III. 2: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par TH.....	45
Tableau III. 3: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par TOC.....	48
Tableau III. 4: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par PPZ.	50
Tableau III. 5: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par xcorr.	53
Tableau III. 6: Les résultats de simulation par chaque méthode	54
Tableau IV. 1: Signal simulé pour une onde ; MP-GA.....	66
Tableau IV. 2: Paramètres du signal pour des cibles séparées, signal original et signal estimé.	68
Tableau IV. 3: Paramètres du signal original et ceux du signal estimé.	68
Tableau IV. 4: Paramètres du signal pour des cibles chevauchées, signal original et signal estimé.	69

Abréviations et notations

Abréviations

ASM	: Acoustique Sous-Marine	PPZ	: Passage Par Zéro
TH	: Transformée de Hilbert	ZCR	: Zero Crossing
DWT	: Discret Wavelet Transform	MP	: Matching Pursuit
TFCT	: Transformée de Fourier à Court Terme	AG	: Algorithme Génétique
CWT	: Continuous Wavelet Transform	MPGA	: Matching Pursuit Gentique Algorithme
TOC	: Transformée Ondelette Continue	CND	: Control Non Destructif

Notations principales

P	: Puissance acoustique	Ψ	: Ondelette
A	: Atténuation de l'onde acoustique	$zci(X)$: Fonction de passage à zéro
C	: Célérité	$Xcorr$: Fonctions d'autocorrélation
f	: Fréquence de propagation	D	: Distance
λ	: Longueur d'onde	t	: Temps
I	: Intensité	α	: Facteur de la bande passante
I_i	: Intensité incidente	τ	: Temps de vol
I_d	: Intensité diffusée	fc	: Fréquence centrale
θ_c	: Angle critique	φ	: Phase
IC	: Indice de cible	β	: Amplitude
$TH(x)$: Transformée de Hilbert		

Introduction générale

Le milieu marin a toujours été un lieu d'échanges, vital pour l'économie de certains pays, stratégique pour les intérêts d'autres pays. Dans ce milieu, les ondes sonores constituent le seul moyen d'investigation et de transmission à grande distance utilisable en pratique. Apparue au début du XXe siècle, l'acoustique sous-marine est devenue une des technologies essentielles utilisées pour l'exploration et l'exploitation des océans à des fins scientifiques, industrielles ou militaires. Elle peut prétendre jouer aujourd'hui dans l'océan le même rôle que les ondes radio et radar dans l'atmosphère et dans l'espace, et est largement employée dans les domaines de la navigation, de la pêche, de la défense, de l'océanographie, de la lutte sous-marine, de la prospection pétrolière et de l'ingénierie marine.

Les systèmes de détection et de reconnaissance sous-marine s'appuient sur le principe de la propagation des ondes acoustiques, en raison de leur faible atténuation dans l'eau par rapport aux ondes électromagnétiques, car ce sont celles qui se propagent le mieux dans l'eau. Détecter les cibles en toute discrétion, c'est-à-dire en conservant l'avantage acoustique, tel est le défi des sous-marins. Pour avancer dans la compréhension des problèmes de détection et de localisation des objets, différentes techniques de traitement du signal ont été introduites dans la littérature, à savoir, transformée de Hilbert, transformée en ondelettes et passage par zéro.

L'objectif de notre travail est le développement d'un modèle paramétrique du traitement de signal pour la détection et l'analyse des échos acoustiques rétrodiffusés par les objets. Ce modèle permet de déduire les caractéristiques des objets détectés à savoir le temps d'arrivée, la fréquence centrale, l'amplitude, la phase et la largeur de bande de chaque cible. Un scénario qui comporte deux cibles séparées/chevauchées est utilisé pour tester les performances des méthodes développées dans ce mémoire.

Ce travail de mémoire de fin d'études est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur le domaine de notre thème. Dans un premier temps, on aborde un contexte sur les ondes acoustiques et leur propagation, ensuite on a entamé aux ultrasons pour mentionner leur production, leur atténuation et à la fin leurs utilisations, et enfin on a exposé quelques généralités sur l'acoustique sous-marine et ses principales utilisations.

Le deuxième chapitre présente les propriétés des ondes acoustiques, puis une description de certaines pertes de propagation, en citant les trajets multiples dus aux différents phénomènes et influence de la célérité. Nous avons également recensé dans cette littérature la réflexion par la

surface et le fond et la rétrodiffusion des ondes par une cible, on terminera par la déformation et la fluctuation des signaux acoustiques sous-marins.

Le troisième chapitre donne un aperçu général sur les méthodes classiques non paramétriques du traitement du signal tel que la méthode de Hilbert, la méthode d'autocorrélation, la transformée en ondelettes et le passage par zéro ; pour la détection, le positionnement et la caractérisation de l'onde acoustique réfléchi par les objets. On présente ensuite, les résultats de l'application de ces techniques sur des cibles séparées, chevauchées bruitées et non bruitées.

Le quatrième chapitre présente un modèle d'estimation des cibles acoustiques, c'est l'algorithme génétique basé sur la poursuite adaptative. Cet algorithme a été introduit pour améliorer l'estimation des paramètres des cibles acoustiques ; afin d'avoir une meilleure détection.

Ensuite on va tester cette méthode de traitement de signal sur des signaux simulés ont apporté des améliorations aux résultats trouvés.

Ce mémoire est terminé par une conclusion générale mettant en relief les résultats obtenus ainsi que des perspectives à réaliser à long terme.

Chapitre I

Généralités sur les ondes acoustiques

-
1. Introduction
 2. Onde acoustique
 3. Milieu de propagation
 4. Propagation des ondes acoustiques
 5. Les ultrasons
 6. Production des ultrasons
 7. Atténuation de l'onde ultrasonore
 8. Utilisation de l'onde acoustique
 9. Acoustique sous-marine
 10. Les principales utilisations de l'acoustique sous-marine
 11. Conclusion
-

1. Introduction

L'acoustique c'est la science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptible d'engendrer des sons, infrasons ou ultrasons, de les propager et de les faire percevoir. Étude des propriétés, de la production, de la propagation et de la réception des ondes sonores et ultrasonores dans les masses d'eau et les fonds océaniques. (Applications en hydrologie et biologie marines, dans les techniques de navigation, de plongée et de sondage.).

Dans ce chapitre, nous allons présenter un panorama général sur le domaine du thème de notre mémoire. Dans un premier temps, nous aborderons un contexte sur les ondes acoustiques et leur propagation en mentionnant leur production, leur atténuation et leurs utilisations, par ailleurs exposer à la fin quelques généralités sur l'acoustique sous-marine.

2. Onde acoustique

Une onde acoustique est produite par la vibration d'un objet matériel. Dans l'air, il peut s'agir de la peau d'un tambour, des cordes vocales d'un chanteur, du sac vocal d'un batracien, de la membrane d'un haut-parleur... Chaque molécule composant l'air en contact avec cette source acoustique vibre à son tour. Cette vibration est ensuite transmise à la molécule voisine, puis à la voisine de cette voisine, etc.

La vibration atteint ainsi progressivement tout le milieu (figure. I.1) [1].

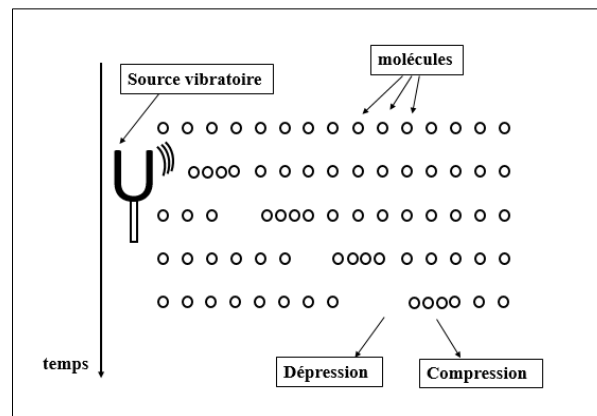


Figure I. 1: Principe d'une onde acoustique.

3. Milieu de propagation

Un son est une onde acoustique audible dans l'air. Mais les ondes acoustiques peuvent se propager dans tous les milieux matériels : la terre, les structures en béton, l'eau... La seule situation où le son ne se propage pas, c'est en absence de matière, c'est-à-dire dans le vide [1].

3.1. Son et lumière

Il ne faut pas confondre les ondes acoustiques et les ondes électromagnétiques. Nous venons de voir qu'une onde acoustique est une vibration de la matière qui se propage. Une onde électromagnétique est formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent. C'est le cas, par exemple, des ondes radio, de la lumière, ou des rayons X. Contrairement aux ondes acoustiques, les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de support matériel et peuvent se propager dans le vide (comme les communications radio dans l'espace, ou la lumière qui provient des étoiles). De plus, elles se propagent à 300 000 km/s, c'est-à-dire bien plus rapidement que les ondes acoustiques, qui ne se propagent qu'à 340 m/s environ dans l'air [1].

3.2. Son et vent

Une onde acoustique n'est pas du vent. Chaque molécule oscille sur place, mais il n'y a pas de déplacement global du milieu matériel. Prenons l'image classique d'un bouchon qui flotte à la surface d'un étang calme. Si on jette une pierre dans l'eau, des rides se forment et le bouchon monte et descend en restant à la même position. Le même bouchon, placé sur une rivière animée d'un faible courant, se mettrait à dériver au gré de l'eau. De la même façon, considérons une molécule qui compose l'air. Sous l'action du vent, elle subit un déplacement global, analogue à celui d'un bouchon placé dans un courant. Tandis que si elle est soumise à une onde sonore, elle ne fait qu'osciller de part et d'autre de sa position moyenne (même en absence d'onde sonore, les molécules sont toujours agitées d'un mouvement chaotique, qu'on appelle « Mouvement brownien » ; la vibration produite par le son se superpose à ce mouvement) [1].

4. Propagation des ondes acoustiques

Étudier la propagation d'une onde acoustique, c'est étudier la transmission du son entre différents endroits de l'espace. L'onde acoustique est une onde mécanique associée au déplacement des particules matérielles du milieu fluide (air, eau, ...) ou solide. Dans le cas des fluides, cette onde est longitudinale et elle met en jeu la compressibilité et l'inertie du milieu. Dans le cas des solides, l'onde acoustique est beaucoup plus complexe à modéliser car elle fait

intervenir une polarisation longitudinale, similaire au cas des fluides, et une polarisation transverse, due au mouvement de cisaillement typique des solides. Il existe dans la nature bien d'autres types d'ondes qui se propagent, telles que les ondes électromagnétiques, les ondes quantiques pour la dynamique au niveau atomique ou encore les ondes de gravité à la surface de l'eau [1].

4.1. Onde transversale et longitudinale

Une onde est dite transversale si les particules oscillent dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (figure.I.2).

Pour qu'une onde transversale puisse se propager, il faut que le milieu soit suffisamment rigide. C'est le cas pour la vibration d'une corde, ou pour les vagues à la surface de l'eau :

Le bouchon monte et descend, tandis que les vagues se propagent horizontalement [1].

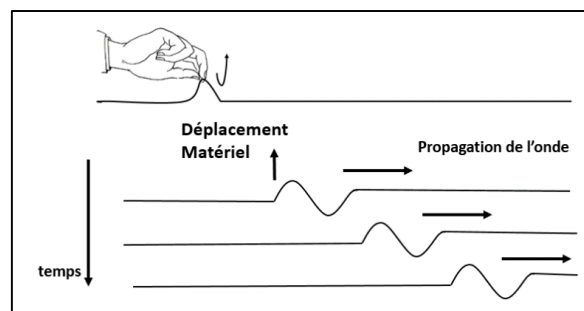


Figure I. 2: Onde transversale sur une onde corde.

L'air n'est Pas assez rigide pour permettre une onde transversale. Aussi, les particules vibrent nécessairement dans la même direction que la propagation de l'onde : on dit alors que l'onde est longitudinale. Considérons par exemple des masses reliées par des ressorts (figure.I.3). Si on donne une impulsion à la première masse, les masses voisines vont vibrer horizontalement. L'onde aussi se propage horizontalement [1].

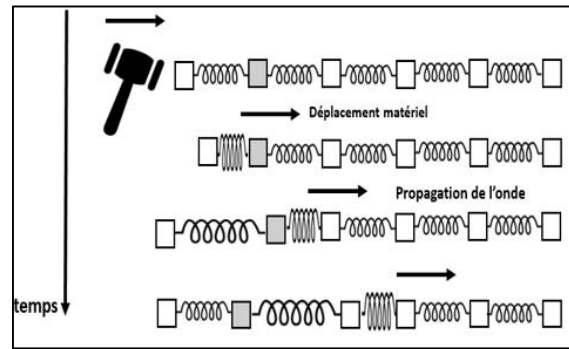


Figure I. 3: Onde longitudinale.

5. Les ultrasons

5.1. Définition onde sonore

Une onde sonore est la propagation de proche en proche d'une perturbation caractérisée par une vibration des molécules du milieu autour de leurs positions d'équilibre (ou état de repos). En effet, suite à une perturbation, créée à l'origine par une source mécanique, les molécules subissent de faibles variations de pression (pression acoustique) ; elles s'entrechoquent entre elles pour transmettre la déformation (perturbation) subissant ainsi de micro-déplacements. Ces molécules reviennent à leur position initiale une fois la perturbation passée ; c'est une propagation d'énergie dans un milieu matériel sans transport de matière [3].

5.2. Définition ultrason

Les ultrasons sont des ondes acoustiques dont la fréquence est comprise entre 20kHz et quelques MHz. On admet parfois que les sons de fréquence comprises en 16kHz et 20kHz font également partie des ultrasons. Cette variabilité de la définition provient du fait qu'à l'origine, les ultrasons sont des ondes sonores de fréquence supérieure à la limite de la capacité d'audition de l'oreille humaine. Cette limite varie d'une personne à l'autre, on admet communément qu'elle se situe aux alentours de 20 kHz.

Sur la figure suivante sont rappelées les gammes de fréquences pour les ondes sonores :

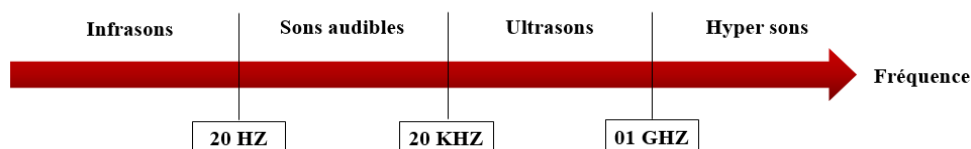


Figure I. 4: Domaine de fréquence des ondes acoustiques.

Les ultrasons comme toute onde acoustique, se propagent dans un milieu matériel (Aucun son ne peut exister dans le vide). Elles obéissent aux lois régissant les ondes acoustiques en termes de propagation, transmission, réflexion, absorption... Physiquement les ondes acoustiques sont des ondes de pression ou de manière équivalente, des ondes de vitesse et leurs caractéristiques varient en fonction des propriétés de ce milieu (densité, élasticité pour les solides, compressibilité pour les fluides...) [4].

5.3. Caractéristiques générales

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour caractériser cette onde ultrasonore.

- **La célérité de l'onde acoustique**

Est la vitesse de propagation de la variation de pression dans le milieu, elle dépend uniquement du milieu.

- **L'impédance acoustique**

Qui exprime l'aptitude à la pénétration de l'onde. Elle ne dépend uniquement de la masse volumique et de l'élasticité du milieu.

- **La fréquence**

Ou nombre de variations de pression par seconde elle est comprise entre 20KHz et 1GHz.

- **La longueur d'onde**

C'est la distance séparant à un instant donné deux points du trajet de l'onde où la pression est la même.

- **La pression acoustique**

Elle varie selon la fréquence de l'onde ultrasonore. Ce sont les variations de cette pression qui soumettent les particules du milieu à des mouvements vibratoires.

- **L'intensité acoustique**

C'est l'énergie qui traverse perpendiculairement l'unité de surface pendant l'unité de temps.

- **Puissance acoustique**

Une source sonore diffuse de l'énergie acoustique. Comme toute énergie (électrique, thermique...), celle-ci se mesure en joules (J).

Considérons une source acoustique. Si pendant un temps t (en secondes), elle émet un son d'énergie égale à A joules, on dit qu'elle possède une puissance acoustique :

$$p = \frac{x}{t} \quad (I.1)$$

La puissance se mesure en watts. On dit qu'une source possède une puissance acoustique de 1 watt si elle émet 1 joule pendant une seconde. Plus généralement, si on prend $t = 1$ s, on peut dire que la puissance est égale à l'énergie diffusée par la source pendant une seconde [1]. Le tableau suivant donne les ordres de grandeur de quelques puissances acoustiques :

Source	puissance acoustique
Montre mécanique	$1\mu\text{W} = 1\text{microwatt} = 10^{-6} \text{ W}$
Voix normale	$0,01\text{mW} = 0,01\text{milliwatt} = 10^{-5}\text{W}$
Voix forte	0,1 mW
Voix criée	1mW
Haut-parleur	1W
Avion à réaction	1kw = 10^3W

Tableau I. 1: Les ordres de grandeur de quelques puissances acoustiques.

6. Production des ultrasons

La production d'ultrasons dans des fréquences au-delà de 500 KHz se fait principalement par la transformation d'oscillations électriques en vibrations mécaniques. Les appareils permettant de passer ainsi d'une forme d'énergie à une autre sont appelés transducteurs. Différentes méthodes de transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique peuvent être utilisées, telle la magnétostriction ou La magnéto-induction.

Cependant, le phénomène physique le plus utilisé est la piézoélectricité.

6.1. Effet piézo-électrique

Le phénomène de piézoélectricité est une propriété que possèdent certains matériaux de se Polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique (effet direct) ou encore de se déformer sous application d'un champ électrique (effet inverse). L'effet piézoélectrique a été découvert en 1880 par **Pierre et Jacques Curie**.

a) Effet piézo-électrique directe

C'est l'apparition d'un courant électrique, lorsqu'on applique une force mécanique sur un matériau piézo-électrique.

Cette caractéristique est utilisée pour mesurer des pressions (la pression génère une contrainte mécanique sur un quartz, qui génère une charge, amplifiée par la suite). Une autre utilisation de cet effet est la création d'horloges : le quartz soumis à une charge à une certaine fréquence vibre à la fréquence propre du cristal, qui est utilisée comme référence de pulsation.

b) Effet piézo-électrique inverse

Lorsqu'on applique un champ électrique aux bornes d'un cristal, ceci va se contracter et se détendre, il crée des vibrations mécaniques et émet un faisceau ultrasonore synchrone.

L'effet inverse est utilisé pour commander certains systèmes mécaniques, comme des injecteurs à commande piézo-électrique en automobile (les premiers arrivent chez siemens en 2004). Lorsque le déplacement est de l'ordre de quelques nanomètres, il permet des nano-manipulations en nanotechnologie [5].

6.2. Transducteurs piézoélectriques

Les transducteurs piézoélectriques permettent la conversion réciproque d'un signal électrique en signal acoustique. Leur domaine d'utilisation recouvre notamment l'acoustique sous-marine (systèmes sonar, d'imagerie ou de télécommunication, sondeurs), les applications industrielles des ultrasons (usinage, soudage, nettoyage, génération d'aérosols, ...), le contrôle non destructif et l'imagerie médicale (échographie). Dans le cas d'un transducteur d'émission, une tension électrique imposée au matériau piézoélectrique provoque la mise en vibration de l'ensemble de la structure et le rayonnement de l'onde acoustique dans le milieu environnant[6].

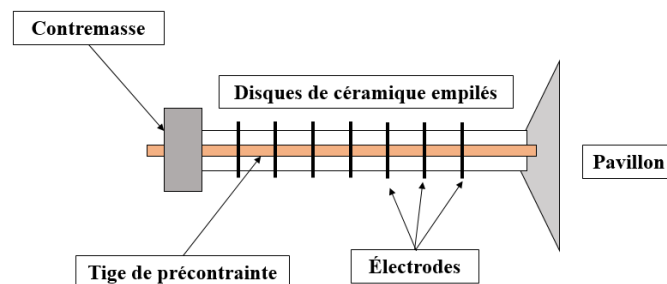


Figure I. 5: Schéma d'un transducteur tonpiliz [1].

7. Atténuation de l'onde ultrasonore

Une onde ultrasonore perd de l'énergie lors de sa propagation dans un milieu réel. Cette observation expérimentale immédiate constitue une caractéristique importante de la propagation. Dans un matériau homogène et à faces parallèles par exemple, on observe cette

perte d'énergie en enregistrant les échos successifs par une mesure en écho. L'enveloppe d'une séquence d'échos de fond de pièce présente alors une décroissance exponentielle de l'amplitude de la forme suivante :

$$A = A_0 e^{(-\alpha \cdot x)} \quad (\text{I.2})$$

Avec A_0 : l'amplitude initiale, α : le coefficient d'atténuation et x la distance traversée par l'onde. (Figure I.6).

La notion "atténuation intrinsèque" que nous étudions désigne la perte d'énergie due exclusivement aux interactions entre la microstructure du milieu et l'onde. Elle ne dépend ni de la géométrie de la pièce, ni de la méthode et de la configuration de mesure. Autrement dit, tous les phénomènes extérieurs ne peuvent être assimilés à l'atténuation intrinsèque du milieu traversé. Ces phénomènes peuvent être la réflexion/transmission aux interfaces entre l'échantillon et le milieu extérieur, ou encore la divergence du faisceau, propre à la Propagation de tout faisceau de section limitée [7].

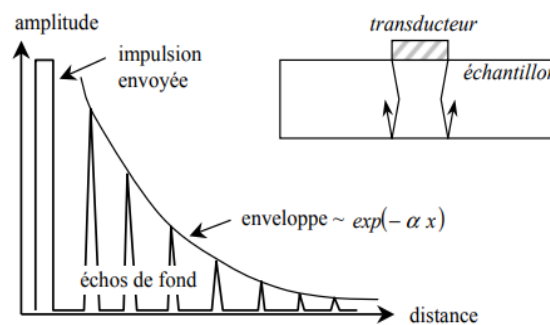


Figure I. 6:Atténuation des échos en négligent la diffraction.

