Comité Interrégional Ile de France/Picardie
21, rue Voltaire
93107 Montreuil Cedex
Tél : 01 48 70 92 93 - Fax : 01 48 70 71 90
Hhttp://www.ffessm-cif.fr/

Commission Technique Régionale Ile de France/Picardie
21, rue Voltaire
93107 Montreuil Cedex
Tél : 01.48.70.45.23 - Fax : 01 48 70 71 90
Hhttp://ffessm.ctridf.free.fr

Mémoire d'Instructeur Régional de plongée sous-marine :

Systèmes de communication sans fils appliqués à la plongée sous-marine.

SOUTENANCE DU : 15 DECEMBRE 2007

Sébastien SABATIER

Sommaire

1. Introduction 9
2. Catalogue deS produits disponibles par familles 11
2.1. Les Ordinateurs 11
2.1.1 Les produits de la marque SUUNTO 11
2.1.2 Le VYTEC 11
2.1.3 Le D9 12
2.1.4 Les produits de SCUBAPRO - UWATEC 13
2.1.5 Le model GALILEO 13
2.1.6 Le model SMART Z 14
2.1.7 Le model SMART TEC 15
2.1.8 Le model ALADIN AIR Z 16
2.1.9 Le model ALADIN AIR NITROX 17
2.1.10 Les produits de OCEANIC 18
2.1.11 Le model ATOM 18
2.1.12 Le model VT3 19
2.2. Les systèmes communiquants de type interphonie/videophonie 21
2.2.1 Les produits de la marque NEOTEK 21
2.2.2 Le scubaphone 21
2.2.3 Le UT 3000 22
2.2.4 Les produits de la marque OCEANREEF 23
2.2.5 La gamme Neptune 23
2.2.6 GSM Global Submarine Messenger 24
2.2.7 NACS™ (Neptune Adjustable Communication Support) 25
2.2.8 M105 DIGITAL 26

2.2.9 M105 D MARINER 27
2.2.10 Récepteur M101A 28
2.2.11 School Pack 29
2.2.12 Excursion Pack....30
2.2.13 Le pack Instructeur (NDC PACK)....31
2.3. Les produits de L-3 Communications ELAC Nautik GmbH....32
2.3.1 Le UT 2000D Digital Underwater Communication 32
2.3.2 Le UT 2200DDigital Underwater Communication 33
2.4. Les produits d'AMPHICOM POUR LE LOISIR EN PLONGEE 34
2.4.1 L'Aqua FM....34
2.4.2 Sentier sous-marin interactif....35
2.4.3 Téléphonie sous-marine : système de liaison GSM / Plongeur....36
2.4.4 Fonctionnement de la transmission des sons par les dents....37
2.5. Tomographie acoustique OCEANIQUE (sous-marine) ACTIVE & PASSIVE 38
2.5.1 TAO Active 38
2.5.2 TAO Passive 39
2.6. Les systemes de localistation et/ou d'orientation sous-marin 39
2.6.1 Le système Neverlost d'UWATEC 39
2.6.2 UNDERWATER GPS système mis au point par MARK THOME....41
3. Introduction aux ondes électromagnétiques....44
3.1. Les ondes radio....44
3.1.1 L'onde est une vibration qui se déplace 44
3.1.2 Période, fréquence et longueur d'onde 45
3.1.3 Déplacement d'une onde électromagnétique....47
3.1.4 Champ magnétique et champ électrique....47
3.1.5 Relation entre champ électrique et champ magnétique, impédance intrinsèque du vide....48
3.1.6 Vitesse de propagation....49

3.1.7 Densité surfacique de puissance 49
3.1.8 Polarisation de l'onde 50
3.1.9 L'onde de sol 53
3.1.10 Le sol et les ondes radio 55
3.2. La répartition du spectre....60
3.2.1 EXTRA LOW FREQUENCY (ELF)....60
3.2.2 VERY LOW FREQUENCY (VLF)....60
3.2.3 LOW FREQUENCY (LF)....60
3.2.4 MEDIUM FREQUENCY (MF)....61
3.2.5 HIGH FREQUENCY (HF)....61
3.2.6 VERY HIGH FREQUENCY (VHF) 61
3.2.7 ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) 63
3.2.8 SUPER HIGH FREQUENCY (SHF)....65
3.2.9 EXTRA HIGH FREQUENCY (EHF) 66
4. Application à la plongée SOUS-MARINE....67
4.1. Les limites PHYSIQUES des produits.....67
5. Ma vision des applications et produits futurs dans la plongée sous-marine....71
5.1. Dans la famille des ordinateurs 71
5.2. Dans la famille des systemes d'interphonie communiquants.....72
5.3. Dans la famille des systemes de géolocalisation subaquatique....73
6. Conclusion....74
7. ANNEXE SUR LES NORMES 75

PREFACE :

Avant de dévoiler le contenu de mon mémoire, je souhaite apporter ma reconnaissance à mes deux parrains Florent Roux et Patrick Poincelet pour l'aide et l'encadrement qu'ils ont su m'apporter tout au long de ces deux années de stage.

Synthèse du mémoire

CONTEXTE :

Ce document constitue le mémoire rédigé dans le cadre du cursus pour le titre d'instructeur régional de plongée sous-marine au sein de la FFESSM. Pour information mon entrée en tant qu'instructeur régional stagiaire date de janvier 2006.

OBJECTIFS :

Ce document vise à fournir des explications compréhensibles aux différents moyens de communications électroniques sans fils qui existent aujourd'hui dans le cadre de la plongée sous-marine.

L'utilisation d'équipements électroniques sans fils devient de plus en plus courant en plongée et le plongeur devient également de plus en plus exigeant sur ces moyens qui apportent un confort et une assistance des plus précieux.

Ce document est structuré en plusieurs chapitres dont les objectifs sont les suivants :

• **La première partie est consacrée à un inventaire, non exhaustif bien sûr, des appareils disponibles pour le grand public avec quelques produits utilisés dans le domaine militaire voire « off shore ».** L'objectif de ce chapitre est de dresser un petit catalogue de ce qui se fait aujourd'hui pour mieux comprendre et appréhender ce qui se fera peut être demain.

• **Le second partie est consacré à la propagation des ondes en milieu Subaquatique.** Cette partie qui est beaucoup plus technique fait appel à mes compétences d'Ingénieur en électronique spécialisé dans les techniques de radiocommunications.
Je me suis particulièrement attaché à ne pas descendre trop bas dans la granularité technique afin de ne pas désintéresser les non-spécialistes dans le domaine.
Le but n'étant pas d'étaler des connaissances mais d'expliquer certains phénomènes qui serviront à la bonne compréhension des contraintes et des limites de la technologie d'aujourd'hui et donc de demain.

• **La dernière partie porte sur les possibles évolutions de la plongée avec l'utilisation de nouveaux produits qui seront peut être disponibles demain dans les magasins de plongée.**
L'apparition de nouveaux produits pour communiquer sous l'eau ou pour s'informer de différents paramètres pendant une plongée entraînera certainement des nouvelles réflexions sur le contenu des matières enseignées par nos Moniteurs.