8. Utilisation des ondes acoustiques

Nous pouvons remarquer que nous utilisons les acoustiques dans de nombreux domaines.

- **En médecine**
- Avec l'échographie : c'est une technique d'image employant les ultrasons, les ultrasons rebondissent sur le bébé et reviennent sur le récepteur et une machine permet de reconvertir tout ça en image.
- Avec la thérapie : c'est une autre technique qui consiste à utiliser les ultrasons pour obtenir de la chaleur et à fins thérapeutiques.

- **En laboratoire**

Les ultrasons sont ici employés pour rompre des membranes cellulaires ou pour nettoyer/désinfecter du matériel.

- **En agriculture**

Par vibration (nébulisation) de l'eau, à ce moment se forme de l'aérosol.

- **En télédétection avec le sonar**

Le sonar est un appareil qui contient un émetteur et un récepteur, l'émetteur émet son onde et celle-ci rebondit sur un banc de poissons par exemple, puis l'onde revient vers le récepteur. Le temps mis par l'onde pour revenir, avec un calcul précis sachant que la vitesse de la propagation du son dans l'eau de mer est d'environ 1500m/s, détermine la distance de l'objet sur lequel l'onde a rebondi par rapport au sonar. Le sonar sert donc au pêcheur de trouver les bancs de poissons, ou sert également au marin de guerre de repérer les sous-marins et enfin sert à la navigation maritime pour mesurer la profondeur de l'eau.

- **En télémétrie**

Pour mesurer la distance : cette technique est similaire au sonar, l'émetteur émet une onde et l'objet le renvoie au récepteur. On obtient la distance de l'objet avec le même type de calcul du sonar (sauf qu'ici le son se propage dans l'air à une vitesse de 340m/s).

- Pour certaines activités de loisir, par exemple la création de brouillard d'eau.
- Pour chasser, certains animaux dits nuisibles : les rongeurs sont sensibles aux ultrasons et donc s'enfuient à l'écoute de ces sons. Garantie sans produit chimique.

- **En téléphonie**

Comme sonnerie inaudible : appelée aussi « ultra-sonnerie », car ce sont des fréquences trop élevées qui deviennent trop élevées pour les adultes de plus de 25ans. Il s'agit pourtant d'une fausse information, car définition les ultrasons (comme nous l'avons vus) sont inaudible pour tous les humains [8].

9. Acoustique sous-marine

9.1. Signaux sous-marins.

Le monde sous-marin est tout sauf silencieux. Le bruit sous-marin est un chorus sonore qui est composé de trois familles de bruits :

- Tout d'abord les bruits naturels, ceux provoqués par le déferlement des vagues, les épisodes de pluie, les craquements sismiques de la terre, etc.

- Ensuite, les bruits biologiques, générés par toute la biodiversité marine, des plus petits comme les crevettes, aux plus grands comme les dauphins ou les baleines.
- Enfin, les bruits dits anthropiques, générés par les activités humaines en mer, telles que le trafic maritime, les travaux maritimes, les explorations offshore, les projets d'énergies renouvelables, etc.

Le milieu marin a la propriété d'assurer une propagation importante des ondes sonores. Les principales sources de bruits provoqués par des activités humaines en milieu marin sont le trafic maritime, les émissions sonar et les travaux et ouvrages en mer.

Cette dernière source comprend les travaux d'installation d'éoliennes en mer et notamment les opérations de mise en place des fondations d'éoliennes nécessitant le battage et/ou le forage de pieux. La figure ci-dessous donne une idée des niveaux de pression acoustique sous-marine, en fonction de la source d'émission.

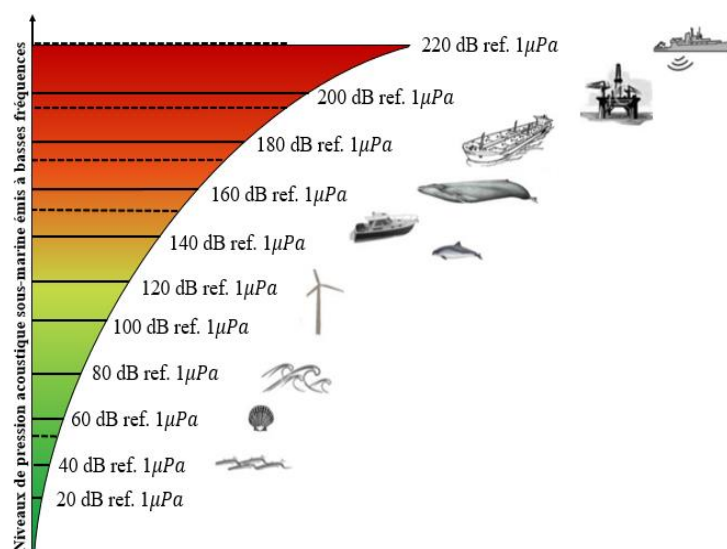


Figure I. 7: Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse Fréquence de quelque kHz. (Source Quiet-Océans).

9.2. Influence du milieu de propagation

Le milieu de propagation (l'eau de mer), même s'il est très favorable à la propagation d'ondes acoustiques, impose néanmoins de nombreuses limitations [10] :

- Atténuation des signaux transmis, due en particulier à l'absorption des ondes sonores dans l'eau, qui va limiter les portées possibles pour un système donné.

- Propagation perturbée par les variations de célérité du son, et par les réflexions des signaux sur les interfaces (surface et fond), d'où :
 - Insonification inhomogène du milieu : les ondes sonores sous-marines ne se propagent pas « en ligne droite ».
 - Existence de trajets multiples générateurs d'échos parasites retardés et d'interférences.
- Déformations des signaux transmis : fluctuations dues aux inhomogénéités du milieu et aux interférences entre trajets multiples ainsi qu'aux réflexions sur la surface et le fond de la mer, changements de fréquence (effet Doppler) dus aux mouvements des sonars et des cibles.
- Bruit ambiant dans l'océan, dont le niveau tend à masquer le signal utile ; ce bruit est causé par l'agitation de surface, le trafic maritime, les organismes vivants, la pluie, auxquels il faut rajouter le bruit propre du système acoustique et surtout de son porteur (navire, ou engin sous-marin).

10. Application de l'acoustique sous-marine

Les principales applications de l'acoustique sous-marine, déjà représentées rapidement, font l'objet de descriptions détaillées dans ce chapitre, ainsi application des méthodes étudiées dans notre projet [10].

10.1. Applications militaires

L'essentiel de l'effort de recherche et d'industrialisation dans le domaine de l'acoustique sous-marine est lié à des applications militaires ; les systèmes sont destinés essentiellement à la détection, la localisation et l'identification de deux types de cibles : sous-marins et mines.

Les sonars militaires peuvent être classés en deux grandes catégories selon leur principe de fonctionnement.

• les sonars actifs :

Émettent un signal et recueillent les échos renvoyés par une cible qui est en général un sous-marin en plongée

• les sonars passifs :

Qui n'ont pas d'équivalent en applications civiles, sont destinés à intercepter les bruits rayonnés par le navire cible.

10.2. Applications civiles

L'acoustique sous-marine à vocation civile est un secteur d'activité industrielle et scientifique relativement modeste mais très varié et en phase de croissance, tiré par les besoins en instrumentation scientifique des grands programmes d'étude et de surveillance de l'environnement, ainsi que par les développements de l'ingénierie offshore et de la pêche industrielle. Les principales catégories d'applications sont :

- a) Les sondeurs bathymétriques : sonars spécialisés dans la mesure de la hauteur d'eau ; ils émettent un signal verticalement vers le bas dans un faisceau étroit, et mesurent le retard de l'écho renvoyé par le fond.
- b) Les sondeurs et sonars de pêche : destinés à la détection et à la localisation de bancs de poissons, analogues dans le principe aux sondeurs bathymétriques mais pourvus de fonctionnalités supplémentaires spécifiques pour recevoir et traiter les échos venant de toute la hauteur d'eau.
- c) Les sonars latéraux : servant à l'imagerie acoustique du fond, permettant des observations d'une grande précision ; le signal réverbéré en fonction du temps reproduit alors l'image des irrégularités, obstacles et changements de structure ; ces systèmes sont utilisés soit en géologie marine soit pour la recherche de mines ou d'épaves.
- d) Les sondeurs multifaisceaux de cartographie : utilisés à bord des navires océanographiques pour le relevé précis de la topographie des fonds marins.
- e) Les sondeurs profileurs de sédiments : ce sont des sondeurs mono faisceaux analogues à ceux utilisés en bathymétrie, mais dont la fréquence très basse permet une pénétration du fond sur des profondeurs de plusieurs dizaines voire centaines de mètres ; dans le même domaine d'application les systèmes de sismique, utilisant des sources explosives ou percussives et de grandes antennes de réception, peuvent explorer le sous-sol sur plusieurs kilomètres de profondeur, et sont largement utilisés en prospection pétrolière.

11. Conclusion

Dans ce chapitre, trois étapes ont été identifiées afin d'atteindre les objectifs de notre travail. En premier lieu, nous avons donné une définition sur les types ondes qui existent (transversale et longitudinale) et leur nature de propagation, ensuite nous avons entamé en détail la théorie des ultrasons, leurs productions, leurs atténuations ainsi que les différents domaines d'utilisation ; et enfin nous terminons par l'acoustique sous-marine, ses principales utilisations et leurs caractéristiques générales.

Chapitre II

Propagation des ondes acoustiques sous-marines

1. Introduction
 2. Propriétés des ondes acoustiques
 3. Pertes de propagation
 4. Trajets multiples et influence de la célérité
 5. Réflexion par la surface et le fond de mer
 6. Rétrodiffusion des ondes par une cible
 7. Déformation et fluctuation des signaux acoustiques sous-marins
 8. Conclusion
-

1. Introduction

Étudier la propagation d'une onde acoustique, c'est étudier la transmission du son entre différents endroits de l'espace. L'onde acoustique est une onde mécanique associée au déplacement des particules matérielles du milieu fluide (air, eau, ...) ou solide. Dans le cas des fluides, cette onde est longitudinale et elle met en jeu la compressibilité et l'inertie du milieu.

Ce chapitre est consacré à la présentation des propriétés des ondes acoustiques suivie par une description de certaines pertes de propagation, en citant les trajets multiples dus aux différents phénomènes ainsi que l'influence de la célérité. Nous avons également recensé dans ce chapitre la réflexion par la surface et le fond, la rétrodiffusion des ondes par une cible, nous terminerons par la déformation et la fluctuation des signaux acoustiques sous-marins.

2. Propriétés des ondes acoustiques

2.1. Pression acoustique

Les ondes acoustiques sont provoquées par la propagation d'une perturbation mécanique, une compression-dilatation locale d'un élément du milieu. Une telle onde nécessite un support matériel élastique pour pouvoir se propager (gaz, liquide ou solide); les caractéristiques mécaniques de ce support fixent la rapidité (dite célérité) de propagation de la perturbation.

L'onde acoustique est donc caractérisée par l'amplitude du mouvement sur place, par la vitesse particulière correspondante et par la pression acoustique qui en résulte.

Dans la pratique c'est la pression acoustique qui est la grandeur la plus employée en acoustique sous-marine.

2.2. Célérité

La célérité de propagation de l'onde acoustique est imposée par les caractéristiques du milieu de circulation. Elle dépend de la masse volumique ρ et du module d'élasticité E de ce milieu, par la relation :

$$c = \sqrt{E/\rho} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{II.1})$$

La célérité de l'onde acoustique dans l'eau de mer a une valeur voisine de 1500 m/s (généralement entre 1450 et 1550 m/s, dépendant de la pression, de la salinité et de la température).

2.3. Fréquence et longueur d'onde

Les signaux acoustiques ne sont généralement pas des perturbations instantanées, mais des vibrations entretenues que l'on peut caractériser par leur fréquence ou leur période.

La gamme des fréquences utilisées en acoustique sous-marine s'échelonne entre 10 Hz et 1 MHz, selon les applications, ce qui correspond à des périodes entre 0,1s et 1 μ s. La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période du signal, qui vaut donc :

$$\lambda = cT = c/f \quad [\text{m}] \quad (\text{II.2})$$

Pour une célérité de 1500 m/s, les longueurs d'ondes acoustiques sous-marines seront donc de 150 m à 10 Hz, de 1,5 m à 1 kHz et de 1,5 mm à 1 MHz.

Ces valeurs très variées de la fréquence correspondent évidemment à des phénomènes physiques assez différents.

Les gammes de fréquences utilisées par les principales catégories de systèmes ASM sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Fréquence (kHz)	0.1	1	10	100	1000
Distances Maximales (km)	1000	100	10	1	0.1
Sondeurs multifaisceaux					
Sonars latéraux					
Transmission & positionnement					
Sonars militaires actifs					
Sonars militaires passifs					
Sondeurs et sonars de pêche					
Océanographie acoustique					
Sondeurs de sédiments					
Sismique					

Tableau II. 1 : Gammes de fréquences des principaux systèmes ASM, et portées approximatives.

2.4. Intensité et puissance

L'intensité acoustique I est la valeur moyenne du flux d'énergie par unité de surface et de temps ; elle est égale à la moyenne du produit de la pression acoustique par la vitesse particulaire, soit pour une onde plane d'amplitude ρ_0 :

$$I = \frac{\rho_0^2}{2\rho c} \quad \left(\text{en } \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad (\text{II.3})$$

Puissance acoustique P reçue par une surface S est l'intensité corrigée de la surface considérée soit :

$$P = I \times S = \frac{\rho_0^2 S}{2\rho c} \quad (\text{en W}) \quad (\text{II.4})$$

a) Notation logarithmique

Du fait de leur dynamique très importante, les grandeurs acoustiques (pressions, énergies) sont le plus souvent quantifiées logarithmiquement et notées en décibels (dB).

b) Niveaux absolus

Pour donner en décibels un niveau absolu de pression ou d'intensité, on doit utiliser des grandeurs de référence ; par exemple la référence de pression acoustique sous-marine est le micropascal :

$$P_{\text{dB}} = 20 \log \left(\frac{P}{P_{\text{ref}}} \right) \quad (\text{II.5})$$

Avec

$$P_{\text{ref}} = 1 \mu \text{ Pa} \quad (\text{II.6})$$

La pression acoustique absolue est donc exprimée en décibels par rapport à 1 micropascal (dB/ μ Pa).

c) L'équation d'onde et ses solutions

Les ondes acoustiques dans les liquides et les gaz obéissent aux lois de la mécanique des fluides, on montre que leur propagation est décrite de manière générale par l'équation de Helmholtz :

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2(x, y, z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (\text{II.7})$$

Exprimée ici pour la pression p d'une onde se déplaçant au cours du temps dans l'espace $(0, x, y, z)$, où $c(x, y, z)$ est la célérité locale de propagation de l'onde. Dans un milieu de célérité constante $c(x, y, z) = c$, si la propagation est restreinte à la seule direction x , l'équation devient :

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (\text{II.8})$$

Par exemple pour une Onde sinusoïdale de fréquence f_0 la pression acoustique solution de l'équation ci-dessus sera de la forme :

$$p(t) = p_0 \exp\left(2\pi j f_0 \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \quad (\text{II.9})$$

La propagation s'effectuant ici selon la seule direction x , il s'agit d'une onde plane, dont les fronts d'onde sont des plans orthogonaux à x . La vitesse particulière $v(t)$ est obtenue à partir de la pression par $p = \rho c v$, Où ρ est la masse volumique. Le produit ρc , qui traduit le rapport entre vitesse particulière et pression acoustique, est appelé impédance caractéristique du milieu de propagation.

Lorsque l'on considère la propagation selon les trois directions de l'espace supposé isotrope, on montre que la solution est une onde sphérique :

$$p(t) = \frac{p_0}{R} \exp\left(2\pi j f_0 \left(t - \frac{R}{c}\right)\right) \quad (\text{II.10})$$

La variable d'espace considérée est ici la distance sphérique R depuis la source. Les fronts d'onde sont dans ce cas des sphères centrées sur la source située en $R = 0$, et l'amplitude de l'onde décroît en $1/R$ [10].

3. Pertes de propagation

Le premier phénomène auquel sont soumises les ondes acoustiques lors de leur propagation est une perte d'intensité correspondant d'une part à un effet géométrique de divergence et d'autre part à l'absorption de l'énergie acoustique par le milieu de propagation lui-même.

Cette perte de propagation (ou de transmission) est un paramètre capital du fonctionnement d'un système acoustique, puisqu'elle va conditionner l'amplitude du signal reçu.

3.1. Pertes par divergence géométrique

La propagation d'une onde acoustique depuis une source sonore correspond à un étalement de l'énergie acoustique émise sur une surface de plus en plus importante.

L'énergie se conservant, l'intensité diminue proportionnellement à l'inverse de cette surface, c'est le phénomène de perte par divergence géométrique.

La décroissance de l'intensité acoustique locale entre deux points 1 et 2 est l'inverse du rapport des surfaces des deux sphères correspondantes :

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{4\pi R_1}{4\pi R_2} \right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \quad (\text{II.11})$$

Où R_i est le rayon sphérique depuis la source. L'intensité décroît donc en $\frac{1}{R^2}$ et la pression en

$\frac{1}{R}$ La perte par divergence exprimée en décibels vaut donc :

$$PT = 20 \log R \quad (\text{en dB}) \quad (\text{II.12})$$

3.2. Pertes par amortissement

Le milieu de propagation est dissipatif et absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore, qui est dissipée par viscosité ou par réaction chimique.

L'amortissement est souvent le plus important facteur limitatif de la propagation acoustique, sa valeur dépend fortement du milieu de propagation et de la fréquence.

Cette propriété dissipative de l'eau se traduit par une décroissance exponentielle de l'amplitude avec la distance; par exemple dans le cas d'une onde sphérique, l'expression de la pression devient :

$$p(R, t) = \rho_0 \exp(-\beta R) \frac{\exp\left(2\pi j f_0 \left(t - \frac{R}{c}\right)\right)}{R} \quad (\text{II.13})$$

Cette décroissance supplémentaire de la pression correspond à une diminution proportionnelle à la distance du niveau exprimé en décibels, que l'on traduit par un coefficient d'amortissement exprimé en décibels par mètre (dB/m), relié à β par :

$$\alpha = 20 \beta \log e \quad (\text{II.14})$$

Le coefficient d'absorption s'écrit sous la forme suivante :

$$\alpha = A_1 P_1 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} + A_2 P_2 \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} + A_3 P_3 f^2 \quad (\text{II.15})$$

Les deux premiers termes de cette expression font apparaître les contributions des phénomènes de relaxation moléculaire (ce phénomène consiste en la dissociation de certains composés ioniques en solution, du fait de la variation locale de pression créée par le passage de l'onde acoustique) ; le troisième terme correspond à la viscosité de l'eau pure.

Les différents coefficients dépendent des valeurs de la température, de la pression et de la salinité.

3.3. Perte conventionnelle de propagation

La divergence sphérique corrigée de l'atténuation par amortissement est systématiquement utilisée en première approche pour l'évaluation des pertes de propagation et des performances des systèmes acoustiques sous-marins; soit en décibels.

$$PT = 20 \log R + \alpha R \quad (\text{II.16})$$

Tous les systèmes exploitant un écho de cible subissent des pertes de propagation sur les trajets « Aller et Retour » ; la perte totale à considérer est alors :

$$2PT = 40 \log R + 2\alpha R \quad (\text{II.17})$$

Cette formule simple est souvent suffisante pour l'évaluation des performances des systèmes ASM.

3.4. Absorption par les bulles

Une cause de pertes supplémentaires de propagation, très difficile à prédire et à quantifier, mais qui peut avoir un effet rédhibitoire sur le fonctionnement des systèmes acoustiques sous-marins, est la présence de bulles d'air. Lorsque cela se produit, un système acoustique peut se trouver complètement inopérant, devant une absorption des signaux émis dans la couche de bulles, niveau de bruit supplémentaire provoqué par l'éclatement des bulles, masquage des transducteurs de réception [10].

4. Multiples et influence de la célérité

4.1. Trajets multiples

Du fait de la limitation du milieu de propagation par la surface et le fond, les signaux émis subissent des réflexions successives sur les interfaces. Par ailleurs les variations de célérité du milieu peuvent provoquer des déformations des trajets des ondes sonores. Du fait de ces différents phénomènes, un signal donné peut se propager d'une source à un récepteur selon plusieurs trajets sonores distincts, correspondant à des directions et des durées différentes.

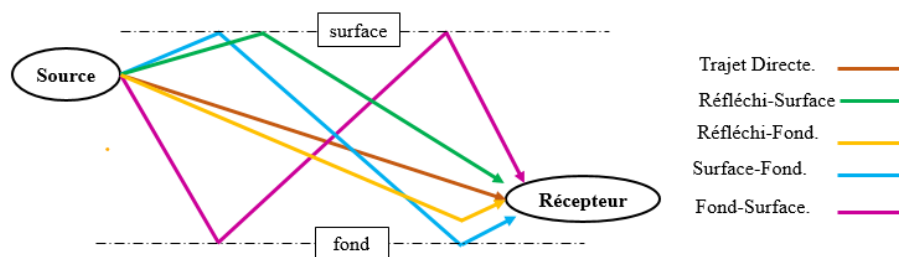


Figure II. 1: Structure de trajets multiples.

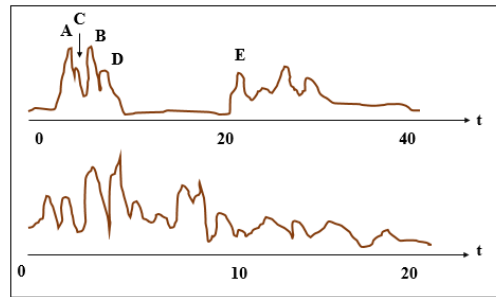


Figure II. 2:Exemples de signaux temporels comportant des trajets multiples, enregistrés dans des zones Littorales de faible hauteur d'eau.

4.2. Célérité du son dans l'eau de mer

L'eau de mer contient de nombreuses inhomogénéités, bulles près de la surface (dus à l'agitation, aux sillages), organismes vivants, particules minérales en suspension sont autant de causes de diffusion des ondes sonores, surtout en hautes fréquences.

a) Calcul de la célérité

La célérité du son dépend à la fois de la Température, de la salinité et de l'immersion, et varie dans le même sens que ces trois grandeurs. Ainsi, la pression hydrostatique provoque une augmentation linéaire de la célérité avec la profondeur d'environ 16 m/s par kilomètre. De nombreux modèles de célérité du son existent dans la littérature (Lovett, Del Grosso, Chen & Millero ...). On peut utiliser en première approche la formule proposée par Medwin :

$$C=1449,2 + 4.6t - 0,055t^2 + 0,00029t^3 + (1,34 - 0,01t)(S-35) + 0,016Z \quad (\text{II.18})$$

Où C'est la célérité en m/s, t est la température en °C, Z l'immersion en m, et S la salinité en ‰

b) Mesure de la célérité

Deux types de systèmes de mesure de la célérité sont couramment utilisés.

- Le bathycélérimètre : effectue directement une mesure de la célérité (en général par mesure de phase) pour une onde de haute fréquence sur une distance parfaitement.
- Le bathythermographe : est l'instrument le plus utilisé dans la pratique : les modèles les plus répandus aujourd'hui permettent d'effectuer la mesure depuis un navire en route avec des sondes consommables [10].

4.3. Réfraction par un profil bathycélérimétrique

Considérons l'interface entre deux milieux fluides homogènes de célérités différentes (C1 et C2) ; lors du changement de milieu de propagation, la modification des caractéristiques d'une onde plane est particulièrement intéressante.

Le changement de célérité provoque une réflexion spéculaire de l'onde dans le premier milieu et une réfraction de l'onde dans le second milieu, selon un angle donné par la célèbre loi de Snell-Descartes.

$$\frac{\sin \theta_1}{C_1} = \frac{\sin \theta_2}{C_2} \quad (\text{II.19})$$

Cette loi permet de décrire le comportement d'une onde se propageant dans un milieu à célérité non constante, selon une coordonnée Z . la relation de réfraction se généralise en :

$$\frac{\sin \theta(z)}{C(z)} = \text{cte} \quad (\text{II.20})$$

Un changement progressif de la célérité du milieu de propagation provoque donc une déviation de la direction initiale de l'onde [10].

5. Réflexion par la surface et le fond de la mer

Une onde sonore venant frapper une des interfaces du milieu de propagation va subir des transformations de sa structure dues à la nature et à la géométrie de l'obstacle. Les phénomènes observés vont influencer fortement la transmission des signaux, puisque dans de nombreuses applications une grande partie de l'énergie se propage par réflexions multiples sur les interfaces.

5.1. Réflexion et transmission à une interface plane

Dans le cas idéal où l'interface considérée est parfaitement plane, alors que le second milieu a des caractéristiques acoustiques (ρ_1, c_1) différentes de celles (ρ_2, c_2) de l'eau, une partie de l'énergie de l'onde incidente va pouvoir être transmise dans le second milieu ; la conséquence est que l'onde réfléchie sera affectée d'un coefficient de réflexion de module inférieur ou égal à 1, dont l'expression est :

$$V(\theta) = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_1 - \rho_1 c_1 \cos \theta_2}{\rho_2 c_2 \cos \theta_1 + \rho_1 c_1 \cos \theta_2} \quad (\text{II.21})$$

Si le milieu réfléchissant à une célérité supérieure à celle de l'eau, on a vu qu'il existe alors un angle critique $\theta_c = \arcsin(c_1/c_2)$ au-delà duquel la transmission est impossible ; le module du coefficient de réflexion vaut alors 1.

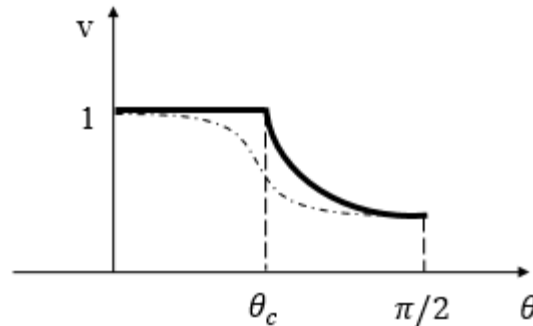


Figure II. 3: Module du coefficient de réflexion à l'interface entre deux fluides.

a) Cas d'une interface rugueuse

On considère maintenant le cas où l'interface est rugueuse, c'est-à-dire présente un relief notable comparé à la longueur d'onde acoustique.

De manière générale, les irrégularités d'interface, vont renvoyer l'onde incidente dans toutes les directions ; c'est le phénomène de diffusion.

Toutefois, une partie de l'onde incidente est réfléchi, sans déformation mais avec perte d'amplitude, dans la direction spéculaire (c'est la partie dite cohérente du signal), le reste étant diffusé (de manière incohérente) dans tout l'espace, y compris vers la source ; le rapport de ces deux composantes dépend de la rugosité de la surface.

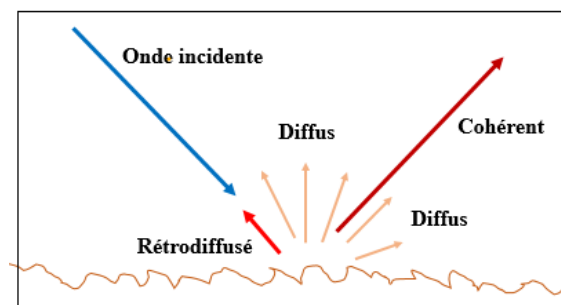


Figure II. 4: Réflexion cohérente et diffusion par une surface.

b) Signal cohérent

La partie cohérente du signal réfléchi peut être approchée par le coefficient de réflexion en pression $V_c = V \exp(-2k^2 \sigma^2 \cos^2 \theta)$ où V est le coefficient de réflexion sur l'interface plane, σ est l'écart-type du relief, et θ l'angle d'incidence. Le produit $k \sigma \cos \theta$ traduit la rugosité de l'interface.

5.2. Réflexion par la surface de la mer

L'interface entre l'eau et l'air constitue une condition parfaite de réflexion dans la mesure où le contraste d'impédance entre les deux milieux est très marqué. Si la surface est suffisamment plane, le coefficient de réflexion vaut alors -1 . Dans le cas contraire, où la rugosité doit être prise en compte, les modèles de réflexion cohérente et de champ diffus peuvent s'appliquer directement.

5.3. Réflexion par le fond de la mer

L'influence du fond de la mer est beaucoup plus complexe que celle de la surface ; de nombreux phénomènes sont présents simultanément :

- Diffusion par le relief de l'interface eau-fond (Figure II.5).
- Pénétration de l'onde incidente dans le sédiment, en raison du faible contraste d'impédances entre l'eau et le sédiment.
- Amortissement dans le sédiment, beaucoup plus fort que dans l'eau.
- Réfractions et réflexions dans le sédiment, qui comporte des discontinuités dues à la stratification.
- Présence de diffuseurs divers à l'interface et d'inhomogénéités dans le sédiment.
- Présence d'un socle rocheux sous-jacent [10].

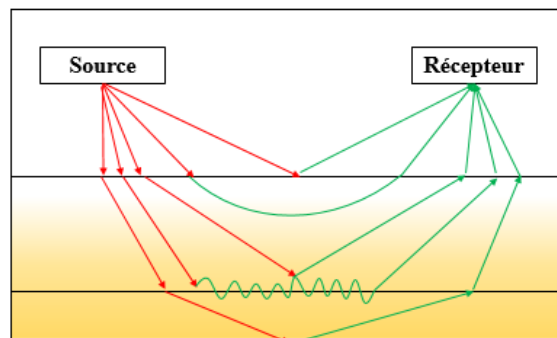


Figure II. 5: Réflexion, réfraction et onde d'interface.

6. Rétrodiffusion des ondes par une cible

6.1. Echos de cible, rétrodiffusion et réverbération

La majorité des systèmes ASM (Acoustique Sous-Marine) est destinée à recevoir les signaux renvoyés par des cibles. Ces dernières sont de nature et de structure très variées. L'onde acoustique est diffusée par la cible dans toutes les directions de l'espace, et en particulier une

partie de l'énergie est renvoyée (rétrodiffusée) vers l'émetteur ; la cible agit donc comme une source secondaire qui réémet l'onde acoustique.

On appelle conventionnellement réverbération, en acoustique sous-marine, tout retour d'énergie vers le système sonar autrement que par rétrodiffusion sur la cible choisie ; c'est l'ensemble des phénomènes d'échos multiples parasites venant brouiller la réception du signal utile attendu.

6.2. Notion d'indice de cible

L'indice de cible IC exprime le rapport (en décibels) entre l'intensité acoustique interceptée par la cible et l'intensité réémise par cette dernière :

$$IC = 10 \log \left(\frac{I_r}{I_i} \right) \quad (\text{II.22})$$

Où I_i est l'intensité de l'onde incidente sur la cible, supposée localement plane, et I_r est l'intensité de l'onde réfléchie, supposée sphérique à partir du centre acoustique de la cible et ramenée à 1m de ce centre. IC traduit la quantité d'énergie acoustique renvoyée par la cible vers le sonar, et dépend donc de la nature de la cible (matériau), de sa structure externe et interne, et des caractéristiques du signal incident (angle et fréquence).

6.3. Section efficace de diffusion

Plus précisément, le rapport de l'intensité incidente I_i d'angle θ_i sur une cible et de l'intensité diffusée I_d dans une direction donnée θ_d est appelé section efficace de diffusion de la cible pour ces directions, et fait intervenir :

- La section apparente $A(\theta_i)$ de la cible telle que « vue » depuis la source, autrement dit la quantité d'énergie interceptée (géométriquement) par la cible.
- La fonction de diffusion $G(\theta_i, \theta_d)$, de la cible. qui décrit le rayonnement du champ diffusé, autrement dit la répartition spatiale de l'énergie interceptée et réémise par la cible ; cette fonction dépend de la structure de la cible, et des directions d'incidence et d'observation.

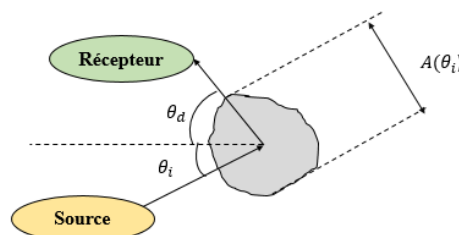


Figure II. 6: Géométrie de la diffusion par une cible.

- L'expression de la section efficace de diffusion est :

$$\sigma_d(\theta_i, \theta_d) = A(\theta_i) G(\theta_i, \theta_d) \quad (\text{II.23})$$

- La section efficace de rétrodiffusion de la cible est calculée dans la direction du retour vers la source :

$$\sigma_d(\theta_i) = A(\theta_i) G(\theta_i, \theta_i) \quad (\text{II.24})$$

- Finalement. L'indice de cible **IC** est la valeur en dB de la section efficace de rétrodiffusion :

$$\text{IC} = 10 \log \sigma_d(\theta_i) \quad (\text{II.25})$$

6.4. Échos de sous-marins

Les sous-marins provoquent des échos sonars correspondant à plusieurs types d'interaction onde-structure :

- Échos spéculaires sur des surfaces quasi planes.
- Échos sur des obstacles situés à l'intérieur de la coque.
- Diffraction sur des points anguleux.
- Excitation de modes de résonances propres de la structure.

Ces différents effets, évidemment indésirables du point de vue des sous-mariniens, sont combattus en optimisant la forme et la structure des submersibles.

6.5. Échos de poissons

Dans la diffusion des ondes acoustiques par les poissons, la contribution principale est due à la *vessie natatoire* , poche d'air de dimensions variables qui leur permet d'ajuster leur flottabilité ; cet organe présente une forte discontinuité d'impédance avec l'eau et les tissus du poisson, se comporte soit comme un résonateur dans la gamme du kHz, soit comme un réflecteur aux fréquences élevées.

6.6. Rétrodiffusion par des cibles étendues

Certaines cibles sont délimitées dans l'espace par les caractéristiques du sonar plutôt que par leurs dimensions propres ; c'est notamment le cas du fond de la mer ou des bancs de poissons d'extension suffisante. Dans ce cas, l'indice de cible doit être décomposé en deux termes :

- La taille effective de la cible vue par le sonar (surface ou volume).
- L'indice surfacique ou volumique de rétrodiffusion correspondant.

6.7. Rétrodiffusion volumique : Bancs de poissons

L'écho renvoyé par le volume unitaire d'un banc de poissons est calculable en première approximation en corrigeant l'indice de cible d'un poisson isolé par la densité N de poissons par mètre cube :

$$IV_{\text{banc}} = IC_{\text{poisson}} + 10 \log N \left(\text{en } \frac{\text{dB}}{\text{m}^3} \right) \quad (\text{II.26})$$

La population de poissons présente dans une zone est estimée à partir de l'énergie totale rétrodiffusée, mesurée au sondeur et corrigée de l'indice de cible individuel moyen. Sa validité implique que l'on néglige :

- La contribution de l'énergie rétrodiffusée après diffusion multiple à l'intérieur du banc.
- L'effet de masquage des poissons entre eux, approximations valables si le banc n'est pas trop dense.

6.8. Rétrodiffusion par le fond de la mer

Aux fréquences utilisées par les systèmes détectant des échos du fond on peut en général séparer le phénomène de rétrodiffusion en deux contributions.

- Une première partie de l'énergie, en général prédominante, est diffusée par le relief de l'interface eau-fond.
- Une autre partie du signal pénètre à l'intérieur du sédiment et rétrodiffusée par les inhomogénéités contenues dans le volume sédimentaire [10].

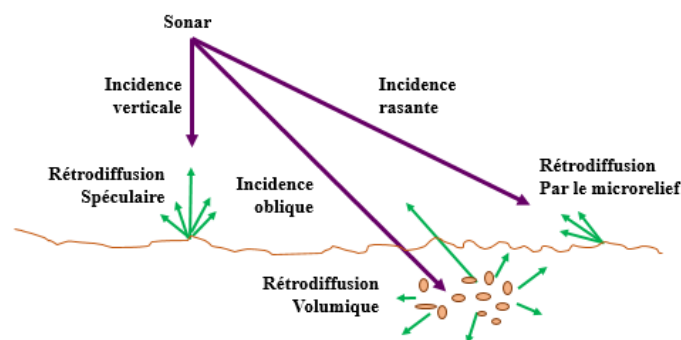


Figure II. 7: Phénomènes de rétrodiffusion par le fond aux fréquences des sondeurs.

7. Déformation et fluctuation des signaux acoustiques sous-marins

7.1. Effet Doppler

L'effet Doppler est une modification de la fréquence d'un signal pendant la propagation, dû à une variation de la durée des trajets source-cible-récepteur pendant le temps d'émission. Il peut être causé par des mouvements du milieu de propagation, mais en général dû à la vitesse

relative source-cible, dans ce cas la variation de fréquence δf est donnée par (en valeur algébrique).

$$\frac{\delta f}{f_0} = \frac{2V}{C} \quad (\text{II.27})$$

Où V est la vitesse radiale, f_0 fréquence émise et C la célérité du son.

L'effet Doppler complique évidemment le traitement des signaux en transmission et en communications de données. Par contre, en lutte sous-marine, sa mesure est une donnée utile en localisation de cible et son identification.

Dans le cas d'une transmission simple (sans cible) la variation de fréquence. Doppler ne vaut que la moitié de la valeur ci-dessus, soit :

$$\delta f = f_0 \frac{V}{C} \quad (\text{II.28})$$

7.2. Caractéristiques temporelles des échos

La durée du signal émis a une forte influence sur la forme et le niveau des signaux reçus. Ce signal rétrodiffusé subit un allongement δt qui est en fonction de la longueur apparente L_a de la cible insonifiée, cet allongement vaut :

$$\delta t = \frac{2 L_a}{c} \quad (\text{II.29})$$

Il peut être tenu compte cet allongement de l'écho dans la chaîne de traitement du récepteur en utilisant une durée d'intégration adaptée [10].

8. Conclusion

Cette étape de prétraitement est consacré à présenter les propriétés des ondes acoustiques plus précisément les pertes de propagation, juste pour connaître les différents phénomènes qui peuvent influencer sur la propagation de l'onde acoustique comme : le milieu, la célérité, etc. Nous avons également confronté les échos de cible, la réflexion et la rétrodiffusion des ondes, en abordant la déformation des signaux comme effet Doppler qui représente un effet primordiale pour les traitements ultérieurs, par le traitement numérique des signaux qui permet de faire progresser les capacités des sonars de manière importante, grâce à l'application des méthodes de calcul très connues ; ceci fera l'objectif du prochain chapitre.

Chapitre III

Méthodes de détection non paramétriques

-
1. Introduction
 2. Méthodes de détection non paramétriques
 - Transformée de Hilbert
 - Transformée ondelettes
 - Passage par zéro
 - Méthode autocorrélations
 3. Simulation et résultat
 4. Conclusion
-

1. Introduction

Le traitement du signal dans le domaine sous-marin est une étape inévitable, il permet non seulement la détection et le positionnement des cibles, mais aussi leurs caractéristiques.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes expériences en simulation réalisées sous logiciel Matlab de plusieurs méthodes du traitement de signal. Nous commencerons par donner un aperçu général sur les méthodes classiques du traitement et d'analyse du signal acoustique. Ces méthodes sont : la méthode de Hilbert, la méthode d'autocorrélation, la transformée ondelettes et le passage par zéro. Ensuite, nous présenterons les différents résultats de ces méthodes pour la détection et la localisation des cibles séparées, chevauchées, bruités et non bruités.

2. Méthodes de détection non paramétriques

2.1. Transformée de Hilbert

En mathématiques et en traitement du signal, la transformation de Hilbert, ici notée $H(t)$, d'une fonction de la variable réelle est une transformation linéaire qui permet d'étendre un signal réel dans le domaine complexe, de sorte qu'il vérifie les équations de Cauchy-Riemann. La transformée de Hilbert d'une fonction $g(t)$ est le produit de convolution de $g(t)$ par $(-1/\pi t)$. Elle est donc définie comme suit :

$$\text{TH}(g(t)) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g(u)}{t-u} du \quad (\text{III.1})$$

Dans le domaine spectral, la transformée de Hilbert de la fonction $g(t)$ s'écrit :

$$\text{TH}(g(t)) = \text{Fourier}^{-1}(-j \text{signe}(f) G(f)) \quad (\text{III.2})$$

Où $G(f)$ désigne la transformée de Fourier de $g(t)$.

La méthode analytique pour la détection d'enveloppe d'un signal $x(t)$, sans l'utilisation d'un filtre RC, est basée sur l'utilisation de la transformée d'Hilbert. Cette méthode est utilisée dans le traitement des échos des ondes acoustiques.

L'obtention de l'enveloppe du signal $x(t)$, se fait après le calcul du signal analytique $z(t)$ (appelé aussi composite) :

$$z(t) = x(t) + jy(t) \quad (\text{III.3})$$

$y(t)$ étant la transformée d'Hilbert du signal $x(t)$. Nous remarquerons par la suite que $z(t)$ reproduit fidèlement l'enveloppe du signal $x(t)$. Dans le système utilisé, le signal $x(t)$ sera échantillonné avant tout traitement par l'ordinateur, il ne sera donc plus question du signal

continu ou de transformée de Fourier, mais de signal discret $x[k]$, et de la transformée de Fourier discrète sur une durée N :

$$\text{TFD}\{x[k]\} = x[K]/N \quad (\text{III.4})$$

L'enveloppe d'un écho acoustique informe sur le temps de vol de l'onde acoustique dans la pièce à contrôler. Ce dernier est utile pour déterminer plusieurs paramètres de la matière en question, comme le module de Young et le coefficient de Poisson. Comme il permet, de déterminer avec précision l'épaisseur de la pièce, la vitesse de propagation, la position des défauts par rapport aux dimensions de la pièce dans le cas où cette dernière présente des défauts, et ainsi que les amplitudes des échos souhaités, avec une précision mieux appréciable qu'à l'œil nu.

On peut utiliser la transformée de Hilbert pour calculer le temps de décalage entre deux signaux. Il s'agit d'étudier la transformée de Hilbert de la réponse impulsionnelle du filtre propagatif. Dans le cas d'un retard pur entre deux signaux, la réponse impulsionnelle est de la forme [11] :

$$h_0(t) = \delta(t - \Delta t) \quad (\text{III.5})$$

Par conséquent, la transformée de Hilbert (TH) n'est autre que :

$$\text{TH}\{h_0(t)\} = \frac{1}{\pi(t - \Delta t)} \quad (\text{III.6})$$

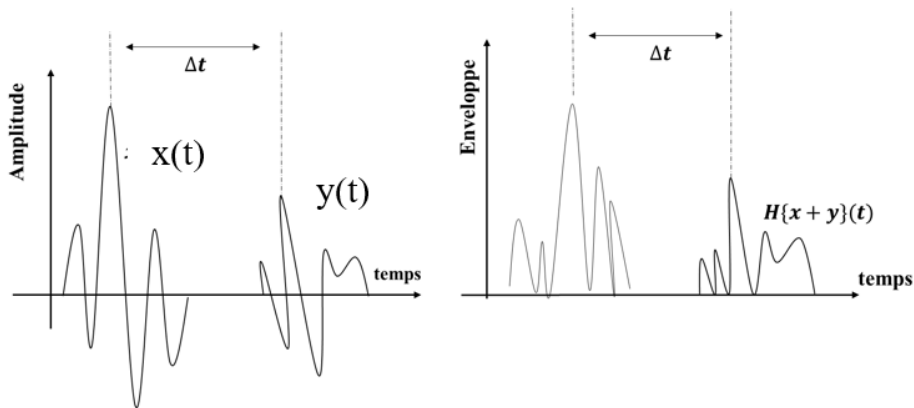


Figure III. 1: Calcul du temps de décalage entre deux signaux.