METHODOLOGIE :

La méthode utilisée pour répondre aux différentes questions a été la suivante :

- Rechercher les éléments existants dans la bibliographie. Cette bibliographie, peu abondante pour le domaine civil, est issue de revues scientifiques mais surtout d'éléments récupérés sur Internet.

- Analyser ces éléments et les traduire en langage compréhensible.

- Procéder à une analyse théorique des questions (ex. : Pourquoi quand je parle dans mon détendeur mon allocution reste peut compréhensible ?) en se basant sur des connaissances en anatomie et sur des mécanismes liés à l'intelligibilité de la parole en milieu subaquatique et sur le vécu de plongeur, les réponses seront au plus près de notre activité et de ses contraintes.

- Lorsque cela était possible, contacter des fabricants ou des industriels pour avoir leur avis sur la question afin de compléter l'étude menée.

RESULTATS :

L'objectif n'est pas d'inventer un nouveau produit qui révolutionnera le monde de la plongée mais tout simplement de mieux comprendre les évolutions technologiques liées à la plongée, avec les contraintes d'utilisation des nouveaux produits et nos obligations futures face à la sécurité et au confort qui sont de plus en plus dominants dans notre activité sportive de loisir.

On pourrait imaginer qu'un jour, un moniteur équipé d'un système de sécurité *« de rappel automatique de plongeurs »* pourrait en cas d'assistance à un plongeur en difficulté, faire remonter le reste de la palanquée sur simple déclenchement d'une commande sur son ordinateur. Cette commande transmettrait par les ondes aux autres ordinateurs, l'ordre de gonfler automatiquement les gilets stabilisateurs des plongeurs de la palanquée, pour ainsi les faire remonter à la vitesse préconisée par leur instrumentation personnelle.

Ce qui aurait pu, il y a quelques années encore, apparaître comme de la fiction devient aujourd'hui des préoccupations de plus en plus importantes sur la sécurité des plongeurs.
Un exemple qui est proche de notre activité et en relation avec les systèmes de communication sans fils, ce sont les VHF Marine avec le système d'Appel Sélectif Numérique ASN (ou DSC en anglais) qui en cas de déclenchement pour une procédure de secours envoie une série d'informations sur le nom du bateau, son N° d'immatriculation et ses coordonnées GPS afin que les secours puissent l'identifier et le localiser instantanément, encore une fois la technologie se met au service de la sécurité des hommes.

PERSPECTIVES :

Les perspectives les plus intéressantes concernent, je pense, les systèmes de communications entre plongeurs au sein d'une même palanquée voir inter palanquée et entre la surface et la palanquée.

En priorité, il semble important de **lancer une réflexion plus approfondie** que celle présentée dans ce document sur **l'impact que pourraient avoir ses nouveaux types d'équipements dans la plongée loisir** (ex. : Talkie Walkie du plongeur).

L'enseignement des techniques de communication en situation devrait alors faire partie intégrante des cursus des plongeurs.
En effet, la banalisation de ce type d'équipements permettrait d'aborder un cours à des débutants de manière très différente, en pouvant par exemple donner des correctifs immédiatement lors de l'exercice…

A minima, il serait profitable à l'ensemble de la communauté des plongeurs de communiquer sur ces nouveaux matériels afin de présenter et d'expliquer leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs avantages et inconvénients, avec pourquoi pas des tests à l'appui.

Un article dans la revue officielle de la Fédération Française d'Etude et de Sports Sous-Marin pourrait être un bon moyen de remplir cet objectif.

1. INTRODUCTION

Le choix du sujet de mémoire dans le cadre du cursus obligatoire d'un l'instructeur stagiaire reste une phase difficile pour deux raisons :

1) Trouver un sujet qui soit nouveau et qui n'a pas été déjà traité par le passé, grâce à l'aide de mes parrains et du référentiel disponible à la CTR, j'ai pu proposer une idée qui je pense suscitera l'intérêt de tout plongeur expérimenté ou pas.

2) Mettre à contribution ses propres compétences ou son domaine d'expertise afin d'avoir une réelle valeur ajoutée, en cherchant comment cette expertise pourrait être ramenée ou appliquée à la plongée sous marine. A l'inverse, la principale contrainte sera de bien délimiter la profondeur de cette expertise qui ne doit pas prendre le dessus sur « l'application à la plongée » afin de ne pas tomber dans un discours d'expert qui pourrait décourager l'auditoire.

Il est vrai que durant ces derniers mois on m'a souvent demandé quel était mon sujet de mémoire pour le titre d'instructeur régional de plongée sous-marine. A la réponse : «SYSTEMES DE COMMUNICATION SANS FILS APPLIQUE A LA PLONGEE SOUS-MARINE » j'ai souvent récolté un intérêt assez enthousiasmant de la part de mon interlocuteur.

Parfois il m'a même été demandé de pouvoir disposer d'une copie du mémoire une fois la soutenance passée.

Ces réactions m'ont aidé dans la définition des objectifs du présent mémoire ainsi que dans sa rédaction. En effet, certaine remarque constitue soit une question à laquelle il faudra répondre, soit un écueil à éviter en tout état de cause il faudra faire simple et compréhensible.

L'objectif de ce mémoire est donc de présenter un semblant de « catalogue » des produits du marché disponibles aujourd'hui dans le cadre de la plongée, d'expliquer comment ces équipements communiquent entre eux, de faire comprendre les limites physiques si elles existent de ces appareils et enfin de d'évoquer quels pourraient être les futurs développements qui intéresseront les plongeurs de demain.

Pour atteindre cet objectif j'ai fait la liste (non exhaustive) des questions qui vont aider à structurer mon mémoire.

Cette liste est la suivante :

- Quels sont les produits disponibles sur le marché de la plongée de loisirs voire professionnel/militaire ?

- Quel est le minimum d'explication théorique à donner pour la bonne compréhension des phénomènes physiques ?

- Quelles sont les contraintes, les limites d'utilisation dans le cadre de la plongée ?

- Pourquoi certaines technologies ne pourraient pas être appliquées à la plongée comme le Wi-Fi(2) ou le WiMax(3) ou encore le Bluetooth(1) ?

- Qu'est ce qui pourrait séduire le plongeur dans un avenir proche voire devenir indispensable comme aujourd'hui l'ordinateur de plongée ?

Les réponses à ces questions sont bien entendues plus ou moins développées en fonction de l'intérêt même de la question, de la bibliographie exploitable pour répondre à la question et de mon expertise personnelle, mais également de mon sentiment d'être capable de formuler une réponse simple, en relation directe avec la plongée sous-marine.