2.2. Transformée en ondelettes

Les ondelettes ont été introduites au début des années 1980 par Morlet et Grossmann. Il s'agit d'une décomposition du signal sur des fonctions élémentaires. Le pavage temps-

fréquence est maintenant remplacé par le pavage temps-échelle. L'ondelette est à la fois translatée et dilatée ou contractée, c'est pour cela que le pavage temps-échelle n'est pas régulier.

Les ondelettes trouvent une place incontournable dans les problèmes de traitement des signaux et des images. Elles sont utilisées notamment pour l'analyse, la compression et la réduction du niveau de bruit des signaux, on parle alors d'analyse multi-résolution [12].

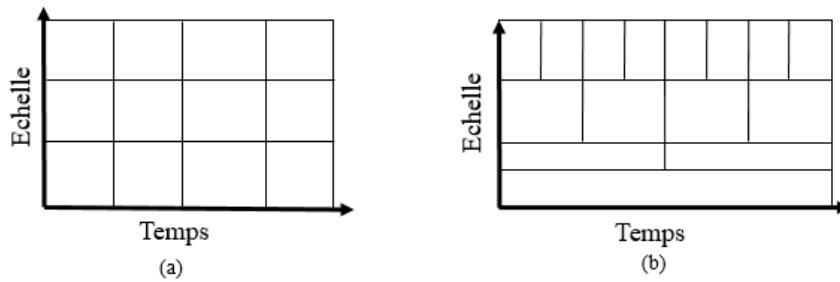


Figure III. 2:(a) Pavage temps-fréquence classique,
(b) Pavage temps-fréquence en utilisant les ondelettes.

2.2.1. Définition et propriétés

La transformée en ondelettes est une représentation temps-échelle du signal. Elle transcrit un filtrage du signal avec une fenêtre (ondelette) qui ne reste pas constante pour toutes les fréquences comme c'est le cas pour la transformée de Fourier à court-terme. L'ondelette adapte son support en fonction du paramètre d'échelle. C'est une onde qui est localisée dans le temps, en quelque sorte c'est une « petite » onde, d'où le nom d'ondelette. Il s'ensuit que la condition d'admissibilité de l'ondelette est qu'elle soit à moyenne nulle [12].

La famille d'ondelettes est obtenue à partir d'une ondelette mère $\psi(t)$ grâce à la relation suivante:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (\text{III.7})$$

Ainsi nous réalisons des opérations de translation en temps grâce au paramètre b et dilatation (ou contraction) grâce au paramètre d'échelle a . La transformée en ondelettes continue (CWT) a été développée comme une alternative à la transformée de Fourier à court terme pour résoudre le problème posé par les résolutions temporelles et fréquentielles. Par son principe, l'analyse par ondelettes est semblable à l'analyse TFCT, mais elle se distingue de cette dernière sur deux points :

- Contrairement à la transformée de Fourier, il n'y a qu'une seule raie visible pour représenter une sinusoïde, c'est-à-dire que les fréquences négatives ne sont pas considérées.

- La largeur du support temporel de la fenêtre varie tout au long de la transformation.

La CWT est définie de la façon suivante :

$$\text{CWT}_x(a, b) = \langle x, \psi_x \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (\text{III.8})$$

Où $\langle * \rangle$ désigne le produit scalaire.

Le signal ainsi transformé est donc une fonction de deux variables, a et b , représentatifs respectivement de l'échelle et de la translation. Le paramètre d'échelle pourrait être comparé à l'échelle utilisée en cartographie. Tout comme cette dernière, une échelle importante correspond à des zones homogènes, présentant peu de détails, elles correspondent aux basses fréquences et ont généralement une durée importante, contrairement à une échelle de faible valeur qui correspond à des zones de détails qui sont les hautes fréquences qui ont généralement une courte durée. En effet, plus le facteur d'échelle a est important, plus l'ondelette est étalée.

Pour un facteur d'échelle assez grand, la représentation des coefficients d'ondelettes donne une représentation de la forme générale de la fonction, comme si on observait la fonction de loin. Par contre, un facteur d'échelle faible correspond à une représentation des singularités, comme si on regardait la fonction de près. Cette propriété de «microscope» est très utile pour l'étude de la régularité d'une fonction ou pour l'analyse des structures fractales, où une même structure se retrouve à des échelles différentes [12].

La transformée en ondelettes continue possède quelques propriétés telles que :

- Conservation de l'énergie du signal analysé
- Linéarité
- Invariance par translation
- Dilatation

Similairement à la TFCT, la transformée en ondelettes discrète (DWT) a pour expression:

$$\text{DWT}(m, n) = a_0^{\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \psi(a_0^{-m}t - nb_0) dt \quad (\text{III.9})$$

Pour une discrétisation du plan temps-échelle $a = a_0^{-m}$ et $b = b_0^n$. Le cas particulier de $a_0 = 2$ et $b_0 = 1$ désigne la transformée en ondelettes dyadique :

$$\text{DWT}(m, n) = \sqrt{2}^m \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \psi \left(\frac{t}{2^m} - n \right) dt \quad (\text{III.10})$$

2.2.2. Avantages et inconvénients

Les principaux avantages de l'utilisation des ondelettes sont [12]:

- Grand choix possible d'ondelettes (ondelette de Morlet, de Daubechies, de Haar, chapeau mexicain etc...)
- L'analyse multi-résolution : ainsi on peut « zoomer » sur les zones du signal qui nous intéresse.

Les inconvénients majeurs des ondelettes sont [12] :

- Le comportement des résolutions temporelles et fréquentielles,
- L'absence du critère de choix sur le type d'ondelette à utiliser.

2.3. Passage par zéro

Passage par zéro détermine l'information sur le nombre de passages à zéro présents dans un signal donné. Le concept du passage par zéro consiste à calculer combien de fois la forme d'onde du signal franchit la ligne d'amplitude zéro par transition d'une valeur positive à une valeur négative ou inversement, en un temps donné. La forme d'onde traverse la ligne d'amplitude zéro par transition d'un positif à un négatif ou vice versa en un temps donné.

En termes mathématiques, un "passage par zéro" est un point où le signe d'une fonction change (par exemple de positif à négatif), représenté par un croisement de l'axe (zéro) dans le graphique de la fonction. Spontanément, si le nombre de passages à zéro est plus important dans un signal donné, le signal sera modifié rapidement, ce qui implique que le signal contient les informations à haute fréquence. De la même manière, si le nombre de passages à niveau zéro est moindre, le signal sera modifié lentement, ce qui indique que le signal contient des

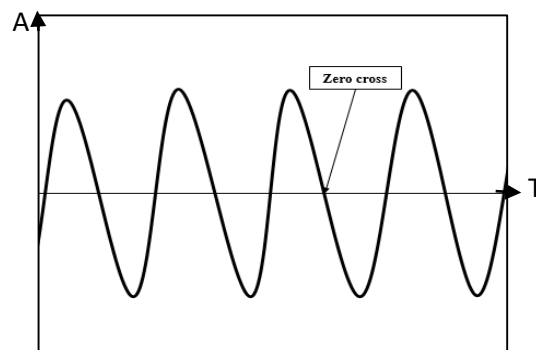


Figure III. 3:Zéro croisement d'un signal.

informations à basse fréquence, Le passage par zéro d'un signal peut être représenté par la (figure.III.3) [13].

Le taux de passage par zéro (ZCR pour zero crossing rate) est une mesure de la fréquence de passage de l'amplitude par l'origine. Elle tend à révéler les signaux bruités (taux élevé) par rapport aux signaux périodiques (taux faible) ; C'est une mesure approximative de la fréquence

fondamentale. Le ZCR est notamment utilisé en traitement de la parole pour reconnaître les sons voisés et les sons non-voisés.

$$zcr = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T \varphi(x_t x_{t-1} < 0) \quad (\text{III.11})$$

Avec $\varphi(A) = \begin{cases} 1, & \text{si la proposition } A \text{ est vraie} \\ 0, & \text{si non} \end{cases}$

2.4. Transformée d'autocorrélation

2.4.1. Définition

L'autocorrélation est un outil mathématique fréquemment utilisé en traitement du signal. C'est la corrélation croisée d'un signal par lui-même. L'autocorrélation sert à détecter des régularités, des profils répétés dans un signal comme un signal périodique perturbé par énormément de bruit, ou bien une fréquence principale d'un signal qui ne contient pas effectivement cette principale, mais l'implique avec plusieurs de ses harmoniques.

Soient s_1 et s_2 deux signaux d'énergie finie, l'inter-corrélation de s_1 par s_2 est définie par:

$$c_{s_1 s_2}(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t) s_2^*(t-u) dt \quad (\text{III.12})$$

Si $s_1=s_2$ alors $c_{s_1 s_1}$ est appelée autocorrélation

2.4.2. Méthode d'autocorrélation

Supposons que $x_1(t)=s(t) + n_1(t)$ et $x_2(t)=s(t-D) + n_2(t)$ les signaux délivrés par les deux capteurs respectivement, où $s(t)$ est le signal source, $n_1(t)$ et $n_2(t)$ représentent les bruits additifs, D est le délai entre les deux signaux. La corrélation croisée de $x_1(t)$ et $x_2(t)$ peut être exprimée sous la forme [14]:

$$R_{x_1 x_2}(\tau) = E[X_1(t)X_2(t+\tau)] = R_{ss}(\tau-D) + R_{n_1 s}(\tau-D) + R_{s n_2}(\tau) + R_{n_1 n_2}(\tau) \quad (\text{III.13})$$

où $R_{RS}(\cdot)$ est l'autocorrélation du signal source $s(t)$. $R_{ss}(\tau-D)$ atteint son maximum lorsque $\tau=D$.

La méthode CC identifie l'abscisse de $R_{x_1 x_2}(\tau)$ correspondant au pic de $R_{x_1 x_2}(\tau)$ comme l'estimation du retard. Lorsque le SNR est élevé et qu'il n'y a pas de corrélation entre le signal et le bruit, le bruit et le bruit, la méthode CC peut obtenir de bons résultats d'estimation du délai, mais dans le cas d'un SNR faible ou d'un bruit corrélé, cette méthode ne peut pas être utilisée pour l'estimation du délai [14].

2.4.3. Inférence temps de vol à partir de la fonction d'autocorrélation

Une alternative plus élégante à l'utilisation de seuils peut consister à extraire le temps de vol de l'autocorrélation des impulsions ultrasonores. Une autocorrélation est une corrélation croisée d'un signal avec lui-même. La corrélation fait référence au degré de similarité de signaux, et pour deux signaux x_a et x_b , il peut être calculé simplement par multiplication vectorielle $x'_a x_b$ (ou ' indique la transposition). L'autocorrélation est obtenue en prenant x_a comme signal, x_b comme une version décalée de lui-même [15].

Tout écho de l'impulsion originale sera évident dans la fonction d'autocorrélation. L'estimation des temps de vol (TOF) pour l'écho L'estimation du TOF pour l'écho principal devient une tâche de trouver l'emplacement du plus haut sommet dans le domaine d'autocorrélation. La détermination de temps de vol par ultrasons de cette manière est forcément plus fiable pour un certain nombre de raisons. La plus importante est qu'aucun seuil ne doit être établi, ce qui est souhaitable si l'on veut procéder à une inspection automatisée. En outre, une autocorrélation peut encore permettre d'identifier la similitude entre la paroi avant et la paroi arrière même lorsque le reflet du mur du fond est enterré dans le bruit, ce qui ne peut de faire via le seuillage [15].

Le concept d'utilisation d'une autocorrélation pour cette tâche n'est pas aussi populaire dans les la communauté des échographistes de réseau, mais il est largement utilisé dans des applications qui impliquent la télémétrie comme le radar et le système de positionnement global (GPS). Ici, l'idée d'utiliser l'autocorrélation des impulsions ultrasonores est utilisée comme un élément de base dans l'application de la détection de la compression [15].

2.4.4. Autocorrélation, signal analytique et enveloppe

L'autocorrélation du signal temporel $s_1(t)$ est définie par :

$$c_{s_1 s_1}(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t) s_1(t-u) dt \quad (\text{III.14})$$

La fonction d'autocorrélation $c_{s_1 s_1}(u)$ est la transformée de Fourier inverse de l'auto spectre $\hat{c}_{s_1 s_1}(f)$.

$$c_{s_1 s_1}(u) = TF^{-1}[\hat{c}_{s_1 s_1}(f)] \quad (\text{III.15})$$

Et peut être calculé par les opérations données dans la figure (III.4):

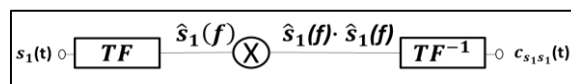


Figure III. 4: Calcul de la fonction d'autocorrélation.

Pour un signal contenant deux cibles séparées par un délai $\Delta\tau$, cette fonction $c_{s_1s_1}(u)$ atteint un premier maximum pour $t = 0$ et un second pour $t = \Delta\tau$. Dans ce cas, la détermination du deuxième maximum de la fonction d'autocorrélation donne le délai entre deux signaux si le déphasage $\Delta\phi$ entre ces deux signaux est nul [16].

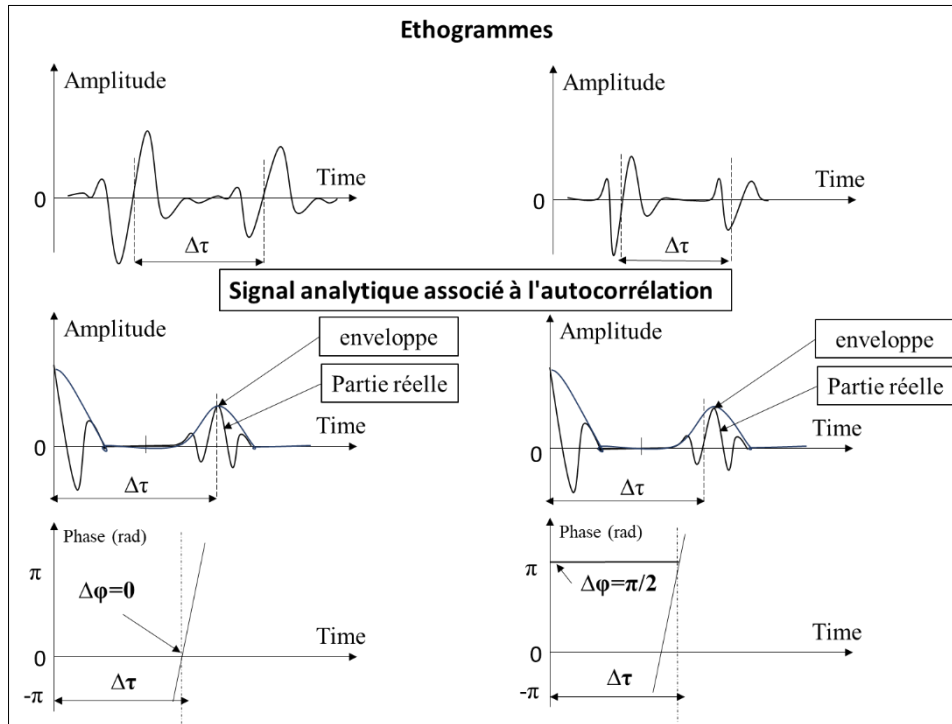


Figure III. 5: Mesure du temps de propagation et du déphasage entre deux échos.

Lorsque $\Delta\phi=0$, l'enveloppe de la fonction d'autocorrélation doit être prise en compte pour tenir compte de ce déphasage.

A partir d'un signal réel $s(t)$ dans le domaine temporel, le signal analytique $\hat{Z}_s(t)$ peut être défini comme un signal complexe :

$$\hat{Z}_s(t) = s(t) - j\text{TH}[s(t)] \tag{III.16}$$

Où $\text{TH}[s(t)]$ est la transformée de Hilbert du signal $s(t)$.

L'enveloppe du signal $s(t)$ est également définie comme le module du signal analytique $\hat{Z}_s(t)$ et le point d'amplitude maximale est un point caractéristique où toutes les harmoniques sont en phase. A partir de la simulation numérique d'une première séquence avec deux cibles retardées par $\Delta\tau$ et en phase ($\Delta\phi=0$), et d'une seconde séquence avec deux cibles retardés par $\Delta\tau$ et décalés par $\Delta\phi=\pi/2$; nous avons calculé le signal analytique associé à chaque séquence d'échos (figure III.5) [16].

Pour deux cibles retardées par $\Delta\tau$ et en phase, le maximum de la partie réelle et le maximum de l'enveloppe de la fonction d'autocorrélation sont superposés et localisés à $t=\Delta\tau$.

En outre, à ce point précis, la valeur de la phase du signal analytique est proche de zéro. En revanche, dans le cas de deux cibles décalées de $\pi/2$, les deux maxima considérés ne sont pas superposés et une seule des enveloppes du signal analytique est localisée à $t=\Delta\tau$ la valeur de la phase du signal ce qui concerne la partie réelle de l'autocorrélation, pour les cibles retardés et décalés. L'analyse du signal analytique conduit à des mesures plus précises du retard, et permet le déphasage entre les deux échos à déterminer. De plus, la précision peut être améliorée par un filtrage numérique des hautes fréquences [16].

Par rapport à la méthode de la pente de phase, la méthode d'autocorrélation basée sur le signal analytique présente de nombreux avantages. La sélection d'une gamme de fréquences appropriée, où la majeure partie du spectre de phase est linéaire, n'est pas nécessaire. Dans les méthodes à pente de phase, chaque cible doit être fenêtré dans le signal source. Dans le cas des temps de propagation courts, cet « effet de fenêtrage » ce qui induit des erreurs supplémentaires dans les déterminations du temps de propagation et du déphasage. Dans la méthode d'autocorrélation, ces effets sont minimisés en plaçant les deux cibles dans la même fenêtre [16].

3. Simulations et résultats

Dans cette partie, on applique les techniques de traitement de signal vues précédemment, sur un signal simulé.

Le modèle du signal simulé est : (gaussienne modulée)

$$s(t; \theta) = \beta e^{-\alpha(t-\tau)} \cos(2\pi f_c(t - \tau) + \varphi) \quad (\text{III.17})$$

Les paramètres du signal sont :

α : Facteur de la bande passante, τ : Temps de vol, f_c : Fréquence centrale, φ : Phase
 β : Amplitude.

Ces paramètres ont des significations intuitives pour un réflecteur de surface idéal dans un chemin de propagation homogène :

Le temps d'arrivée τ est lié à l'emplacement du réflecteur.

Le facteur de bande passante α détermine la bande passante de l'écho ou la durée de temps de l'écho dans le domaine temporel.

La fréquence centrale f_c est régie par la fréquence centrale du transducteur et les caractéristiques de fréquence du chemin de propagation.

L'écho a une amplitude spécifique β et phase ϕ tenant compte de l'impédance, de la taille et de l'orientation du réflecteur.

$$X = V * T$$

$$T = X/V$$

$$V = 1485 \text{ m/s}$$

$$\text{Erreur relative} = |X_0 - X|/X_0$$

$$\tau = (t_2 - t_1)/2, \text{ avec}$$

X : La distance (m) ; v : la vitesse (m/s); τ : temps de vol (s).

Signal	Tau τ (s)	Amplitude (v)	Distance (m)
C1-C2	0.20	0.90	445.5
C1	0.80	0.70	1039.5
C2	1.60	0.50	594

Tableau III.1: Les paramètres du signal simulé.

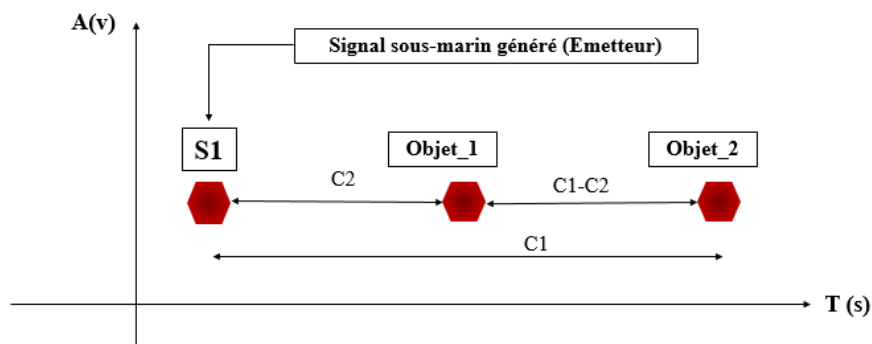


Figure III. 6: Schéma synoptique d'une transmission d'un signal sous-marin.

On a utilisé le MATLAB version 2015b, pour implémenter les techniques de traitement du signal étudiées dans ce manuscrit.

La figure (III.7) illustre la représentation temporelle du signal simulé avec et sans bruit.

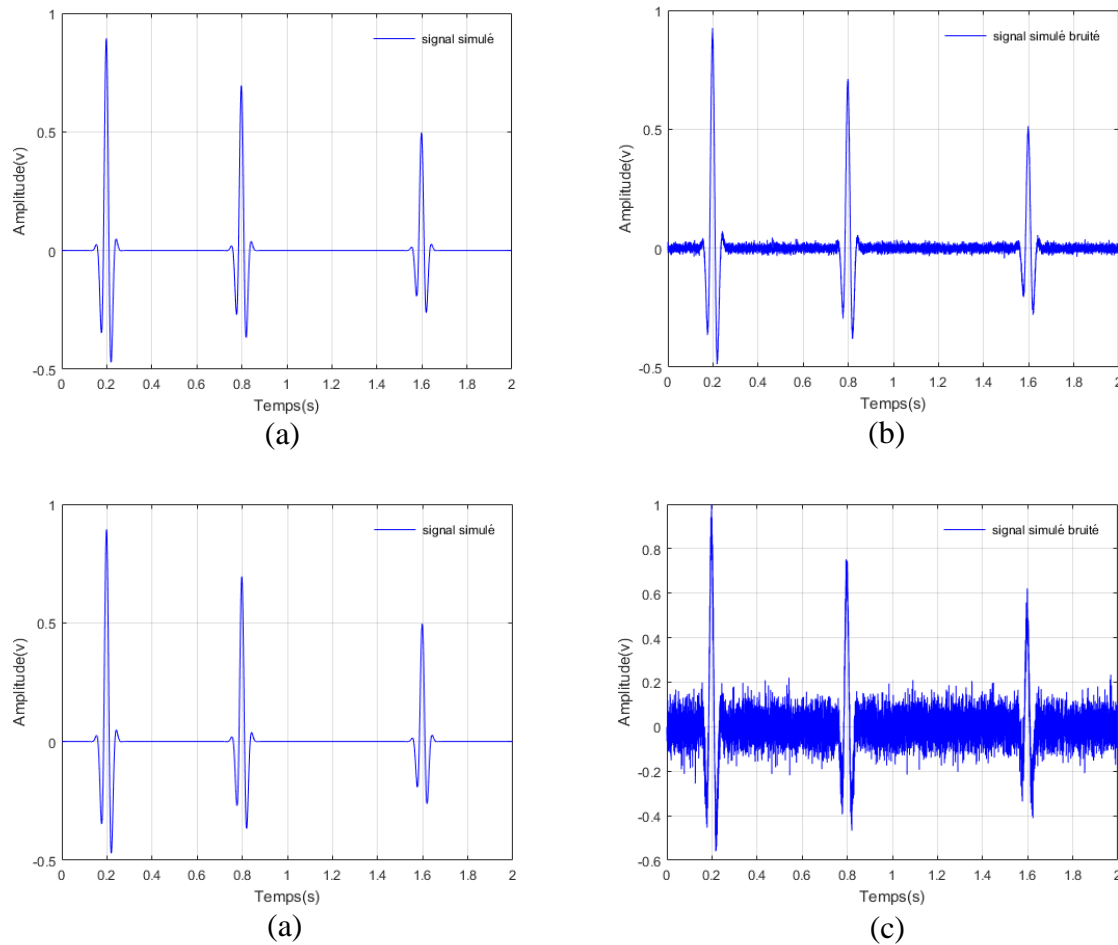


Figure III. 7: Signal simulé sans et avec bruit

(a) signal simulé (b) avec SNR=20 dB (c) avec SNR=5 dB.

3.1. Transformée de Hilbert

La transformée d'Hilbert permet de générer l'enveloppe instantanée du signal, qui ne dépend d'aucun paramètre extérieur et ne tient pas compte du sens de variation (perte de signe) des réflexions acoustiques ; qui se manifestent aux différentes interfaces (changements acoustiques). L'enveloppe y d'un signal x , est égale à la norme du signal analytique SA. Ce calcul est effectué par une fonction intégrée du logiciel Matlab :

$$TH(x) = \text{abs}(\text{hilbert}(x)) \quad (\text{III.18})$$

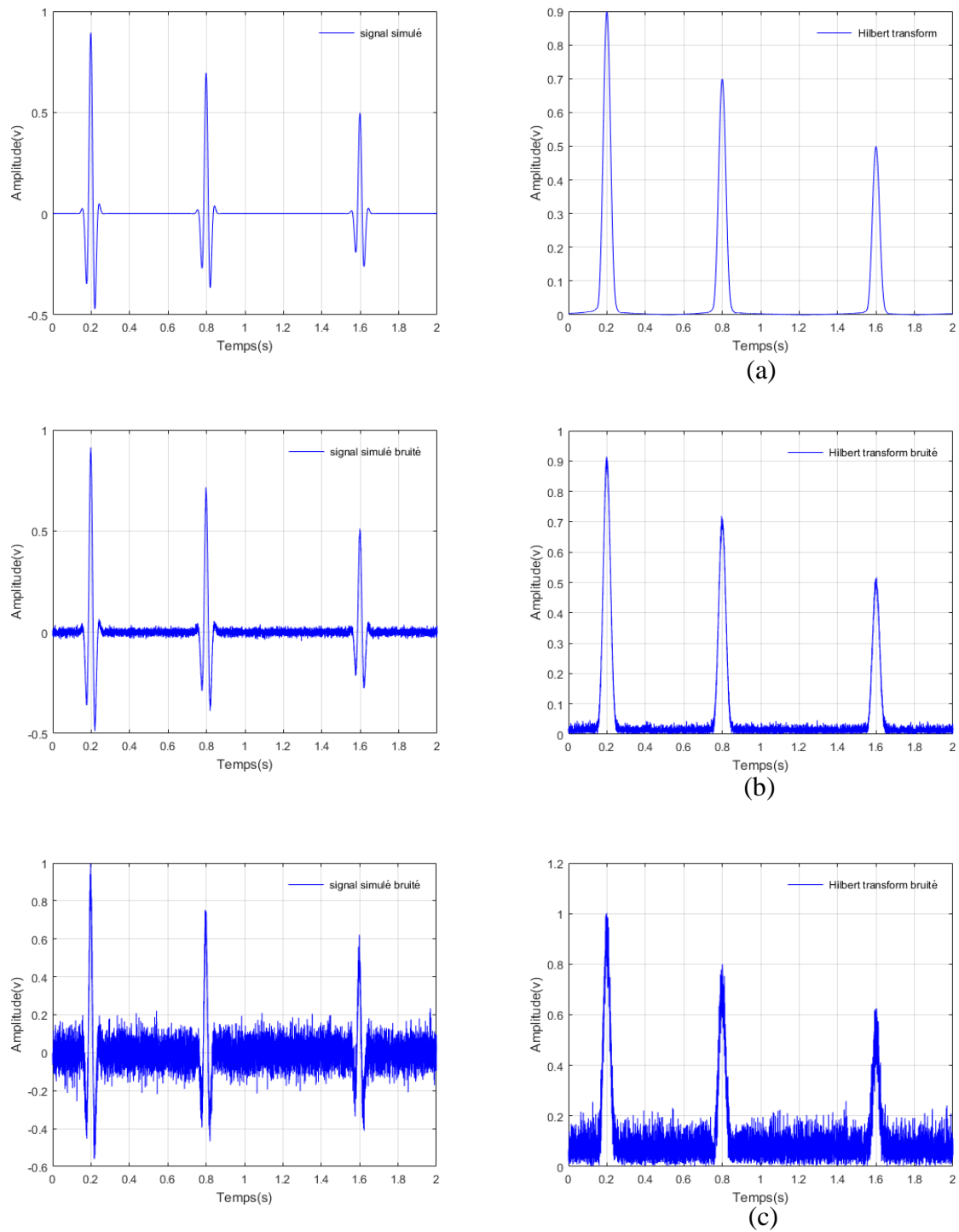


Figure III. 8: Application de la transformé de Hilbert sur trois cibles séparées

(a) sans bruit, (b) avec SNR=20 dB, (c) avec SNR=5 dB.

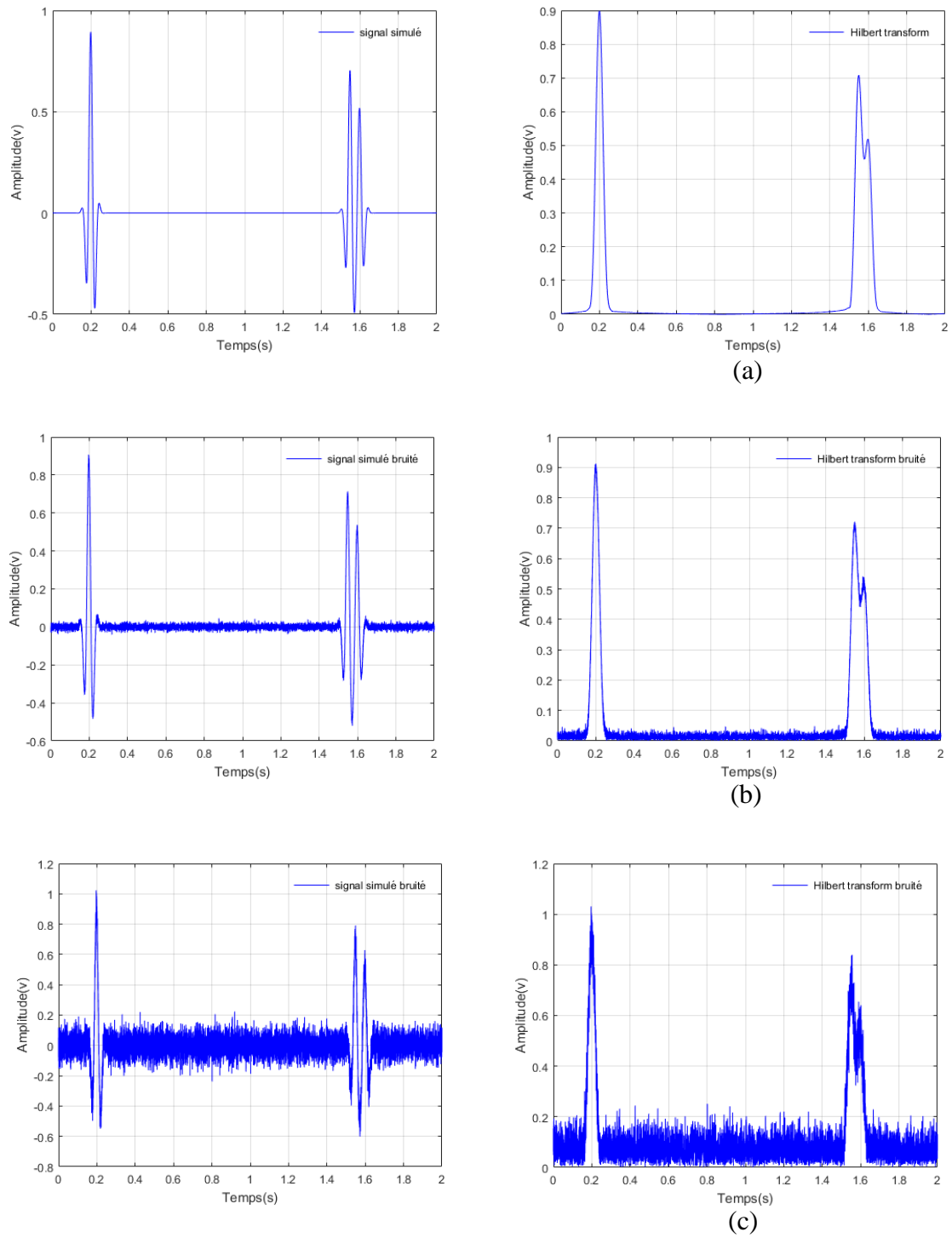


Figure III. 9: Application de la transformé de Hilbert

(Avec deux cibles chevauchées)

Sans bruit, (b) avec SNR=20 dB, (c) avec SNR=5 dB.

En effet, on peut séparer temporellement les trois cibles. On peut aussi calculer le temps de décalage par la transformée d'Hilbert, en calculant les instants des pics, et on déduit le temps de décalage par la différence entre les instants calculés.

La distance x est calculée en multipliant la vitesse dans le temps de retard.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

$$\tau_1 = \frac{t_2 - t_1}{2} = 0.30 ; \tau_2 = \frac{t_3 - t_1}{2} = 0.7001 ; \tau_3 = \frac{t_3 - t_2}{2} = 0.4001$$

App. TH	Amplitude (v)	Temps (s)	Temps de vol τ (s)	Distance X (m)	Erreur relative	
					SNR 20dB	SNR 5 dB
C2-C1	0.8983	0.1998	0.3000	445.50	0.23%	0.56%
C1	0.6989	0.7998	0.7001	1039.64	0.07%	0.08%
C2	0.4988	1.6000	0.4001	594.14	0.04%	0.57%

Tableau III. 2:Calculs des temps de vols et des distances des signaux par TH.

3.2. Transformée en ondelettes

On a utilisé la transformée en ondelettes, pour localiser l'emplacement exact des signaux et diminuer l'effet du bruit (débruitage). Pour obtenir une représentation temps-échelle, on dispose une fonction *cwt*.

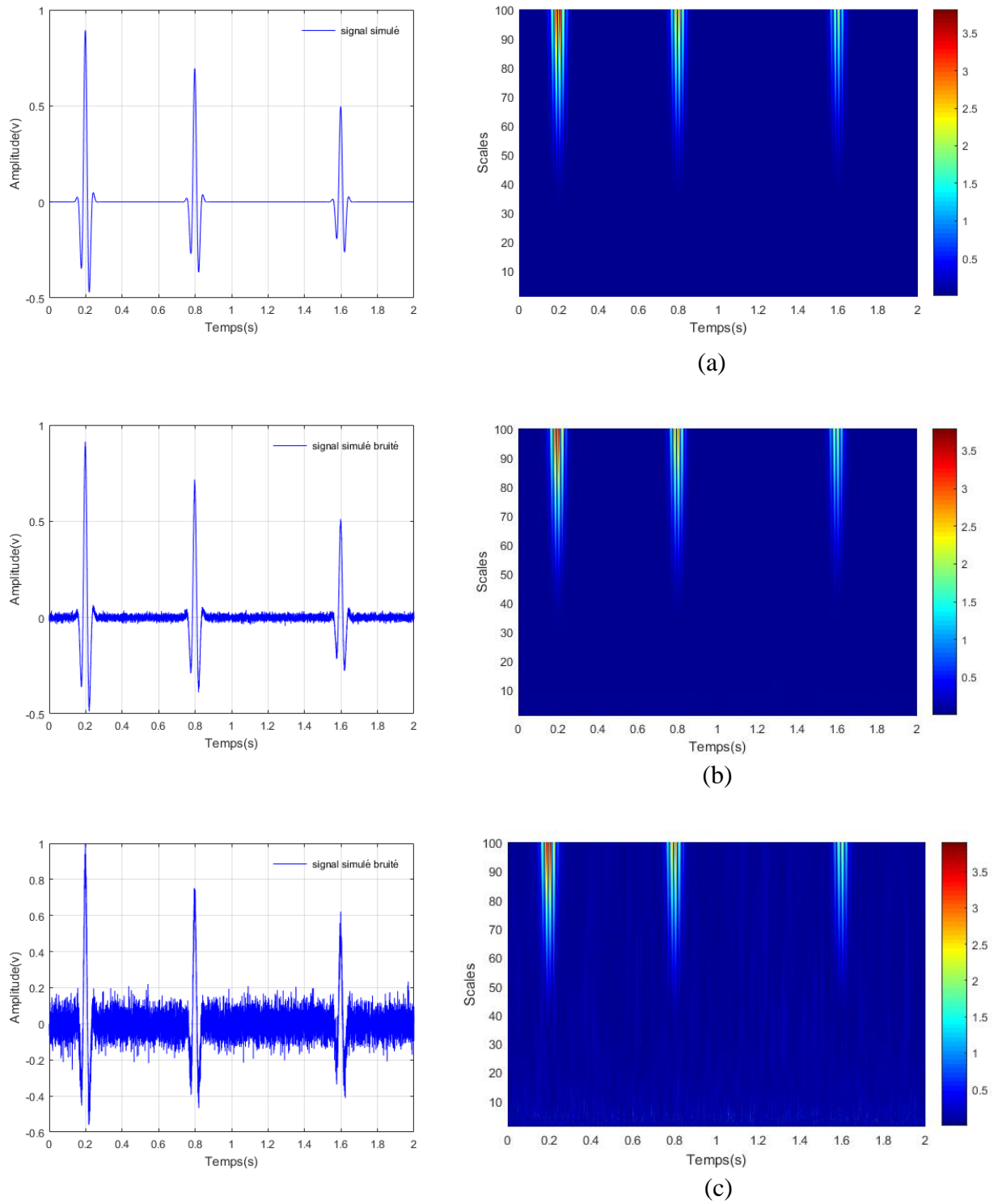


Figure III. 10: Transformée en ondelettes TOC des trois cibles séparées

(a) Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.

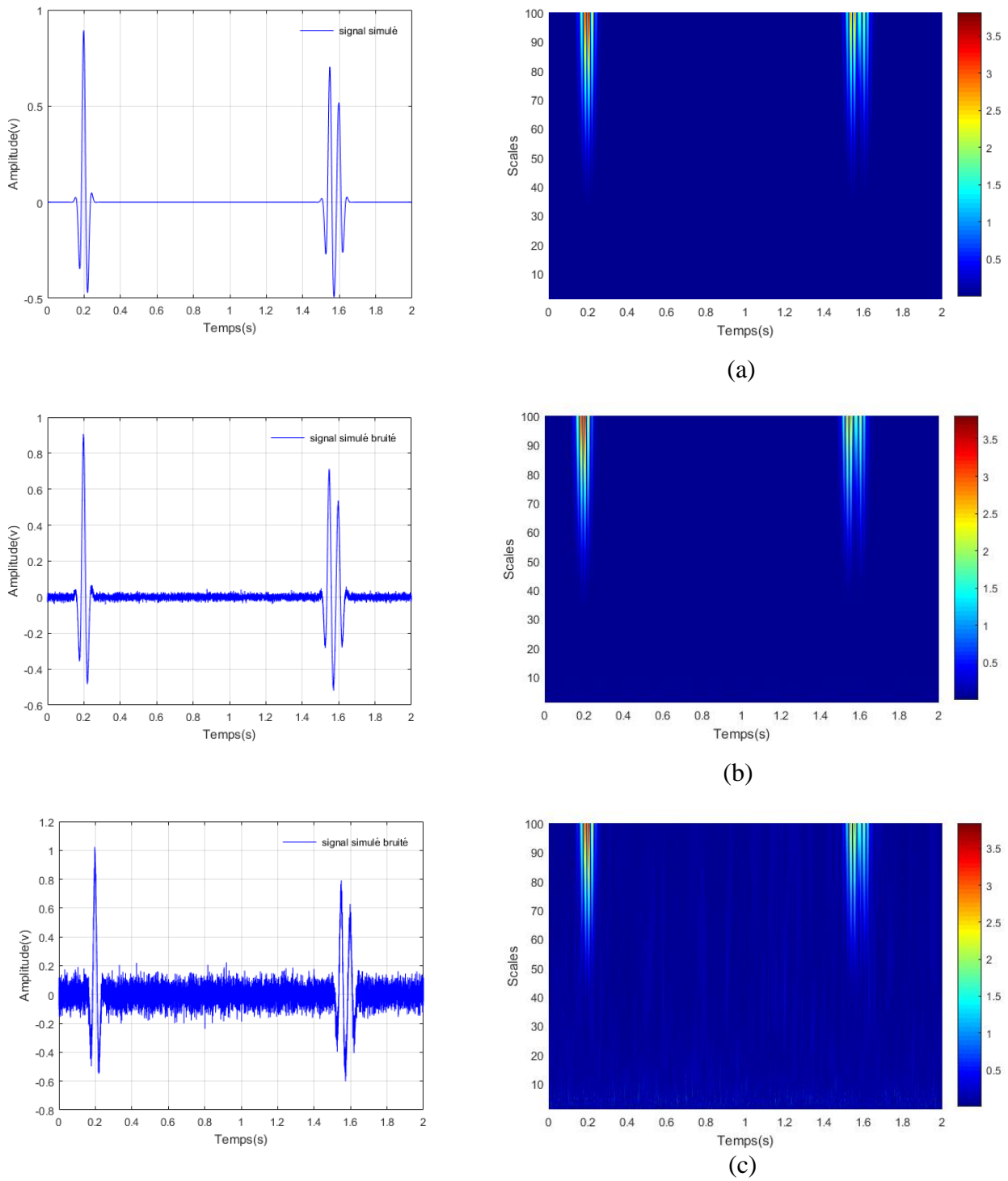


Figure III. 11: Transformée en ondelettes TOC du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées) (a) Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.

D'après les figures, Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

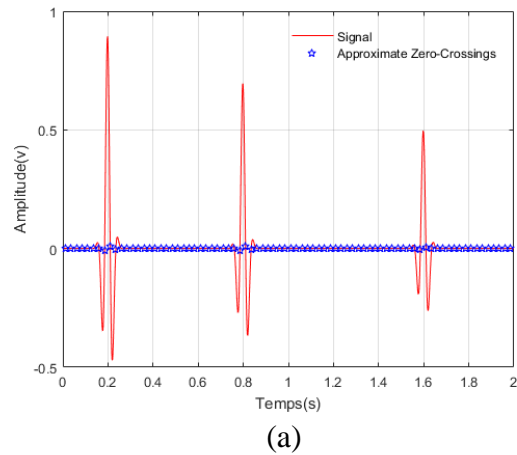
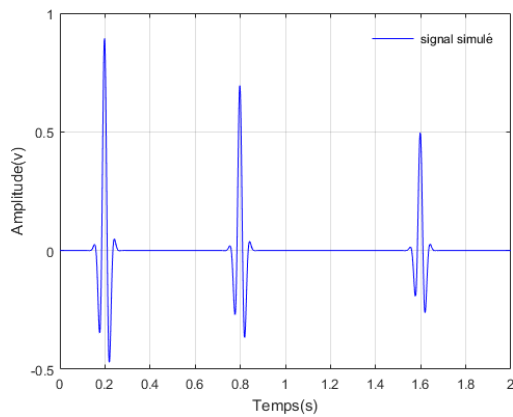
App. TOC	Temps (s)	Temps de vol τ (s)	Distance X (m)	Erreur relative	
				SNR 20dB	SNR 5dB
C2-C1	0.2028	0.3000	445.5	0.00%	0.56%
C1	0.8028	0.7001	1039.6	0.009%	0.015%
C2	1.603	0.4001	594.1	0.016%	0.12%

Tableau III. 3: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par TOC.