Smiley d'intro

2. CATALOGUE DES PRODUITS DISPONIBLES PAR FAMILLES

2.1. LES ORDINATEURS

2.1.1 Les produits de la marque SUUNTO

2.1.2 Le VYTEC

Le VYTEC est l'appareil le plus perfectionné de la gamme Suunto. Le VYTEC a trois modes opératoires : mode air pour la plongée à l'air uniquement, le mode nitrox pour la plongée avec des mélanges suroxygénés et un mode profondimètre/timer. Il intègre la gestion de la pression de la bouteille sans tuyau (avec son émetteur), la gestion de trois mélanges nitrox contenant entre 21% et 99 % d'oxygène. Possibilité de changer de mélange pendant la plongée et le calcul de saturation se fait en fonction du mélange choisi. Il permet de prérégler trois mélanges différents. L'appareil surveille le niveau de toxicité de l'oxygène en plus du calcul de sursaturation en azote. Le VYTEC ne permet pas de changer de mélange si les valeurs de PPO2 ne sont pas cohérentes. Possibilité de réglage personnalisé. Pour les plongeurs expérimentés, le modèle RGBM peut être modifié en cas de plongées répétitives

2.1.3 Le D9

Premier ordinateur à intégrer un compas électronique et une transmission des informations de pression sans flexible, en employant l'émetteur sans fil facultatif de Suunto D9, le plongeur surveille la pression de bouteille et les données de consommation d'air au poignet. La pression restante de réservoir est montrée numériquement et graphiquement, et une évaluation de l'air-temps restant est donnée. Ceci permet au plongeur de surveiller l'offre de restant d'air pendant qu'il surveille la profondeur et le temps. La consommation en temps réel d'air est également stockée dans la mémoire.

Le Suunto D9 permet d'utiliser de 1 à 3 mélanges de gaz contenant chacun entre 21 et 100% d'oxygène, permettant le changement des mélanges pendant la plongée. Les calculs de décompression sont effectués par le modèle Suunto RGBM à faible gradient de bulles Deep Stop, qui offre la possibilité de faire des paliers de sécurité ainsi que des paliers profonds. Pour cette raison, l'affichage est possible jusqu'à 200m de profondeur.

En plus des données basiques sur votre plongée, le carnet de plongée de Suunto D9 affiche votre profil de plongée sous forme de graphique, où la température de l'eau de votre plongée courante et la pression dans la bouteille sont analysées à votre poignet. L'échantillonnage de plongée peut être réglé à 1 seconde.

2.1.4 Les produits de SCUBAPRO - UWATEC

2.1.5 Le model GALILEO

C'est le défi relevé par l'équipe d'ingénieurs UWATEC. Le résultat est Galileo, une plate-forme entièrement nouvelle et innovante, crée par UWATEC, leader du secteur depuis le premier Aladin présenté il y a 20 ans. Galileo par UWATEC est aussi révolutionnaire pour la plongée que les découvertes de Galilée l'ont été pour la science au XVIIe siècle. La science est au coeur de Galileo. Galileo est un nouvel ordinateur à la pointe de la technologie, il offre les fonctions et innovations les plus avancées, pour vous offrir une expérience sous-marine extraordinaire.

- Cardio-fréquence mètre intégré
- Gestion d'air sans flexible
- Compas numérique à mémoire de cap, sans influence du dévers
- Ecran surdimensionné à matrice de points (niveaux de gris)
- Algorithme prédictif multigaz
- Alarmes et avertissements affichés en texte clair
- Interface utilisateur très simple
- Affichage graphique
- Personnalisation mémoire
- Reprogrammation par mise à jour logiciel par Internet
- Technologie à remplissage d'huile

2.1.6 Le model SMART Z

L'ordinateur Smart Z Uwatec vient s'insérer entre le Smart Com et le Smart Tec et remplace les aladins Air Z, Air Z Nitrox et Air Z 02. Ordinateur air et nitrox de 21% à 100% à gestion d'air par émetteur, écran LCD à fort contraste, interface infrarouge, pile longue durée.

Se comporte comme un profondimètre technique jusqu'à 120 mètres tout en gardant la possibilité d'afficher les informations sur la bouteille. Personnalisation des avertissements sonores. Les avertissements sonores peuvent être activés ou désactivés selon les préférences personnelles. Planificateur de plongée.
Permet de saisir n'importe quel intervalle de surface pour des plongées successives afin d'améliorer la planification. Rétroéclairage réglable par l'utilisateur.
La durée du rétroéclairage est réglable (2 à 12 secondes) pour optimiser la durée de vie de la pile. 100 heures de données de plongée avec une fréquence d'échantillonnage de 4 secondes.

La capacité considérable de la mémoire vous garantit que vous ne perdrez jamais de donnée de plongée. La haute fréquence d'échantillonnage permet de conserver tous les détails sur les plongées.

2.1.7 Le model SMART TEC

Ordinateur de plongée multimélanges permettant jusqu'à trois mélanges distincts. Le Smart Tec peut gérer trois bouteilles de façon indépendante, chaque mélange pouvant être contrôlé séparément au cours de la plongée. Vous êtes libre de choisir le niveau de réserve utilisé pour les calculs de RBT entre 20 et 70 bars en passant par votre Smart trak. Le Smart Tec possède également un mode profondimètre, le rétro éclairage réglable par l'utilisateur et il est livré avec un compas de poignet C1 clipsable et un émetteur.

2.1.8 Le model ALADIN AIR Z

L'Aladin Air Z est un ordinateur de plongée interactif, que l'on fixe au poignet, avec son émetteur, il est prévu pour utiliser le modèle de décompression adaptable développé par le Professeur Bühlmann en collaboration avec Uwatec AG. Jusqu'à ce que l'on pense à adapter ce modèle à l'Aladin Air Z, de nombreux processus physiologiques du plongeur n'avaient jamais été pris en considération par les ordinateurs de plongée. Maintenant, il est possible de spécifier un paramètre de décompression basé sur le comportement du plongeur et les conditions extérieures. Pour des plongées normales, sans incidents particuliers, les données de décompression ne sont pas plus conservatrices qu'avec les ordinateurs de plongée conventionnels. Avec l'Aladin Air Z, si un plongeur se trouve dans une situation périlleuse, l'adaptation du modèle de décompression peut être nécessaire, donnant alors au plongeur un bref palier de décompression. L'Aladin Air Z contrôle constamment le comportement du plongeur en analysant sa vitesse de remontée, l'énergie dépensée et la fréquence respiratoire. L'Aladin Air Z contrôle également la température de l'eau, le niveau de micro bulles et les profils à risque, pour adapter le modèle Bühlmann aux circonstances réelles de la plongée.