3.3. Passage par zéro

En Trouver les passages à zéro et de tracer les points où ces passages à zéro se produisent.
En utilisé la fonction :

$$zx = zci(X) \quad (III.19)$$



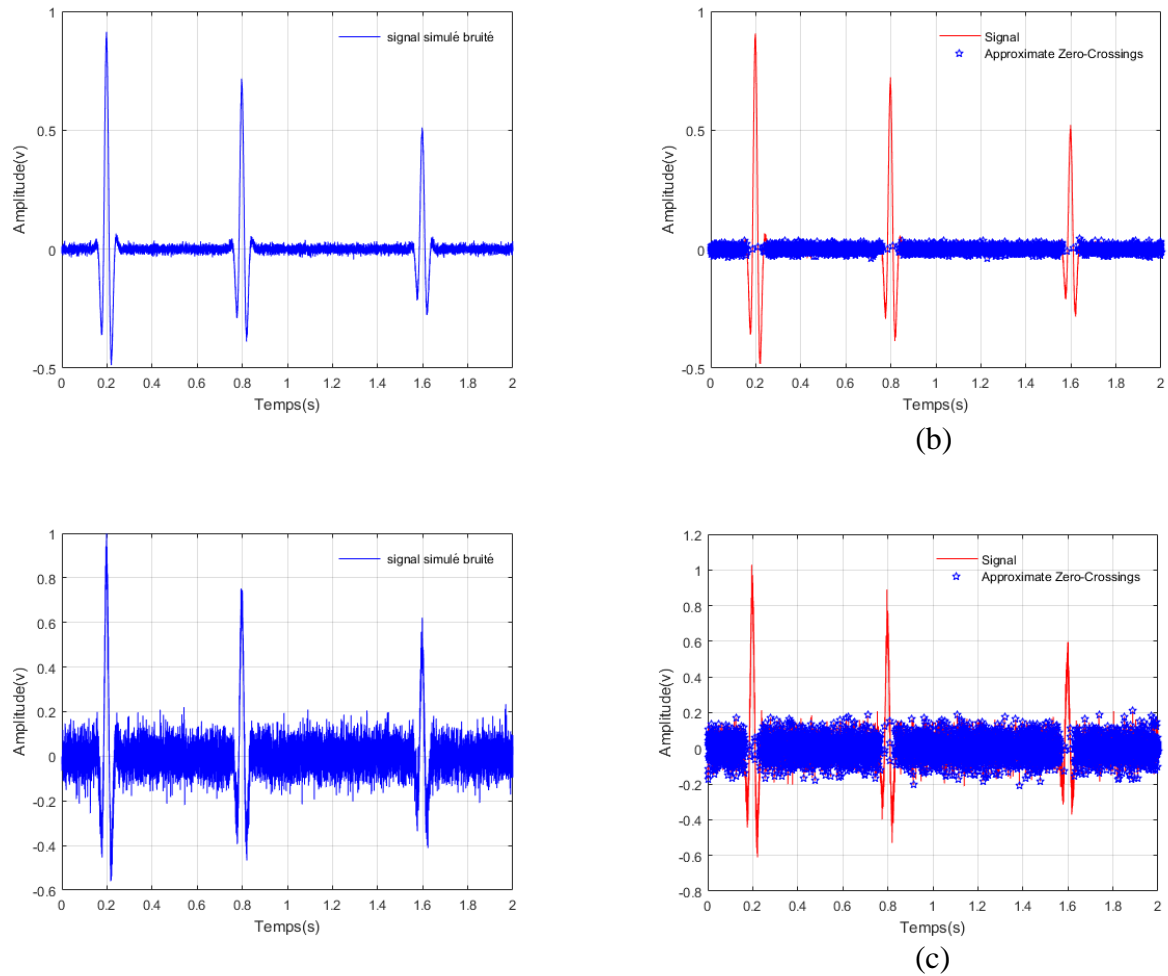
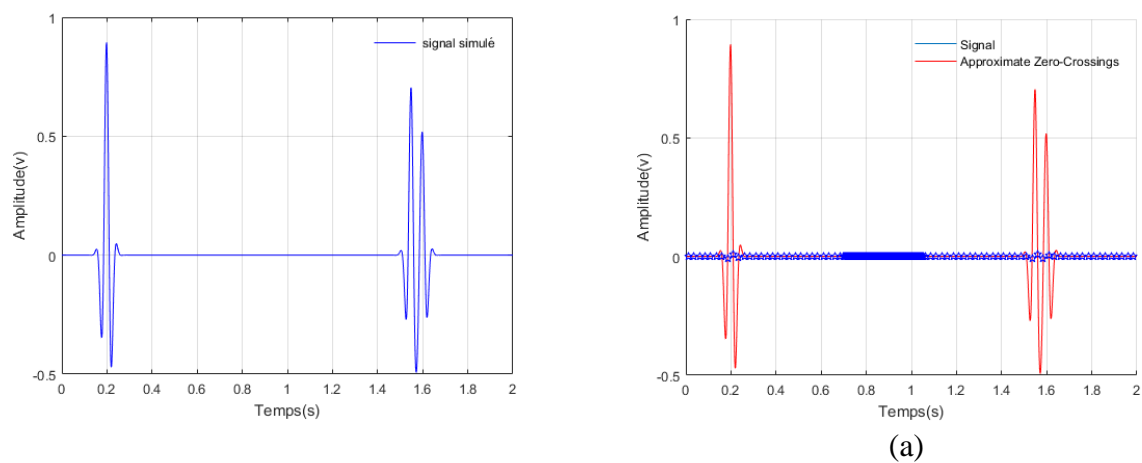


Figure III. 12: Transformée passage par zéro du trois cibles séparées (a) Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.



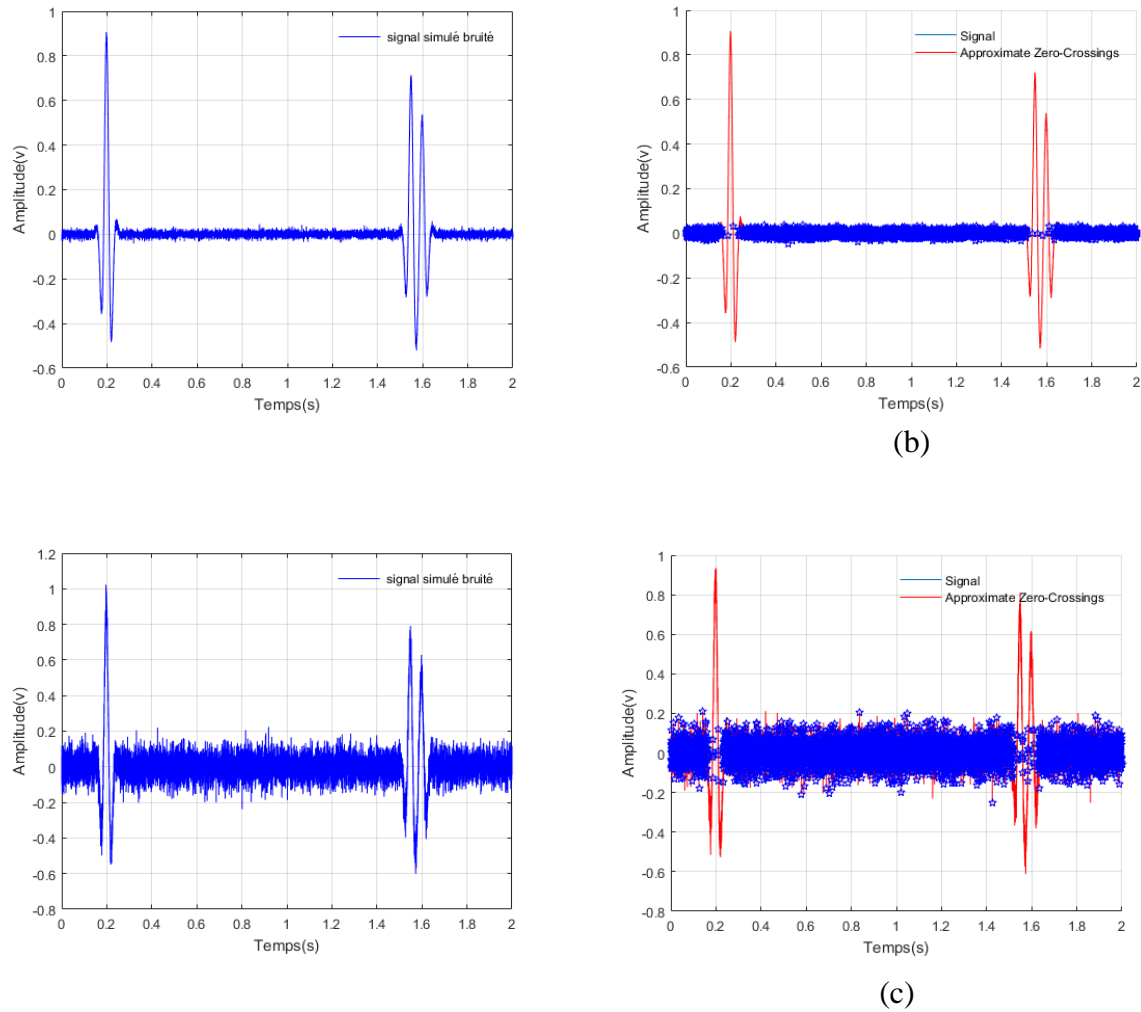


Figure III. 13: Transformée passage par zéro du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées) (a) Sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

App. PPZ	Temps (s)	Temps de vol τ (s)	Distance X (m)	Erreur relative	
				SNR 20dB	SNR 5dB
C2-C1	0.135	0.3000	445.5	0.01%	0.09%
C1	0.735	0.7000	1039.5	0.00%	0.15%
C2	1.535	0.4000	594	0.025%	0.30%

Tableau III. 4: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par PPZ.

3.4. Transformée d'autocorrélation

Cette transformée est calculée par la commande suivant : $y=xcorr(x, x)$.

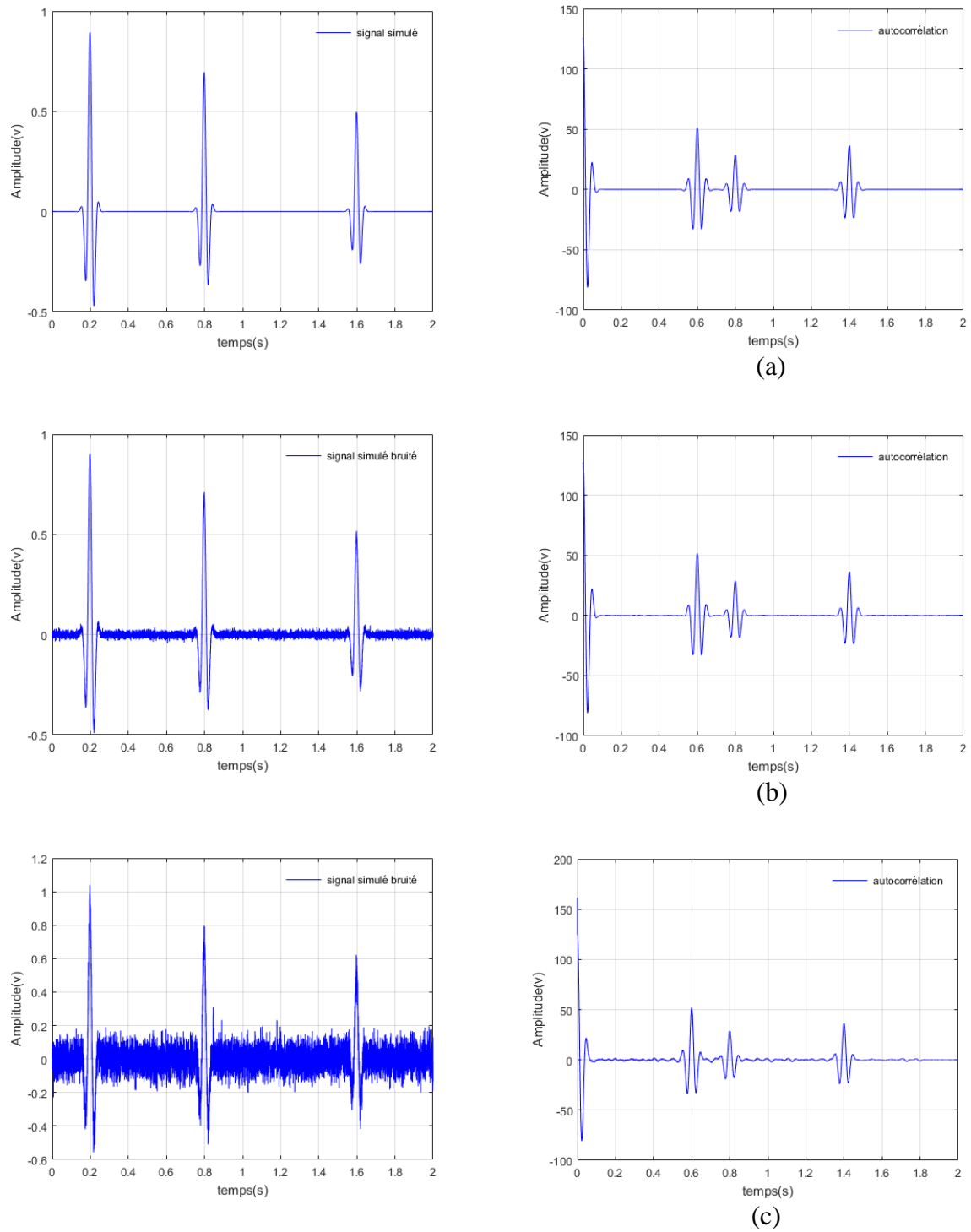


Figure III. 14: Transformée d'autocorrélation du trois cibles séparées (a) sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.

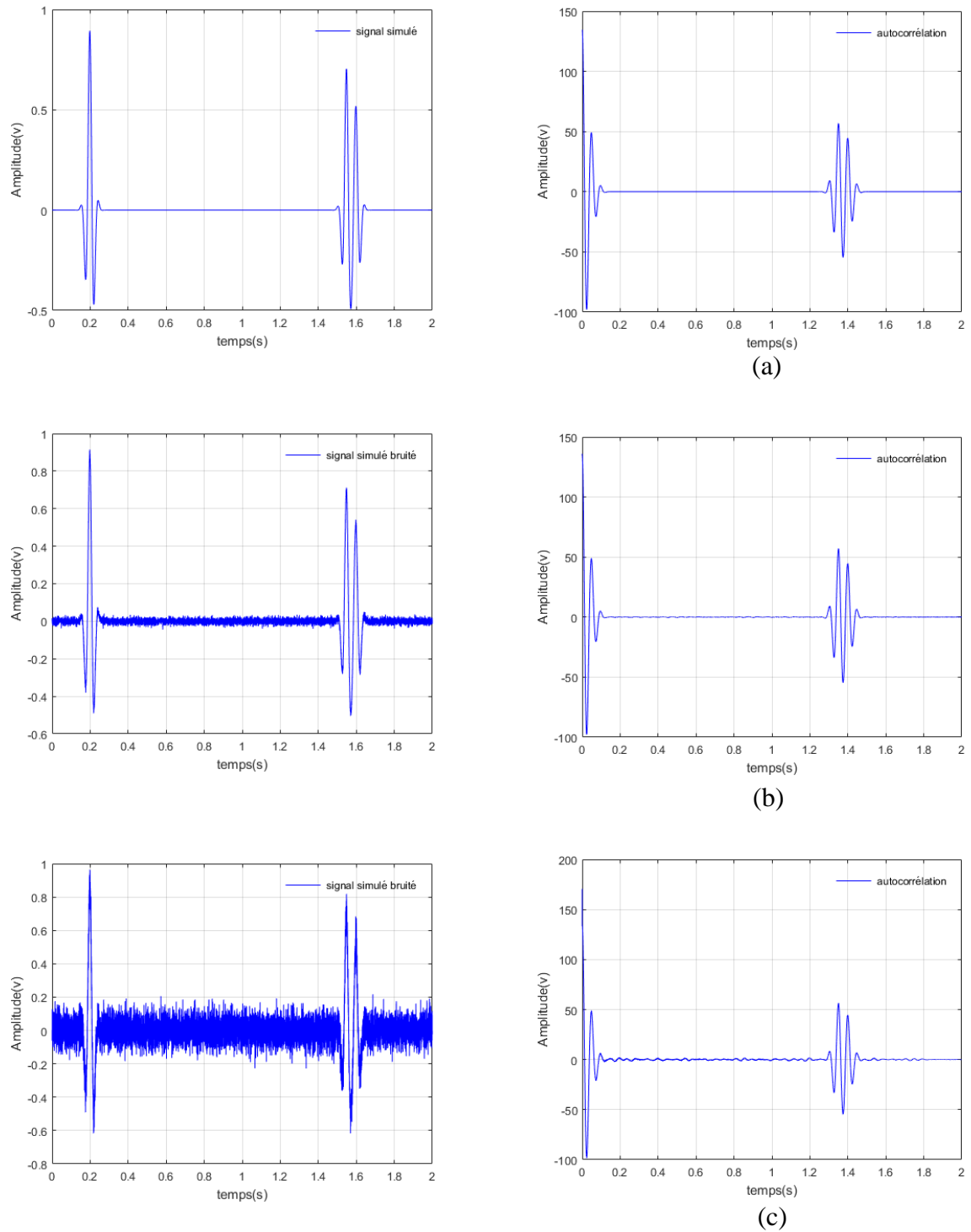


Figure III. 15: Transformée autocorrélation du signal simulé (Avec deux cibles chevauchées)
 (a) sans bruit, (b) avec SNR= 20 dB, (c) avec SNR= 5dB.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

App. <i>xcorr</i>	Temps (s)	Temps de vol τ (s)	Distance X (m)	Erreur relative	
				SNR 20dB	SNR 5dB
C2-C1	0.6	0.3	445.5	0.001%	3.30%
C1	1.4	0.7	1039.5	0.001%	1.43%
C2	0.8	0.4	594	0.001%	1.26%

Tableau III. 5: Calculs des temps de vols et des distances des signaux par *xcorr*.

3.5. Résultats et discussion

- **Cas des cibles séparées**

Dans le cas où les cibles des deux objets sont séparées (éloignés), les maximums des cibles sont bien localisés par les algorithmes : de Hilbert (figure III. 16), l'autocorrélation (Figure III. 17), la transformé par ondelettes (figure III. 18), et le premier passage à zéro (figure III. 19) des cibles pour l'algorithme de taux de passage à zéro.

a) Méthode de Hilbert

La distance est : $D = 0.5 (t_{\text{objets}} - t_{s1})v$ avec t_{s1} est le temps de vol de cible relié à l'émetteur, t_{objets} est le temps de vol relié au premier ou au deuxième objet, et v est la vitesse de propagation des ondes longitudinale dans l'eau Donc :

$$D1 = 0.5 (0.7998 - 0.1998)1485 = 445.5\text{m}$$

$$D2 = 0.5 (1.6 - 0.1998)1485 = 1039.5\text{m}$$

$$D3 = 0.5 (1.6 - 0.7998)1485 = 594\text{m}$$

b) Méthode d'autocorrélation, transformé par ondelettes

Les mêmes procédures précédentes sont utilisées pour calculer les distances des objets, nous trouvons $D1 = 445.5\text{m}$, $D2 = 1039.64\text{m}$, $D3 = 594.14\text{m}$

c) Passage à zéro

Dans ce cas on désigne le premier passage à zéro de chaque cible et on refait les mêmes calculs

On obtient les mêmes résultats :

$$D1 = 445.5\text{m}, D2 = 1039.64\text{m}, D3 = 594.14\text{m}$$

- **Cas des cibles chevauchées**

Par contre, dans les cas où les cibles sont proches (les deux objets ont la même distance) (Hilbert (figure III. 20.a), ondelette (figure III. 21.a), passage par zéro (figure III. 22.a), autocorrélation (figure III. 23.a)) ou en présence du bruit avec un rapport SNR=5dB (voir les figure (Hilbert (figure III. 24.a), ondelette (figure III. 25.a), passage par zéro (figure III. 26.a), autocorrélation (figure III. 27.a))) ces méthodes offrent une résolution faible, elles sont incapables de faire la détection et la séparation des cibles réfléchis par les deux objets. Donc, elles sont incapables de donner les distances des objets proches.

Dans le tableau (III.6), on résume les résultats de simulation par ces méthodes. Ce tableau montre bien que ces méthodes de traitement du signal ne sont pas adaptées pour déterminer les maximums des échos proches :

	Distance			
	Cibles séparées		Cibles chevauchées	
	Sans bruit	Avec bruit SNR=5 dB	Sans bruit	Avec bruit SNR=5 dB
Transformée de Hilbert	D1=445.500 D2=1039.64 D3=594.140	D1=448.02 D2=1038.75 D3= 590.73	D1= 1 002,52 D2= non détecté D3= non détecté	D1= 1 001,63 D2= non détecté D3= non détecté
Transformée d'ondelette	D1=445.500 D2=1039.50 D3=594.100	D1=444.75 D2=1039.6 D3=594.74	D1= 1 002,82 D2= non détecté D3= non détecté	D1= 1 003,26 D2= non détecté D3= non détecté
Transformée Passage par zéro	D1=445.500 D2=1039.50 D3=594.000	D1=448.91 D2=1041.13 D3=592.21	D1= 1 002,37 D2= non détecté D3= non détecté	D1= 1 002,96 D2= non détecté D3= non détecté
Transformée D'autocorrélation	D1=445.300 D2=1039.50 D3=594.100	D1=430.60 D2=1024.6 D3=586.50	D1= 1 002,83 D2= non détecté D3= non détecté	D1= 1 003,11 D2= non détecté D3= non détecté

Tableau III. 6:Les résultats de simulation par chaque méthode

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation par quatre méthodes de traitement du signal qui sont : la transformée de Hilbert, la fonction d'autocorrélation, la transformée en ondelettes et le passage par zéro. On a commencé par donner les propriétés de chaque méthode. Les résultats de simulation ont montré que ces méthodes sont efficaces pour les cibles séparées non bruitées, cependant elles sont inefficaces pour les cibles séparées bruitées et pour les cibles proches bruitées ou non bruitées. Pour remédier à ces limites en fait recours aux méthodes d'estimation utilisant l'algorithme de la poursuite adaptative basé sur les algorithmes génétiques (MPGA). C'est l'objet du prochain chapitre.

Chapitre IV

Estimation basée sur la poursuite adaptative

-
1. Introduction
 2. Notions sur la poursuite adaptative
 3. Poursuite adaptative
 4. Les Algorithmes génétiques
 5. Poursuite adaptative basée sur les algorithmes génétiques
 6. Simulation résultats
-

1. Introduction

Suit a des limites introduites par les résultats des simulations vu en chapitre précédent, nous sommes obligés de choisir une des méthodes d'estimation pour surpasser ces limites, nous avons choisi de travailler avec l'algorithme de la poursuite adaptative basé sur les algorithmes génétiques (MPGA) comme solution.

On abordera dans ce chapitre la mise en œuvre de cet algorithme, on présentera ensuite les résultats de simulation sous logiciel Matlab.

2. Notions sur la poursuite adaptative

Dans un problème de parcimonie on cherche à résoudre le problème inverse

$$y = \Phi x \quad (\text{IV.1})$$

Sous la contrainte de parcimonie sur le vecteur de coefficients $x \in \mathbb{C}^N$ où $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times N}$ est appelé dictionnaire et $y \in \mathbb{C}^M$ est un signal de données. Dans la suite, on donne la définition du dictionnaire et de la parcimonie [19].

Le dictionnaire : Un dictionnaire est un ensemble fini de signaux élémentaires normés noté $\{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N\}$. Ces signaux sont rangés dans une matrice $\Phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]$. Chaque colonne de Φ est appelée atome. L'indice $n = 1, \dots, N$ désigne la position de l'atome dans le dictionnaire, et N est le nombre total d'atomes dans le dictionnaire [18].

Si le dictionnaire engendre l'espace signal, on dit alors que le dictionnaire est complet ou total. Dans ce cas, chaque signal peut être exprimé par une combinaison linéaire d'atomes avec une erreur de reconstruction nulle. Si les atomes forment un ensemble linéairement dépendant, alors le dictionnaire est redondant. Dans ce cas, chaque signal a une infinité de représentations (ou approximations). Pour qu'un dictionnaire soit complet, il est nécessaire que $N \geq M$. Pour qu'un dictionnaire soit redondant, il suffit que $N > M$.

Parcimonie : Dans un problème d'approximation parcimonieuse, on cherche une représentation à faible coût d'un signal. Généralement, le coût de la représentation est mesuré par le nombre d'atomes qui y participe. Pour concrétiser cette idée, on a défini la parcimonie d'un vecteur par le nombre de ses éléments non nuls. La parcimonie est calculée par la pseudo-norme ℓ_0 , $\|\cdot\|_0: \mathbb{C}^N \rightarrow \mathbb{N}$, qui renvoie le nombre d'éléments non nuls de son argument. De manière générale, pour tout nombre positif p , on définit la norme ℓ_p par [18] :

$$\|X\|_p \triangleq \left(\sum_{n=1}^N |x(n)|^p \right)^{1/p} \quad (\text{IV.2})$$

Avec la convention $\|X\|_\infty \triangleq \max_n |x(n)|$. La pseudo-norme ℓ_0 peut être également déduite de l'équation (IV.2) : $\|X\|_0 = \lim_{p \rightarrow 0} \|x(n)\|_p^p$

Formulations basiques du problème Il existe quatre problèmes fondamentaux d'approximation parcimonieuse qui gèrent différents compromis entre l'erreur d'approximation et le niveau de parcimonie dans le vecteur x [18]:

1. trouver la représentation la plus parcimonieuse pour le signal y :

$$\min_x \|x\|_0 \quad \text{sous contrainte} \quad y = \Phi X \quad (\text{IV.3})$$

2. pour un signal y , trouver le vecteur de coefficients x le plus parcimonieux qui représente une approximation avec une tolérance d'erreur ϵ :

$$\min_x \|x\|_0 \quad \text{sous contrainte} \quad \|y - \Phi X\|_2^2 < \epsilon \quad (\text{IV.4})$$

3. parmi tous les vecteurs qui ont le niveau de parcimonie demandé, trouver celui qui donne la meilleure approximation du signal y :

$$\min_x \|y - \Phi X\|_2^2 \quad \text{sous contrainte} \quad \|x\|_0 \leq s \quad (\text{IV.5})$$

4. pour un signal donné, trouver le vecteur de coefficient qui réalise le meilleur équilibre entre la parcimonie et l'erreur d'approximation :

$$\min_x \|y - \Phi X\|_2^2 + \lambda \|x\|_0. \quad (\text{IV.6})$$

3. Poursuite adaptative

L'algorithme poursuite adaptative (MP), introduit dans la communauté du traitement du signal dans le contexte de l'estimation harmonique par **Mallat et Zhang** [MZ93, Mal99], est une méthode itérative qui consiste à décomposer un signal en une combinaison linéaire de S éléments du dictionnaire $\Phi \in CM \times N$. A chaque itération de l'algorithme, on sélectionne l'atome le plus corrélé avec le résidu. Une fois cet atome est sélectionné, on calcule son nouveau coefficient et on soustrait sa contribution au résidu [19].

Matching pursuit est un algorithme adaptatif. Il peut décomposer itérativement un signal f dans espace d'Hilbert H une combinaison linéaire d'atomes tirée d'un dictionnaire complet $D = [g_i ; i = 0, 1, \dots, L]$, tel que $\|g_i\| = 1$, où L est le nombre d'éléments du dictionnaire, de sorte que les combinaisons linéaires finies des atomes sont denses dans H . Ensuite, le signal f est [17]:

$$f = \sum_{m=0}^{M-1} \alpha_m g_m + R_M f \quad (\text{IV.7})$$

où α_m est le coefficient de dilatation approprié, le plus grand produit intérieur entre g_m et le signal analysé, g_m est l'atome temps-fréquence, $R_M f$ est le vecteur résiduel.

La première étape de l'algorithme MP consiste à rechercher dans le dictionnaire un atome g_0 présentant la meilleure corrélation avec le signal f . L'atome g_0 possédant le plus grand produit interne avec le signal analysé est choisi, puis

$$f = \langle f, g_0 \rangle g_0 + Rf \quad (\text{IV.8})$$

L'étape suivante consiste à trouver l'atome le mieux corrélé avec le résidu Rf

$$Rf = \langle Rf, g_1 \rangle g_1 + R_1 f \quad (\text{IV.9})$$

Si on met $R_0 f = f$, alors dans un cas général on peut écrire

$$R_m f = \langle R_m f, g_m \rangle g_m + R_{m+1} f \quad (\text{IV.10})$$

Le signal original f est décomposé en une somme d'éléments de dictionnaire choisis pour correspondre au mieux à son des résidus comme la fonction (IV.7) [17].

4. Les algorithmes génétiques :

Un AG peut être considérée à la base comme un processus aléatoire. Cependant, les informations qui viennent des fonctions objectives sont toujours utilisées pour paramétrer ce processus. Ils ont été développés par John Holland, en 1967 à l'Université du Michigan à USA dans deux buts basé sur :

- Mettre en évidence et expliquer rigoureusement les processus d'adaptation des systèmes naturels.
- Concevoir des systèmes artificiels qui possèdent les propriétés des systèmes naturels.

Les AG utilisent à la fois les principes de la survie des individus les mieux adaptés et ceux de la propagation du patrimoine génétique. Les AGs fonctionnent par une génération successive d'individus. L'ensemble des individus d'une génération s'appelle une population. Un chromosome est une suite de gènes et un individu est un ensemble de chromosomes. Ce principe est résumé dans la figure (IV.1). Les gènes contiennent les paramètres permettant d'évaluer une fonction. Nous essayons de prendre les gènes les plus simples possibles (des valeurs binaires par exemple). La fonction d'évaluation s'appelle le fitness. Les AG génèrent une recherche de maximum sur cette fonction. La pertinence des paramètres (des gènes) est donc proportionnelle à la fonction. Par conséquent, plus le fitness est élevé, plus les gènes correspondants sont pertinents [19].

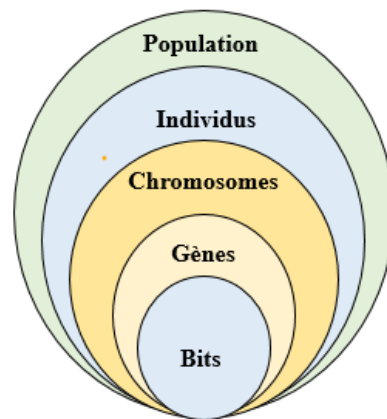


Figure IV. 1: Les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique.

Le travail de recherche commence en plusieurs points dans l'espace des solutions, c'est-à-dire sur une population de points et non pas en un point singulier comme dans la plupart des techniques d'optimisation. Par les opérations mutation et croisement, ce sont les bons membres de cette population qui survivent. Donc, ils peuvent passer à la prochaine génération. A la fin de l'algorithme, une meilleure solution est engendrée.

AG est une technique de recherche adaptative qui permet de trouver des solutions quasi-optimales d'optimisation à grande échelle avec de multiples maxima locaux. L'AG a été utilisée pour estimer des paramètres, tels que la référence. Il est simple et facile d'estimer les paramètres des signaux. En particulier, il n'est pas nécessaire de fixer une valeur initiale pour les paramètres du modèle à estimer [17].

L'écho d'impulsion ultrasonore peut être représenté par un modèle d'écho gaussien. La fonction du modèle d'écho gaussien a un vecteur de paramètres ayant cinq paramètres de base. Les valeurs des paramètres sont estimées par AG. L'AG simple est décrite comme suit : Premièrement, une population initiale aléatoire a été créée ; deuxièmement, les candidats sont sélectionnés itérativement dans le groupe de croisement ; troisièmement, de nouveaux candidats sont générés par l'opérateur de croisement. Si le croisement ne fonctionne pas, un des individus est sélectionné au hasard et muté par l'opérateur de mutation ; Quatrièmement, les candidats sont classés en fonction de leur valeur d'aptitude. Enfin, les deuxième, troisième et quatrième étapes sont répétées jusqu'à ce que la règle d'arrêt soit satisfaite [17].

4.1. Principes généraux

Les AG sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle : croisements, mutations, sélection, etc. Un AG recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants [19]:

- i. Un principe de codage de l'élément de population. Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. La qualité du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques.
- ii. Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global.
- iii. Une fonction à optimiser. Celle-ci est appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu.
- iv. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'états.
- v. Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

Le principe général du fonctionnement d'un AG est représenté sur la figure (IV.2): on commence par générer une population d'individus de façon aléatoire. Pour passer d'une génération k à la génération $k+1$, les trois opérations suivantes sont répétées pour tous les éléments de la population k . Des couples de parents $P1$ et $P2$ sont sélectionnés en fonction de leurs adaptations. L'opérateur de croisement leur est appliqué avec une probabilité P_c (généralement autour de 0.6) et génère des couples d'enfants $C1$ et $C2$. D'autres éléments P sont sélectionnés en fonction de leur adaptation. L'opérateur de mutation leur est appliqué avec la probabilité P_m (P_m est généralement très inférieur à P_c) et génère des individus mutés $P0$. Le niveau d'adaptation des enfants ($C1$, $C2$) et des individus mutés $P0$ sont ensuite évalués avant insertion dans la nouvelle population. Différents critères d'arrêt de l'algorithme peuvent être choisis [19] :

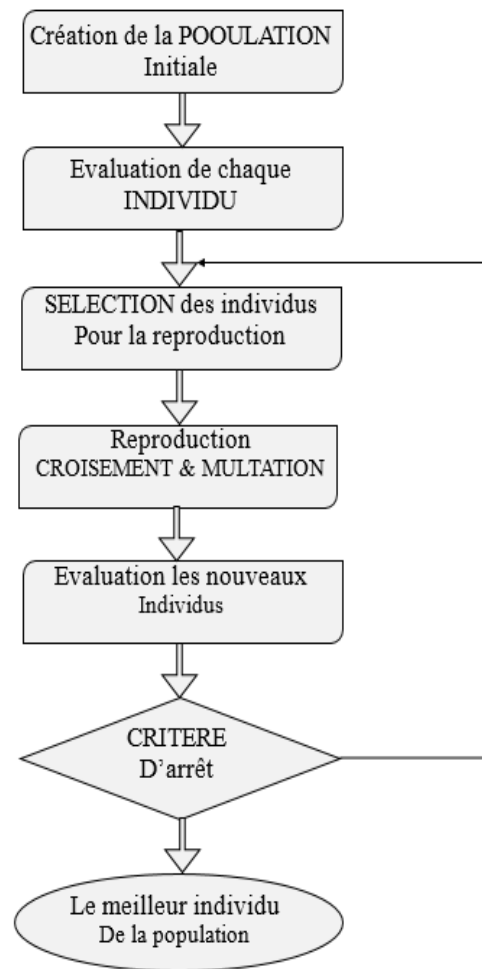


Figure IV. 2: Organigramme d'un algorithme génétique.

a) Codage

Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre un allèle "réel" et sa représentation codée).

Un chromosome est une suite de gènes, on peut par exemple choisir de regrouper les paramètres similaires dans un même chromosome (chromosome à un seul brin) et chaque gène sera repérable par sa position : son locus sur le chromosome en question. Il y a trois principaux types de codage utilisables, et on peut passer de l'un à l'autre relativement facilement [19]:

- Le codage binaire : c'est le plus utilisé. Chaque gène dispose du même alphabet binaire $\{0,1\}$. Un gène est alors représenté par un entier long (32 bits), les chromosomes qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes [19].

- Le codage réel : cela peut être utile notamment dans le cas où l'on recherche le maximum d'une fonction réelle.
- Le codage de Gray : dans le cas d'un codage binaire on utilise souvent la "distance de Hamming" comme mesure de la distance de similarité entre deux éléments de population. Cette mesure compte les différences de bits de même rang de ces deux séquences [19].

b) Sélection

La sélection est un processus qui consiste à choisir parmi tous les individus de la population ceux qui vont participer à la construction d'une nouvelle génération où ce choix est basé essentiellement sur la valeur de la fonction d'adaptation de chaque individu. Un membre ayant une grande valeur de la fonction objective aura plus de chance d'être sélectionné pour participer à la reproduction de la prochaine génération. Il y'a différentes méthodes de sélection telle que la sélection par roulette, sélection par rang et l'élitisme [19].

c) Croisement (crossover)

Le croisement utilisé par les algorithmes génétiques est la transposition informatique du mécanisme qui permet, dans la nature, la production de chromosomes qui héritent partiellement des caractéristiques des parents. Son rôle fondamental est de permettre la recombinaison des informations présentes dans le patrimoine génétique de la population. On peut noter que le nombre de points de croisements ainsi que la probabilité de croisement P_c permettent d'introduire plus ou moins de diversité. En effet, plus le nombre de points de croisements sera grand et plus la probabilité de croisement sera élevée plus il y aura d'échange de segments, donc d'échange de paramètres, d'information. Plus le nombre de points de croisements sera petit, plus la probabilité de croisement sera faible et moins ce dernier apportera de diversité [19].

d) Mutation

L'opérateur de mutation apporte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité de parcours d'espace. Cette propriété indique que l'algorithme génétique sera susceptible d'atteindre tous les points de l'espace d'état, sans pour autant les parcourir tous dans le processus de résolution. Ainsi en toute rigueur, l'algorithme génétique peut converger sans croisement, et certaines implantations fonctionnent de cette manière. Les propriétés de convergence des algorithmes génétiques sont donc fortement dépendantes de cet opérateur sur le plan théorique [19].

5. Poursuite adaptative basée sur les algorithmes génétiques

La fonction de modèle d'écho gaussien est utilisée comme dictionnaire de l'algorithme MP. MP recherche la fonction de modèle d'écho gaussien la mieux adaptée au signal original. Ensuite, cette fonction peut être soustraite du signal original pour obtenir le résidu du signal. Les paramètres de la fonction sont évalués par l'algorithme génétique. La fonction d'évaluation joue un rôle important dans le développement d'une bonne simulation dans l'algorithme génétique. L'idée principale de l'algorithme proposé est que l'atome g_m possédant le produit interne avec le vecteur résiduel, à savoir $\langle R_m f, g_m \rangle$, est considéré comme une fonction d'aptitude de l'algorithme génétique. Par conséquent, la fonction d'aptitude est définie comme suit [17] :

$$F = \langle R_m f, g_m \rangle \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{IV.11})$$

C'est-à-dire trouver l'atome g_m possédant le plus grand produit intérieur avec $R_m f$ en utilisant un algorithme génétique. L'atome g_m est défini comme [18]:

$$g_m(t) = K_m \beta_m e^{-\alpha_m(t-\tau_m)^2} \cos(2\pi f_{ct}(t - \tau_m) + \phi_m). \quad (\text{IV.12})$$

K_m Est le coefficient normalisé.

$$K_m = \frac{g_m(t)}{\sqrt{\|g_m(t)\|}} \quad (\text{IV.13})$$

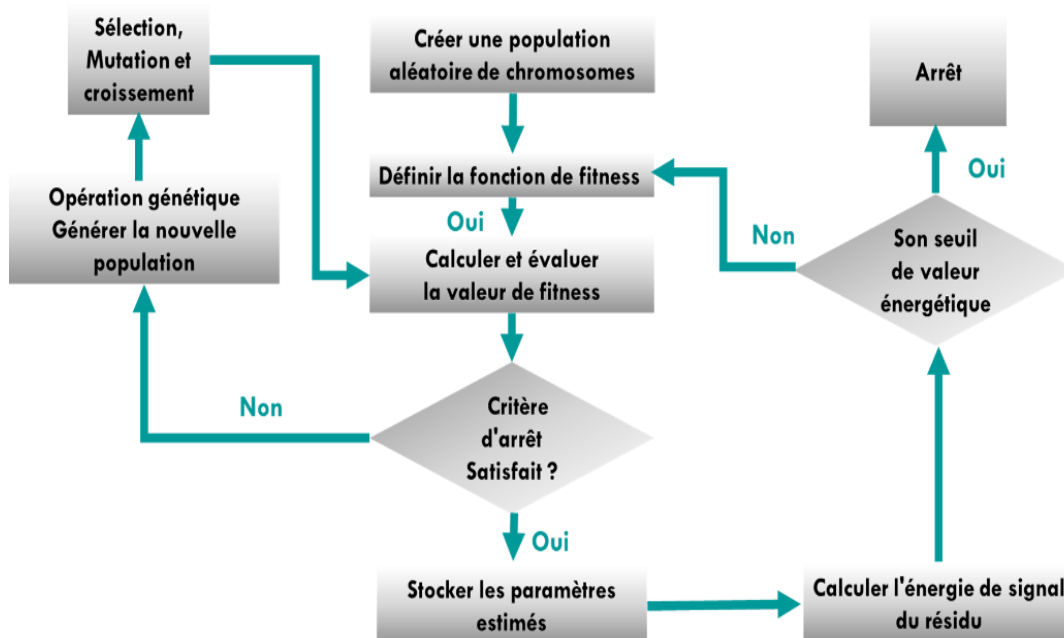


Figure IV. 3: Diagramme de la poursuite adaptative basée sur les algorithmes génétiques.

L'algorithme MP basé sur l'AG peut être résumé par les étapes de calcul suivantes :

- (1) Créer une population aléatoire de chromosomes.
- (2) Définir la fonction d'aptitude.
- (3) Calculer la valeur d'aptitude pour tous les individus.
- (4) Évaluer la valeur d'aptitude, si elle satisfait à la règle d'arrêt, passer à l'étape 7, sinon, continuer.
- (5) Appliquer l'opérateur de croisement sur les individus de la population.
- (6) Appliquer l'opérateur de mutation aux individus de la population.
- (7) Générer la nouvelle population, passer à l'étape 2.
- (8) Calculer l'énergie du résidu, si elle est inférieure à la valeur de réglage, puis s'arrêter ; sinon, calculer la nouvelle aptitude passez à l'étape 1.

À l'étape 8, la mise à jour de la fonction d'aptitude de l'AG est basée sur la formule (6). Le diagramme de la méthode proposée est présenté à la figure (IV.3).