2.1.9 Le model ALADIN AIR NITROX

L'Aladin Air Z Nitrox utilise un « compteur oxygène » pour surveiller la toxicité de l'oxygène. Avec cet ordinateur, vous pouvez plonger à l'air (21% O2), ou au Nitrox de 22% à 50% d'oxygène. Et vous n'aurez pas besoin d'un PC pour modifier le pourcentage d'oxygène, ce qui vous permet de faire plusieurs plongées avec des mélanges différents dans la même journée. Les durées de plongée seront simplement recalculées en fonction du pourcentage indiqué. L'Aladin Air Z Nitrox mémorise une pression partielle d'oxygène maxi programmée avec votre PC. Il est capable de plus de surveiller et de calculer votre consommation de gaz, et de réajuster le calcul d'absorption d'oxygène en fonction de vos efforts. L'Aladin Air Z Nitrox intègre un planificateur de plongée pour que vous puissiez prévoir vos plongées à l'avance. Vous pouvez plonger à l'air le matin et au Nitrox l'après-midi, en ayant la possibilité d'optimiser votre mélange et l'intervalle de surface pour allonger votre plongée.

2.1.10 Les produits de OCEANIC

2.1.11 Le model ATOM

L'ordinateur Atom d'Océanic est une montre (de grande taille) utilisable en gestion d'air ou en gestion Nitrox. C'est également un profondimètre avec chronomètre d'immersion. Cet appareil peut s'utiliser en gestion d'autonomie avec un et jusqu'à trois émetteurs de façon à pouvoir utiliser 3 mélanges Nitrox différents. Le modèle mathématique est en base Algorithme de Haldane modifié, le calcul se fait sur 12 compartiments. Les commandes se font par boutons poussoirs, il est doté d'alarmes sonores et clignotantes et possède deux vitesses de remontée (à plus de 18 mètres: 18 m/mn ou 9m/mn de 18 mètres à la surface). Il est livré d'origine avec un émetteur et son interface. Un prix très attractif pour un ordinateur de cette gamme.

2.1.12 Le model VT3

Ordinateur de plongée avec gestion d'air par sonde.

- Algorithme : Haldane modifié DSAT Roger & Powel.
- Nombre de tissus : 12 (de 5 à 480 min).
- Vitesses de remontée : 18 m/min de prof. Max. à 18 m et 9 m/min de 18 m à la surface.
- Profondeurs des paliers de décompression : 3, 6, 9, 12, 15 et 18 mètres, plus temps de palier.
- Batterie : Lithium 3,6V CR2450 remplaçable par l'utilisateur.
- Conservation des données si remplacement de la batterie < à 8 s.
- Autonomie : Jusqu'à 100 plongées d'une heure.
- Mise en route : Automatique par immersion ou manuelle.
- Commandes : 2 boutons-poussoirs.
- Profondeur maximum d'utilisation 99,9 m plongée 120 m profondimètre.
- Altitude maximum d'utilisation 4200 m.
- Compensation de l'altitude : automatique.
- Plage de températures : 0-60°.
- Gestion de décompression : saturation et désaturation complète % 02.

- Pp02 par défaut : Réglable de 1,2 à 1,6 (par incrément de O,1).
- Mémoire de profil : fréquence d'enregistrement 1pt/ 2-15-30-60s.
- Mode profondimètre : 120 m.
- Appel d'écran en immersion : Oui (4 max.)
- Appel d'écran par bouton poussoir.
- Rétro-éclairage : Oui, par bouton-poussoir (durée réglable).
- Air/Nitrox/O2 : 3 mélanges de 21 à 100 % ; ces 3 mélanges peuvent être gérés par sondes séparément..
- Extinction automatique : 2 h si non utilisé /24 h après la dernière plongée.
- Choix système d'unités : Oui (Mètre/°C - Feet/°F).
- Mode historique : oui.
- Réglage par PC : oui.
- Alarmes sonores déconnectables.
- Alarme visuelles oui DEL.
- Alarme réglable : PO2, profondeur, N2, et O2, pression.

- Gestion autonomie par transmetteur : en option.
- Ecran programmable et dédoublé.
- Palier de sécurité : réglage en temps et profondeur.
- Vitesse de remontée : indicateur analogique.
- Niveau d'absorption N2 : indicateur analogique.
- Niveau d'exposition O2 : indicateur analogique.
- Attente avant envol plus temps total de désaturation.
- Capacité de mémoire : 24 heures de plongées.
- Pression de bouteille : numérique.
- Alarme de pression : visuelle et sonore.
- Autonomie : numérique/analogique.
- Alarme autonomie : visuelle et sonore.
- Logiciel Interface PC : Oui

2.2. LES SYSTEMES COMMUNIQUANTS DE TYPE INTERPHONIE/VIDEOPHONIE

2.2.1 Les produits de la marque NEOTEK

2.2.2 Le scubaphone

Communication sous-marine

Scubaphone

- Comfortable and easy to use
- Increases diver efficiency
- Improves diver safety
- Unsurpassed clarity
- 1+km diver unit range, 3+km surface unit range

General Technical Data:		
	30 KHz Diver Unit (Model 2000D)	30 KHz Surface Unit (Model 2000S)
Operating Frequency	USB 28.5 KHz ±1Hz Standard Carrier Frequency (Other frequencies available)	USB 28.5 KHz ±1Hz Standard Carrier Frequency(Other frequencies available
Modulation	Single Side Band Suppressed Carrier	Single Sideband Suppressed Carrier
Transmitter Activation	PPT (Push -to-talk) with lock/release	PPT (Push -to-talk)
Transmitter Power	1 Watt RMS	5 Watts RMS
Receiver Audio Output Power	1 Watt RMS	2 Watts RMS
Receiver Gain Control	Automatic	Automatic or Manual Selectable by Operator

2.2.3 Le UT 3000

Communication sous-marine

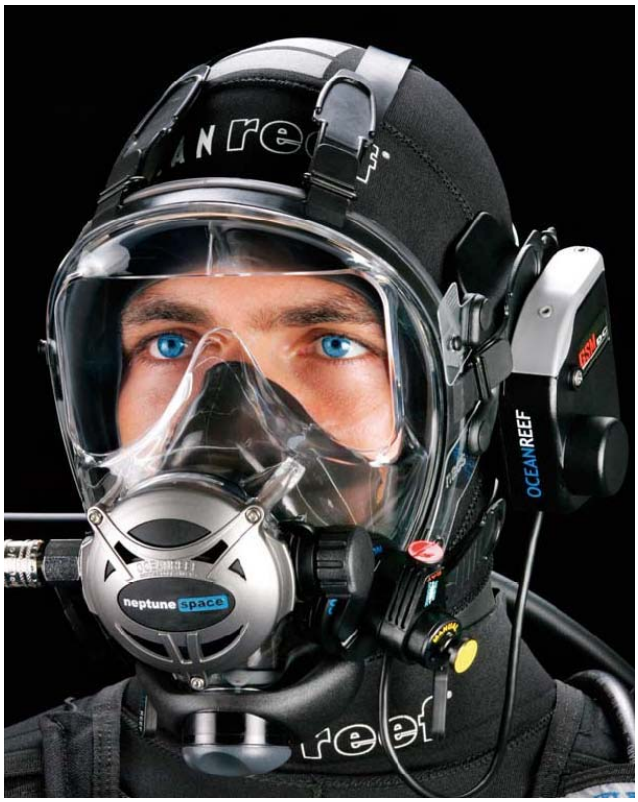
UT 3000

- MULTI-MODE UW-COMMUNICATION
- ANALOGUE AND DIGITAL COMMS
- SECTOR-/ OMNI DIRECTIONAL OPERATION
- UP TO FOUR TRANSDUCER GROUP
- DIGITAL DATA LINK
- SMS TRANSMISSION AND RECEPTION
- PR-DEFINED PHRASE TRANSMISSION
- REMOTE OPERATION