6. Simulations et résultats

Le programme fait la décomposition MP sur une onde acoustique S de taille (l, n) suivant un dictionnaire Gabor D dont les paramètres de ces atomes sont estimés par les algorithmes génétiques. L'algorithme s'arrête après k itérations ou dès que l'énergie $E(r)$ du reste est telle que l'on ait $E(r) < \epsilon * E(s)$, où $E(s)$ désigne l'énergie du signal. La variable de sortie Y est un signal de taille $(1, n)$ qui est une approximation de l'onde S . $teta = [\delta, \tau, f_c, \phi, \beta]$.

a) Cas 1 : Cible unique

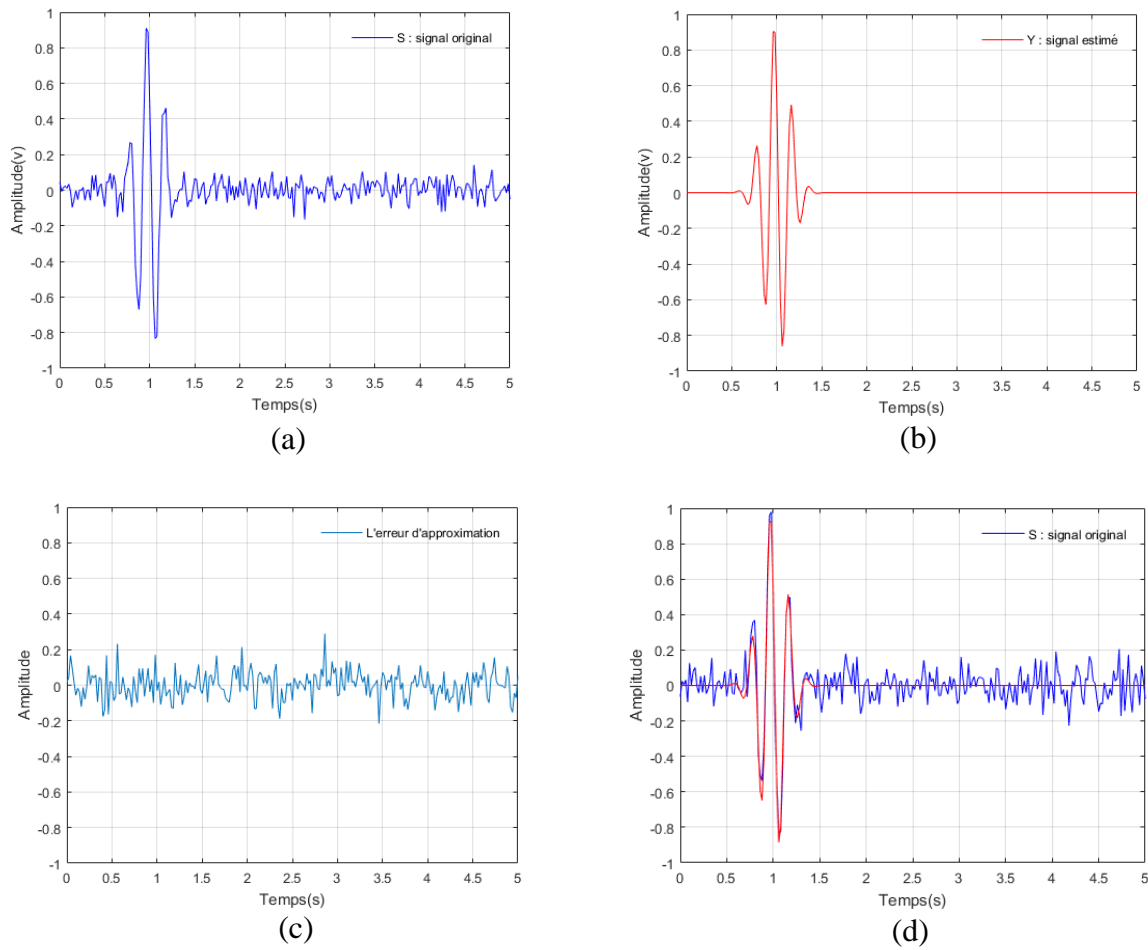


Figure IV. 4: Application de l'algorithme MPGA pour une cible unique.

(a) signal original, (b) signal estimé, (c) erreur d'approximation et (d) signal original et son estimé.

Paramètres du signal (S1)	Valeurs du signal original	Valeurs du signal estimé
Facteur α (MHz) ²	25	25.4980
Temps de vol τ (s)	1	1.0004
Fréquence f_c (MHz)	5	5.0024
Phase φ (rad)	1	1.0208
Amplitude β (v)	1	1.0135

Tableau IV. 1: Signal simulé pour une onde ; MP-GA.

Nous avons constaté que les paramètres optimaux de l'AG sont les suivants : Taille de la population = 100, Générations maximales = 300, Taux de croisement = 0,7. Tout d'abord, nous utilisons l'algorithme pour estimer les paramètres d'un seul écho gaussien ultrasonique avec la présence de bruit blanc gaussien (WGN). Les paramètres de l'écho gaussien simulé sont les suivants : facteur de largeur de bande $\alpha = 25 \text{ (MHz)}^2$; temps d'arrivée $\tau = 1 \text{ } \mu\text{s}$; fréquence centrale $f_c = 5 \text{ MHz}$; phase $\varphi = 1 \text{ rad}$; amplitude $\beta = 1$. La figure IV montre que l'écho ultrasonore est parfaitement estimé, même lorsque le signal est corrompu par le bruit blanc gaussien (WGN).

b) Cas 2 : Cibles séparées

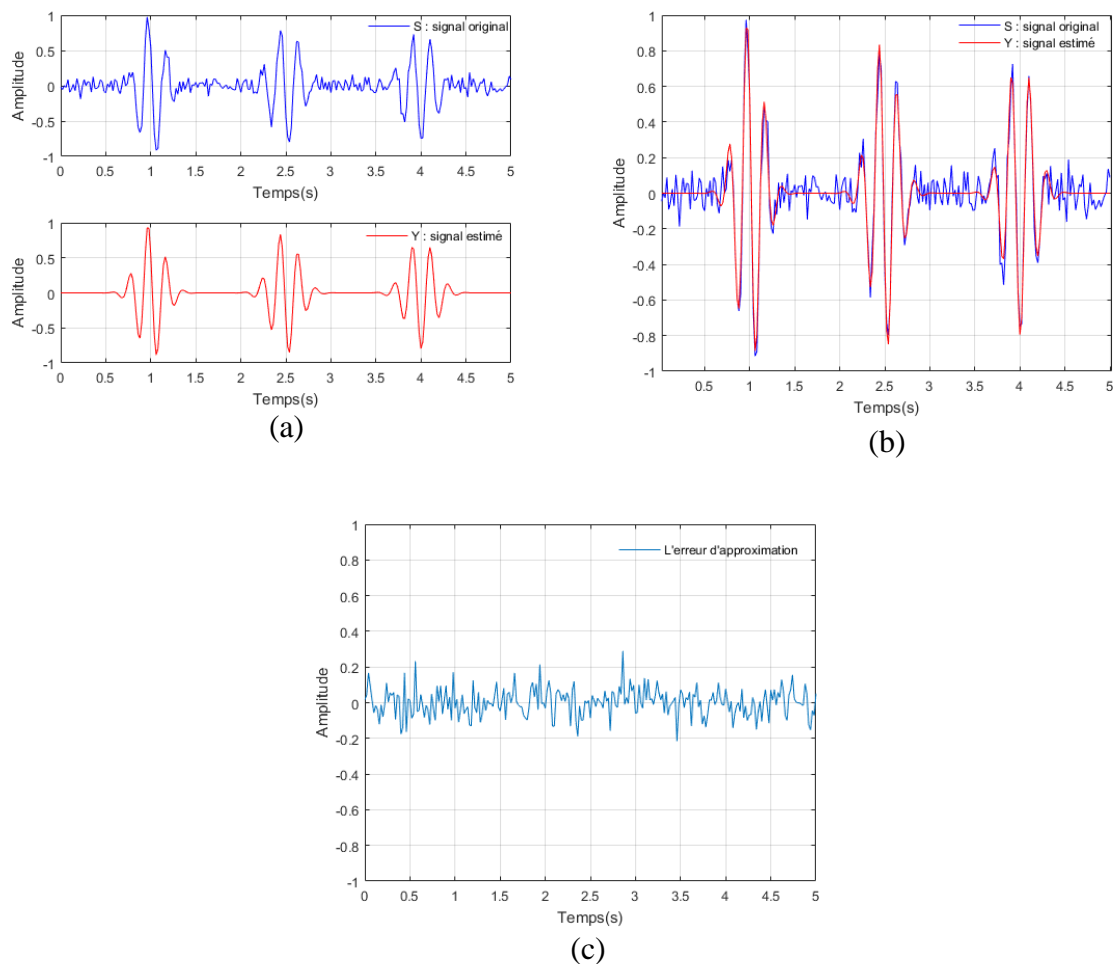


Figure IV. 5: Application de l'algorithme MPGA pour trois cibles séparées
 (a) signal original et signal estimé, (b) signal original et son estimé superposés. (c) erreur d'approximation.

Signal original					Signal estimé			
Signal	Amplitude (v)	Temps (s)	Tau (s)	Distance (m)	Amplitude (v)	Temps (s)	Tau (s)	Distance (m)
S1	0.8828	0.98	0.73	1084.05	0.9729	0.98	0.73	1084.05
S2	0.7729	2.44	1.46	2168.1	0.8292	2.44	1.46	2168.1
S3	0.6124	3.9	0.73	1084.05	0.6401	3.9	0.73	1084.05

Tableau IV. 2: Paramètres du signal pour des cibles séparées, signal original et signal estimé.

Maintenant, nous testons l'algorithme sur une cible acoustique superposée avec WGN. Le signal est constitué de trois cibles dont les vecteurs paramètres sont respectivement [25, 1, 5, 1, 1], [22,5, 2,5, 5, 2, 0,9] et [20, 4, 5, 3, 0,8]. Les cibles acoustiques sont décomposées en trois Fonctions de Gabor. Les paramètres des cibles estimés et les paramètres originaux sont énumérés dans le tableau (IV.3), où l'on peut constater que les paramètres estimés sont très proches des paramètres des cibles originaux, à l'exception du paramètre de phase, car le paramètre de phase est un paramètre non stationnaire (périodique). Le signal d'origine, les trois meilleures fonctions de Gabor correspondantes et l'erreur d'estimation sont présentés respectivement dans les figures (IV.5 : 2.a, 2.b et 2.c). Les deux simulations nous montrent que la méthode donne de bons résultats et qu'il suffit à l'utilisateur de présenter la plage possible des paramètres.

Paramètres de signal original					Paramètres de signal estimé				
Facteur (α)	Tau τ (s)	Fréquence (fc)	Phase (φ)	Amplitude β (v)	Facteur (α)	Tau τ (s)	Fréquence (fc)	Phase (φ)	Amplitude β (v)
25	1	5	1	1	25.83529	1.00039	5.01882	1.00352	1.00941
22.5	2.5	5	2	0.9	21.44313	2.50627	5.03529	2.21137	0.89242
20	4	5	3	0.8	19.46666	3.99960	5.002352	2.99647	0.79231

Tableau IV. 3: Paramètres du signal original et ceux du signal estimé.

c) Cas 3 : Cibles chevauchées

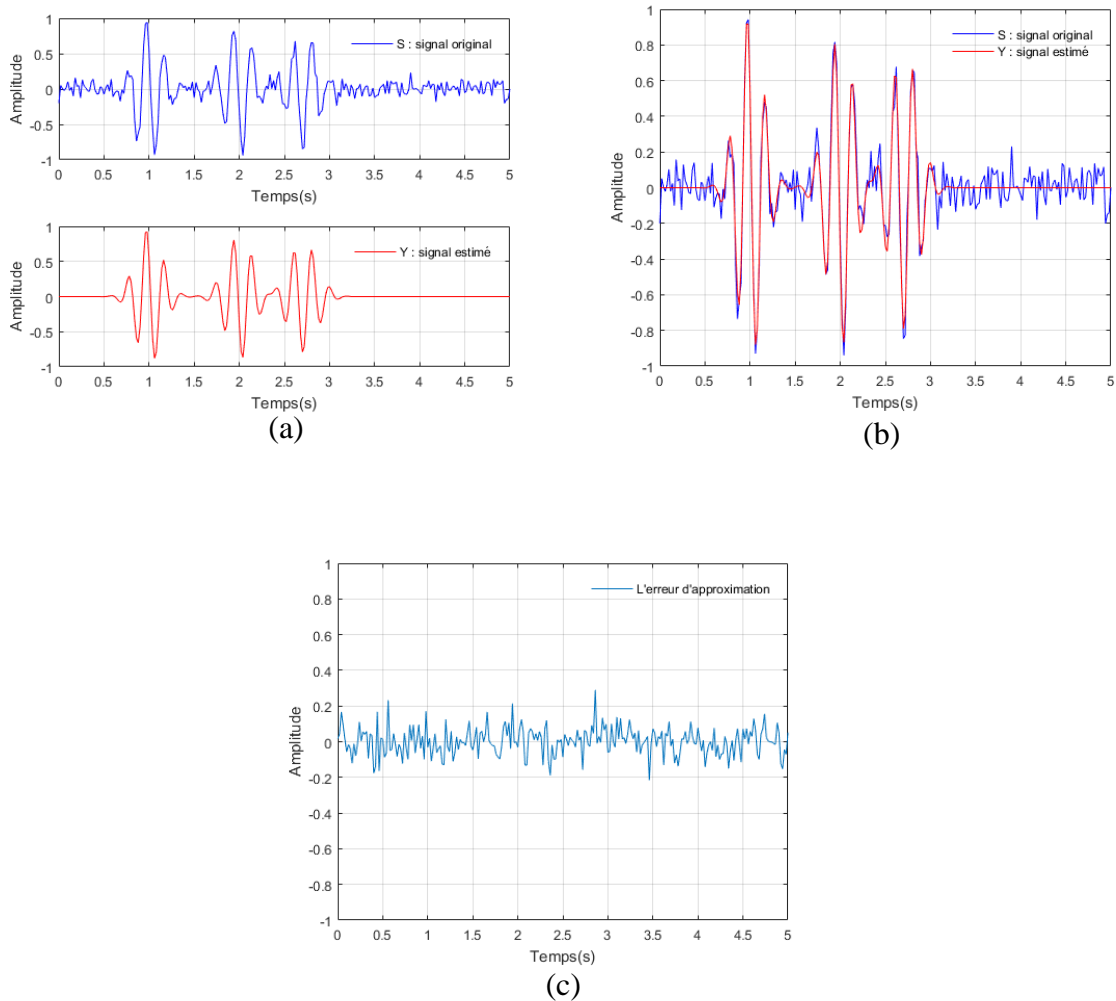


Figure IV. 6: Application de l'algorithme MPGA pour deux cibles chevauchées (a) signal original, signal estimé, (b) Matching Pursuit signal original, signal estimé (c) erreur d'approximation.

Signal original					Signal estimé			
Signal	Amplitude (v)	Temps (s)	Tau (s)	Distance (m)	Amplitude (v)	Temps (s)	Tau (s)	Distance (m)
S1	0.9794	0.96	0.49	727.65	0.8945	0.96	0.49	727.65
S2	0.8688	1.94	0.83	1232.55	0.8604	1.94	0.82	1217.7
S3	0.5911	2.62	0.34	504.9	0.6639	2.60	0.33	490.05

Tableau IV. 4: Paramètres du signal pour des cibles chevauchées, signal original et signal estimé.

Les résultats de la simulation nous permettent de confirmer l'efficacité de l'algorithme d'estimation même dans le cas des cibles chevauchées. La méthode d'estimation utilisant l'algorithme génétique a juste besoin que l'utilisateur présente la gamme possible des paramètres.

7. Conclusion

Dans cette étude, un algorithme basé sur la poursuite adaptative a été introduit pour améliorer l'estimation des paramètres des cibles acoustiques. L'algorithme amélioré peut décomposer le signal original en fonctions de Gabor plus rapidement que la décomposition MP. Les paramètres des fonctions du modèle d'écho gaussien ont été estimés par GA. L'algorithme a été testé par des simulations et les résultats ont prouvé l'efficacité de la méthode sur l'estimation des cibles acoustiques.

Conclusion générale

Après plus d'un demi-siècle de progrès techniques, l'acoustique sous-marine est une technologie incontournable pour l'exploration et l'exploitation des océans. Cette technologie qui est, à l'origine, militaire trouve de plus en plus des utilisations duales dans le domaine civil. La principale clé des progrès actuels de l'acoustique sous-marine se situe dans le développement extraordinaire des technologies de l'information : le traitement numérique des signaux permet de faire progresser les capacités des SONARs de manière importante, grâce à des capacités de calcul et des outils logiciels très performants.

Ainsi, l'application de l'acoustique sous-marine pour la détection et la localisation des objets émergés se présente comme une solution à fort potentiel. On recense en acoustique sous-marine plusieurs méthodes de calculs connu par le traitement de signal, sur lesquelles on a basé dans notre projet de recherche telle que les méthodes d'Hilbert, la transformée on ondelettes, le passage par zéro et l'autocorrélation, Par conséquent, ces dernières ne donnent pas des résultats souhaités, ce qui nous a poussé à chercher autre méthode plus développée présentées dans une poursuite adaptative améliorée par les algorithmes génétiques.

En effet, en utilisant ces algorithmes, les résultats obtenus ont prouvé l'efficacité de cette méthode, par conséquent on a pu atteindre l'objectif de notre projet, on propose les perspectives suivantes :

- Réalisation d'un système de mesure et d'acquisition à l'aide du matériel et composants disponibles en laboratoire NDT de l'université de Jijel.
- Réalisation des mesures réelles à différents cas de cibles.
- Tester les performances des algorithmes développés sur des données réelles.

Références

- [1] Fischetti, Antonio. Initiation à l'acoustique: cours et exercices. 2003.
- [2] <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/acoustique/798> (consulté 30/09/2020).
- [3] <http://www.cochlea.eu/son> (consulté 30/09/2020).
- [4] Samah, D. (2012). Analyse par impédance électromécanique du comportement de transducteurs piézoélectriques ultrasonores en milieu cavitant (Doctoral dissertation).
- [5] http://www.memoireonline.com/03/13/7074/m_Etude-dunechographe-GE-Vivid-3N-Proexpert3.html
- [6] Dubus, B. (1989). Analyse des limitations de puissance des transducteurs piézoélectriques (Doctoral dissertation, Lille 1).
- [7] N.GRENIER-GH, Pellegrin Tripole-Bordeaux, «Imagerie ultrasonore, Edition Eyrolles », France 2003.
- [8] <http://tpe-ultrason.e-monsite.com/pages/iii-les-ultrasons-dans-la-vie-courante.html> (consulté 30/09/2020).
- [9] https://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-eolienmer_pyn/sites/debat.eolienmer_pyn/files/synthese_detudes_environnementales_acoustique_sous-marine_et_aerienne.pdf (consulté 21/10/2020).
- [10] Lurton, X. (1998). Acoustique sous-marine: présentation et applications. Editions Quae.
- [11] F.Djerfi, "techniques avancées de traitement du signal adaptées aux contrôle non destructifs par ultrasons, 'thèse de doctorat, électronique, université Mohamed Seddik ben Yahia – Jijel, Algérie, 2017.
- [12] OUELHA, Samir. Représentation et reconnaissance des signaux acoustiques sous-marins. 2014. Thèse de doctorat. Toulon.
- [13] https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/97444/15/15_chapter%206.pdf (Consulté 30/09/2020).

- [14] YAN, Hua, ZHANG, Yepeng, et YANG, Qi. Time-delay estimation based on cross-correlation and wavelet denoising. In : Proceedings of 2013 Chinese Intelligent Automation Conference. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 841-848.
- [15] FUENTES, RAMON, WORDEN, KEITH, ANTONIADOU, IFIGENEIA, et al. Compressive sensing for direct time of flight estimation in ultrasound-based NDT. In : 11th International Workshop on Structural Health Monitoring. 2017.
- [16] CUTARD, Thierry, FARGEOT, Dominique, GAULT, Christian, et al. Time delay and phase shift measurements for ultrasonic pulses using autocorrelation methods. Journal of applied physics, 1994, vol. 75, no 4, p. 1909-1913.
- [17] ZHANG, Qi, YANG, Guang, et QUE, Peiwen. Ultrasonic signals processing base on parameters estimation. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2009, vol. 45, no 1, p. 61-66.
- [18] SAHNOUN, Souleymen. Développement de méthodes d'estimation modale de signaux multidimensionnels. Application à la spectroscopie RMN multidimensionnelle. 2012. Thèse de doctorat.
- [19] TERKI, AMEL. Contrôle Flou-Génétique Hybride d'un Moteur BLDC dans un Système de Pompage photovoltaïque. 2011. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [20] BARTHELEMY, Quentin. Représentations parcimonieuses pour les signaux multivariés. 2013. Thèse de doctorat.

ملخص

الموجات الصوتية هي الوسيلة الوحيدة للتحقيق والبت لمسافات طويلة التي يمكن استخدامها عمليا في البيئة البحرية. وقد أصبحت الصوتيات المغمورة بالمياه، التي ظهرت في بداية القرن العشرين، واحدة من التكنولوجيات الأساسية المستخدمة في استكشاف المحيطات واستغلالها لأغراض علمية أو صناعية أو عسكرية. في هذا العمل، نقدم لمحة عامة عن الموجات الصوتية والتقنيات الكلاسيكية التي تسمح لنا بالكشف عن أهداف الكائنات تحت الماء وتوصيفها، ثم نقدم نتائج تطبيق تقنيات معالجة الإشارات (هيلبرت، دالة المويجات، العبور الصفري، دالة التماثل). وأخيراً، استخدمنا الخوارزميات الجينية وتتبع التكيف MPGا التي أعطتنا نتائج أكثر دقة.

الكلمات المفتاحية: الصوتية، الهدف، الكشف، الصوت، تحت الماء، معالجة الإشارة. الخوارزميات الجينية، تتبع التكيف.

Résumé

Les ondes sonores constituent le seul moyen d'investigation et de transmission à grande distance utilisable en pratique dans le milieu marin. Apparue au début du XXe siècle, l'acoustique sous-marine est devenue une des technologies essentielles utilisées pour l'exploration et l'exploitation des océans à des fins scientifiques, industrielles ou militaires. Dans ce travail, nous présentons une vue générale sur les ondes acoustiques et les techniques classiques qui nous permettent de détecter et caractériser les cibles des objets sous-marins, en présentant ensuite les résultats de l'application des techniques de traitement du signal (Hilbert, ondelette, passage par zéro, autocorrélation). Enfin, nous avons utilisé l'algorithme génétique et la poursuite adaptative MPGا qui nous a donné des résultats plus précis.

Mots clés : acoustique, cible, détection, sonore, sous-marine, traitement du signal, l'algorithme génétique, poursuite adaptative.

Abstract

Sound waves are the only means of investigation and long-distance transmission that can be used in practice in the marine environment. Appearing at the beginning of the 20th century, underwater acoustics has become one of the essential technologies used for the exploration and exploitation of the oceans for scientific, industrial or military purposes.

In this work, we present an overview of acoustic waves and the classical techniques that allow us to detect and characterize the targets of underwater objects, then present the results of the application of signal processing techniques (Hilbert, wavelet, zero crossing, and autocorrelation). Finally, we used the genetic algorithm MPGا which gave us more precise results.

Key words: acoustic, target, detection, sound, underwater, signal processing, genetic algorithm Matching pursuit.