Technical data	
Frequency range	1 kHz to 60 kHz, tuneable in steps of 50 Hz for analogue communication; NATO standard carrier frequency; 6 kHz band at 12 kHz for medium data rate (MDR) digital communication 10 kHz band at 30 kHz for high data rate (HDR) digital communication
Power output	up to 320W at 4 transducer groups, reducible -12 dB, -24 dB, -36 dB
Telephony signal	300 Hz to 3 kHz (audio band)
Telegraphy signal	800 Hz (reduced bandwidth of 1 kHz)
Audio output	1W at 4 Ω
Headphone	50 mW at 600 Ω
Interfaces	Audio In/Out for Intercom, keying and captain's key NMEA Input USB, RJ-45 (Ethernet), RS 232 for external interfacing
Environmental conditions	according to military standards, details on request
Dimensions:	Transmit-/Receive and Control Unit SEB 34:421 x 505 x 294 mm (without shock-mounts) approx. 36 kg
Power supply:	
Mains:	115V AC or 230V AC 50/60 Hz
Anti-condensation heating:	115V AC or 230V AC 50/60 Hz or 160 up to 330V DC
Power consumption:	
Mains:	max. 1200VA (at 320W transmitting power; CW) max. 200VA (receiving mode)
Anti-condensation heating:	approx. 15W

2.2.4 Les produits de la marque OCEANREEF

2.2.5 La gamme Neptune



Depuis les débuts de la plongée sous-marine, les plongeurs ont voulu pouvoir se parler sous l'eau.
Jusqu'à présent, les seuls systèmes de communication audio existants n'étaient disponibles que pour les plongeurs professionnels. Malheureusement, ces systèmes sont également très compliqués, encombrants et chers.
Cependant, Ocean Reef a développé un système de communication simple d'utilisation, léger et à un prix correspondant au budget de n'importe quel plongeur loisir.
Ce système possède plusieurs applications et est utilisable à la fois par les professionnels et par les plongeurs occasionnels. Ces applications peuvent être du type application à la formation à la plongée, les recherches marines, la surveillance sous-marine, les plongées-visites guidées, pour n'en citer qu'une partie. Le système de communications développé par Ocean Reef ajoute une dimension complètement nouvelle à la sécurité en plongée ainsi qu'un grand plaisir en reliant les plongeurs entre eux et avec leurs partenaires en surface.

2.2.6 GSM Global Submarine Messenger

Le "Global Submarine Messeger" (GSM) est un émetteur sous-marin basique. Il ne possède qu'un mode manuel avec transmission par PTT (Push To Talk : « appuyer pour parler ») et réception automatique. Il ne fonctionne que sur un canal. Le GSM possède toutes les caractéristiques du GSM DC™, sauf le DAT™ et les deux canaux.

2.2.7 NACS™ (Neptune Adjustable Communication Support)

Le NACS™ (produit breveté) possède un bras de support ajustable pour les modules de réception type GSM DC™, GSM ou M101A.
Il est installé sur le masque Neptune, du côté gauche de la visière entre les deux lanières haute et basse du masque faciale. Le NACS™ peut être ajusté en inclinaison et en distance entre le module de communication et la visière.

Tous les modèles GSM peuvent être utilisés avec le NACS™.

2.2.8 M105 DIGITAL

Les éléments suivants sont inclus avec le M105 Digital :

- Connexion pour écouteurs
- Contrôle du volume
- Haut-parleur
- Valise étanche avec valve de compensation de pression
- Chargeur
- Connecteur et câble pour source externe 12VDC
- Sac pour câble transducteur
- Accessoires disponibles :
  - Câble pour sortie audio
- Ecouteurs

Le M105 Digital est un instrument de communication entre la surface et le plongeur qui permet au personnel de surface de parler avec les plongeurs qui sont en plongée et inversement. Ce module utilise une batterie 6 VDC, permettant 48 heures de fonctionnement mais peut également être branché sur une source 12V DC. Le système est activé seulement lorsque le transducteur est connecté, empêchant toute perte de puissance indésirable. Pour démarrer la communication, le transducteur doit être immergé sous l'eau ; la longueur standard du câble transducteur est de 30 ft (environ 9m).
La transmission est activée par simple pression sur le bouton du micro, qui émet alors un bip court permettant aux plongeurs de savoir que la transmission est sur le point de commencer. Quand le bouton est relâché, le système revient en mode réception.

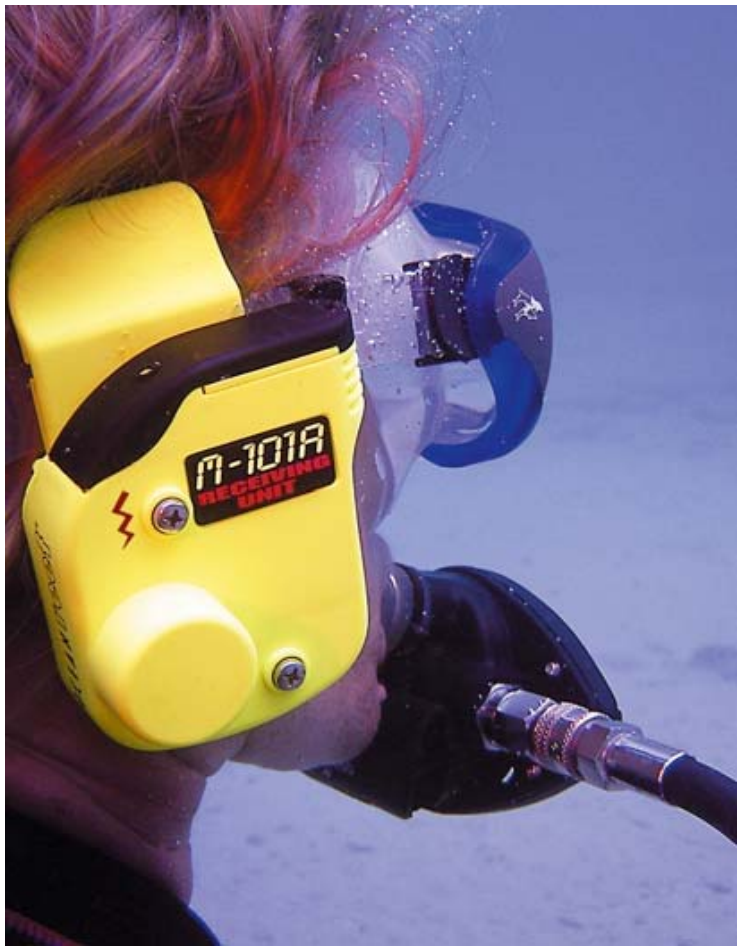
2.2.9 M105 D MARINER

Le M105 D Mariner est un module de communication entre la surface et les plongeurs qui peut être installé à bord d'un bateau.
Le kit est constitué des éléments suivants :

- L'électronique du M105 Digital, assemblé sur un panneau d'aluminium anodisé (il peut être installé horizontalement ou verticalement)
- 10 m de câble et transducteur
- Microphone PTT
- Haut-parleur marin

Le M105 D Mariner possède les mêmes fonctions et caractéristiques techniques que le M105 Digital (voir le tableau ci-après). Cependant, le M105 D Mariner utilise une source d'énergie 12 V. Sur demande le câble et le transducteur peuvent être taillés à des longueurs différentes afin de s'adapter aux installations fixes.
Le M105 D Mariner est un instrument idéal pour les installations fixes des bateaux car il ne s'interconnecte pas seulement avec une source d'énergie mais également à un système de haut-parleur interne.

2.2.10 Récepteur M101A



Le M101A est un module de réception uniquement. Il fonctionne sur la même fréquence que les modules GSM, M105 et tous les autres systèmes de communication d'Ocean Reef existants. Le M101A s'adapte sur toutes les lanières standards de masque, qu'ils soient conventionnels ou intégraux. Le module est activé automatiquement par contact avec l'eau. Le M101A utilise des piles alcalines 9V et a une alarme de « batterie faible » qui émet un bip toutes les 30 secondes quand la pile arrive en fin d'autonomie.
La qualité de réception du M101A et la puissance audio de restitution est tellement puissante qu'il suffit de le décrocher du masque et les autres plongeurs a proximités peuvent aussi écouter la transmission.

2.2.11 School Pack

Conçu pour la formation, la location et les randonnées sous-marines organisées, ce pack inclut les éléments suivants :

- 4 masques Neptune II NIRA
- Set complet d'outils de maintenance
- Des connecteurs de régulation : 4 moyens et 2 petits
- Une cassette vidéo et un manuel
- Une casquette et un T-shirt Ocean REEF
- Des brochures commerciales ainsi qu'un drapeau Ocean REEF
- Un autocollant du Centre Neptune

2.2.12 Excursion Pack

Conçu pour les instructeurs et les randonnées subaquatiques. L'instructeur porte le masque Neptune II NIRA avec le GSM pendant que les élèves plongeurs utilisent le récepteur M101A. Du fait que l'instructeur peut communiquer de façon audible avec les élèves plongeurs sous l'eau, il est possible de corriger les erreurs sans remonter à la surface. Cela permet d'augmenter l'efficacité des cours et le confort des élèves. Le pack inclut les éléments suivants :

- 1 masque Neptune II NIRA ainsi que le GSM associé
- Des connecteurs de régulation : 1 moyen et 1 petit
- Valve air de surface
- Kit d'outils de maintenance
- 4 récepteurs M101A
- Une casquette et un T-shirt Ocean REEF
- Des brochures promotionnelles et un drapeau Ocean REEF
- Un autocollant du Centre Neptune

2.2.13 Le pack Instructeur (NDC PACK)

Conçu pour les instructeurs pour communiquer avec les plongeurs et la surface.

Le pack inclut les éléments suivants :

- 2 masques Neptune II NIRA ainsi que les GSM associés
- Des connecteurs de régulation : 2 moyens et 1 petit
- 2 valves air de surface
- Kit d'outils de maintenance
- Une cassette vidéo et un manuel
- 4 récepteurs M101A
- 2 casquettes pour instructeur et 2 T-shirts Ocean REEF
- Une mallette deluxe multi-compartiments et portable
- Des brochures promotionnelles et un drapeau Ocean REEF
- Un autocollant du Centre Neptune

2.3. LES PRODUITS DE L-3 COMMUNICATIONS ELAC NAUTIK GMBH

2.3.1 Le UT 2000D Digital Underwater Communication

L'UT 2000 est un système acoustique à microprocesseur compact avec multifonctions contrôlées. Il peut être amélioré avec des fonctionnalités de communication numérique. Le L3 communications ELAC Nautik propose un kit de modification qui peut être installé dans le module d'affichage et de contrôle SEE 11 de l'UT 2000.

Avec un faible coût, le kit de modification de l'UT 2000 D permet aux utilisateurs de tester les liens de communication sous-marine numériques sans mettre de côté la sécurité liée à la manière usuelle de communiquer sous l'eau.
Le kit de modification est constitué de :

- Une révision du SEE 11
- Installation d'une nouvelle PCB pour communication numérique
- Installation d'une interface pour connecter le SEE 11 à un PC
- Vérification du système et livraison retour au client.

Le mode standard pour la communication numérique est le MDR (Medium Data Rate) qui permet de transmettre et de recevoir des données via le canal acoustique de communication numérique avec un débit de 2400 bits/s utilisant la modulation MFSK (Multi Frequency Shift Keying).
En option, une communication HDR (High Data Rate) utilisant la modulation QPSK (Quadrant Phase Shift Keying) peut être implémentée ce qui permet d'atteindre

des débits allant jusqu'à 9600 bits/s. D'autres méthodes ou un mode furtif peuvent être implantés sur demande.

2.3.2 Le UT 2200DDigital Underwater Communication

C'est un téléphone subaquatique compact d'urgence pour bateaux de surface et sous-marins.
Il est compatible avec tous les téléphones de communication subaquatiques de l'OTAN (respect des normes STANAG 1074 et 1298), ainsi qu'avec les balises de sonar (respect des normes STANAG 1382). Il a été testé selon les normes de la défense. Transducteur omni-directionnel.
Trois niveaux de transmission de puissance.
Gamme de transmission extensive. Temps de fonctionnement long grâce à la batterie interne.

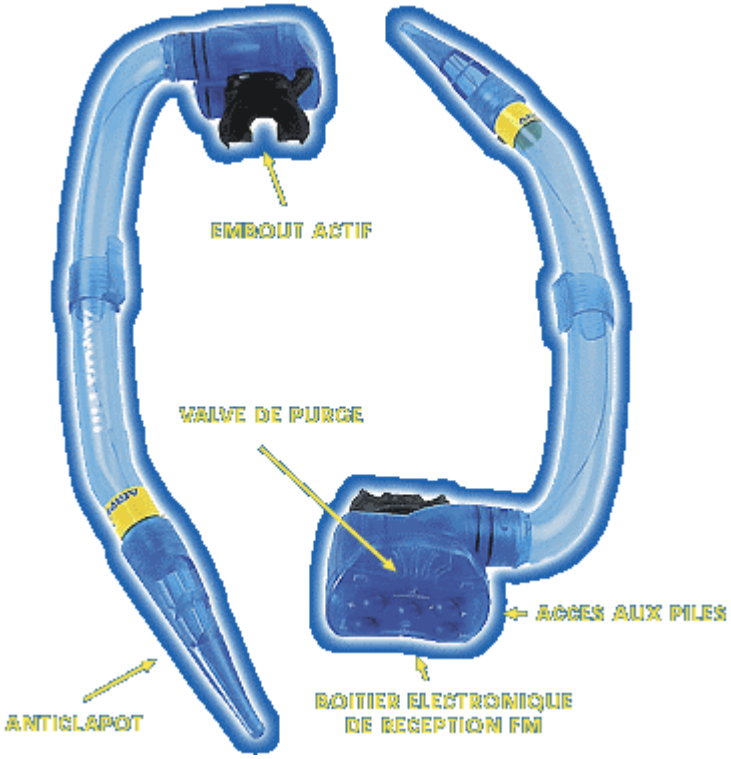
2.4. LES PRODUITS D'AMPHICOM POUR LE LOISIR EN PLONGEE

2.4.1 L'Aqua FM

L'AQUA FM ® d'AMPHICOM ® est un produit innovant et unique au monde.

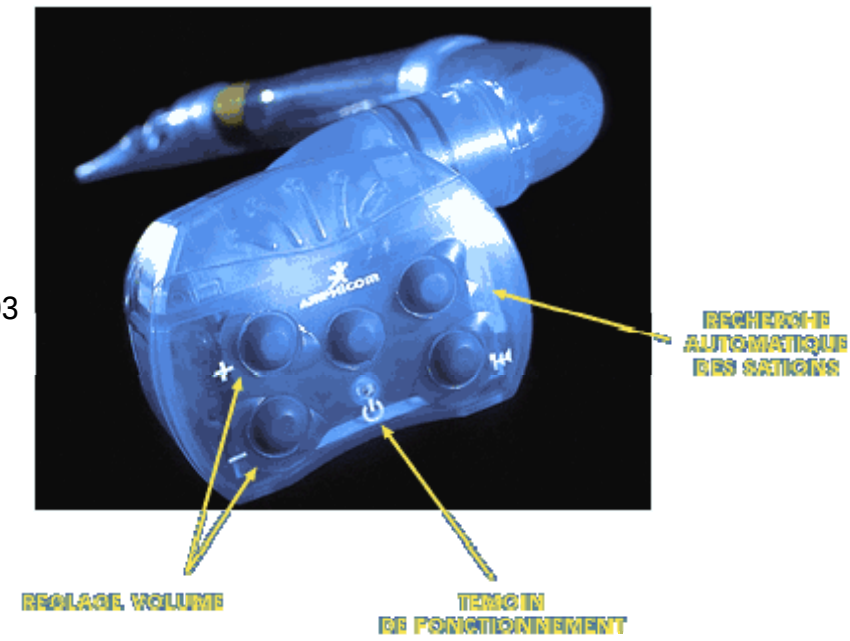
Écoutez la radio tout en nageant ! Détendez-vous en musique, partez à la découverte des fonds marins tout en restant à l'écoute de votre station préférée.

Produit idéal pour la détente ou l'entraînement en piscine et les randonnées aquatiques.



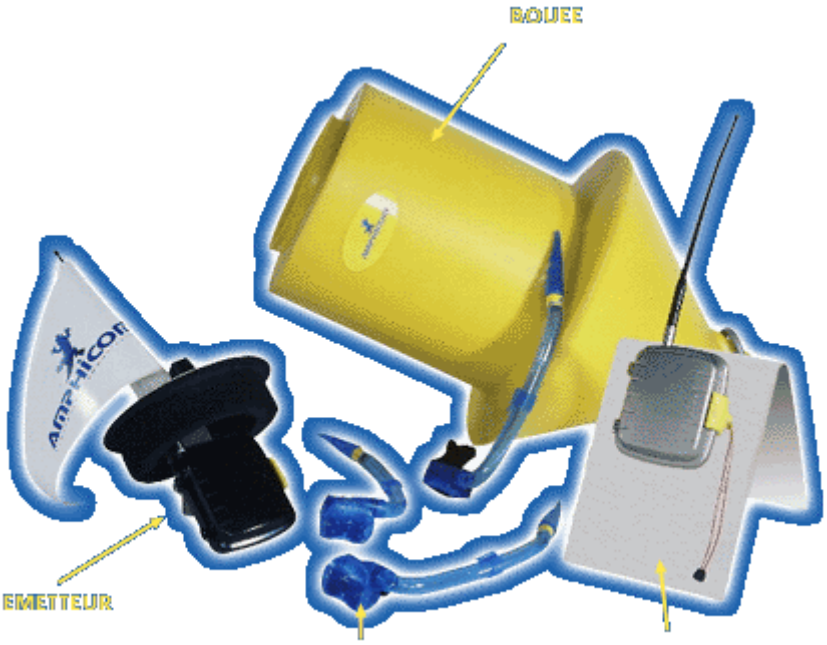
Avantages :

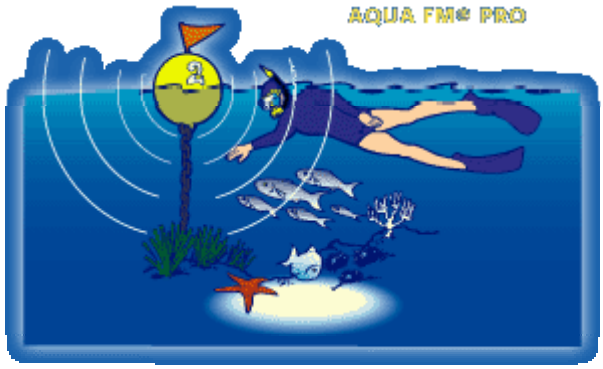
Récepteur radio FM de grande sensibilité
Excellente qualité d'écoute
Compact et léger
Facile à utiliser
Très bonne ergonomie
Excellent confort en bouche
Étanche jusqu'à 10 mètres
Fonctionne avec 2 piles AAA - LR03 1,5 V.



2.4.2 Sentier sous-marin interactif

Le "Sentier sous-marin interactif" permet de créer une expérience originale et enrichissante sur un site aquatique tel qu'un sentier d'initiation au milieu marin. Ce système utilise des bouées équipées d'émetteurs radio autonomes de faible portée. Disposés le long du sentier ou d'un parcours déterminé, ils émettent des messages d'information et de divertissement préenregistrés sur un support numérique. Les visiteurs, qui suivent le sentier à la nage, entendent les messages à l'approche de chaque bouée grâce à l'AQUA FM ® PRO (version pro de l'AQUA FM ®).





Ce système est un excellent moyen de promotion d'un site aquatique. Il est destiné aux responsables de réserves marines et de grands parcs de loisirs aquatiques. Il leur permet de proposer des activités innovantes dans un but ludique et éducatif.

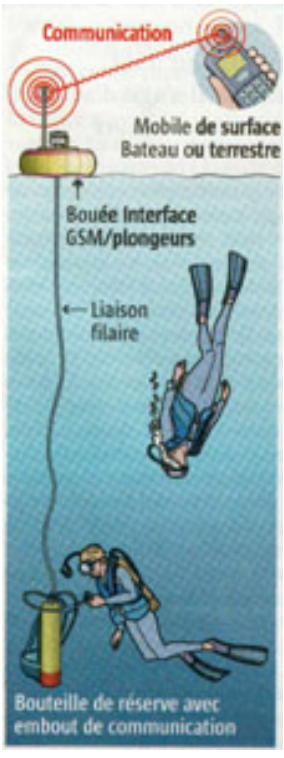
2.4.3 Téléphonie sous-marine : système de liaison GSM / Plongeur

Un nouveau moyen de communication pour les professionnels du travail sous-marin.

AMPHICOM® a développé, en partenariat avec France Télécom et Certicom International, le premier système de liaison GSM / PLONGEUR. Un équipement qui permet une communication bidirectionnelle entre un plongeur en évolution sous l'eau et une personne en surface se trouvant sur un bateau ou plate-forme, la côte voisine ou à des milliers de kilomètres équipée d'un simple mobile GSM.

Sous la couverture d'un réseau GSM, un utilisateur se trouvant à la surface (sur terre ou sur un bateau) établit une communication sans fil avec la bouée interface GSM / PLONGEUR ancrée sur la zone d'évolution des plongeurs. Cette bouée interface assure une liaison bidirectionnelle avec une "station sous-marine". Cette dernière est constituée d'un boîtier électronique relié à l'embout actif AMPHICOM® (embout de communication) monté sur un ensemble bouteille-détendeur.

Dans le cas d'un appel entrant, la "station sous-marine" actionne un flash lumineux et une sonnerie qui attire l'attention du plongeur. Celui-ci, après avoir échangé son embout par l'embout actif AMPHICOM® de la "station sous-marine", actionne un bouton poussoir d'une télécommande pour prendre la ligne. La conversation peut alors commencer.



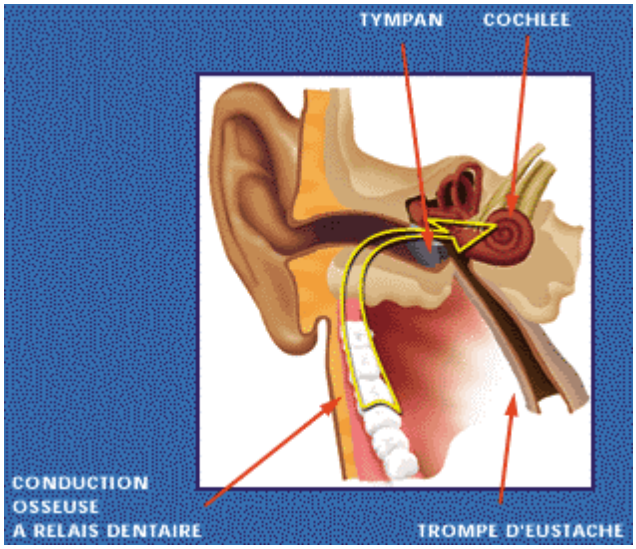
Pour effectuer un appel sortant, le plongeur compose tout simplement le numéro de téléphone de son correspondant (n'importe où dans le monde) à l'aide d'un numéroteur sous-marin.

Ce système, qui permettra d'améliorer la sécurité et l'efficacité des plongeurs professionnels, pourra être disponible au cours de l'année 2003.

2.4.4 Fonctionnement de la transmission des sons par les dents

Les produits AMPHICOM ® utilisent un embout buccal spécifique qui permet la transmission des sons par conduction osseuse. Très innovant, l'embout actif d'AMPHICOM ® contient des capteurs électroniques qui transmettent directement les sons par les dents, sans passer par les voies aériennes de l'oreille. La qualité d'écoute est surprenante.

La forme ergonomique de l'embout (surmoulé en silicone) garantit un excellent confort en bouche et limite la fatigue des muscles maxillaires.



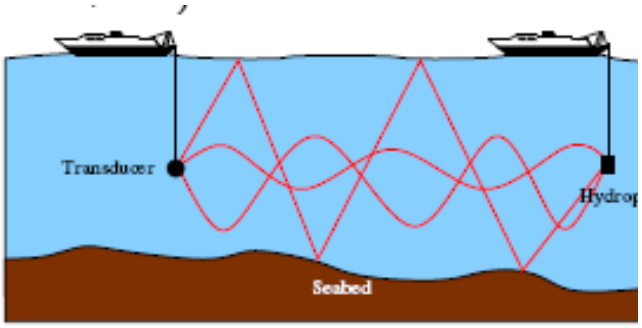
2.5. TOMOGRAPHIE ACOUSTIQUE OCEANIQUE (SOUS-MARINE) ACTIVE & PASSIVE

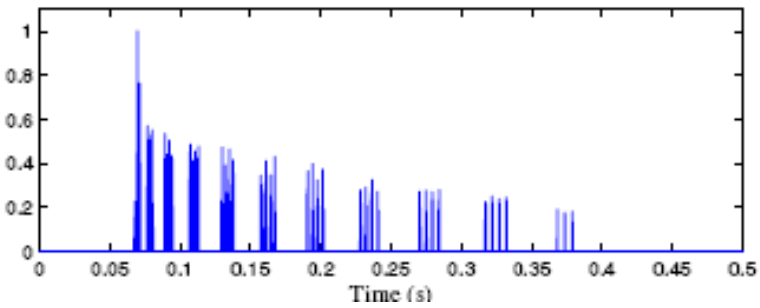
2.5.1 TAO Active

La tomographie acoustique sous-marine active envisage le problème de l'estimation de paramètres physiques de l'océan. L'approche retenue pour réaliser cette opération consiste à transmettre des signaux acoustiques entre un émetteur immergé et un ou plusieurs capteurs distants. Le canal acoustique océanique se comporte comme un guide d'ondes et la propagation du signal s'effectue suivant des trajets multiples. Le temps de retard entre les différents trajets observés est lié aux paramètres physiques du canal et leur connaissance permet de les évaluer.

En environnement grand fond, les signaux se propageant vers le fond sont réfractés vers la surface et les paramètres physiques mis en jeux lors de la propagation ne font pas intervenir les propriétés du fond ; on s'intéresse alors à des grandeurs internes à la colonne d'eau (température, salinité, vitesse des courants,...). Au contraire, en environnement petit fond, typiquement jusqu'à une centaine ou quelques centaines de mètres, certains trajets sont réfléchis par le fond et le canal observé est également susceptible de renseigner sur la nature du fond.

Notons également que, outre la connaissance du milieu physique, l'estimation du canal à trajets multiples présente aussi un intérêt par elle-même dans l'optique de la mise en oeuvre de systèmes de communications sous-marines.





Mesure du canal acoustique sous-marin pour remonter aux paramètres physiques (température, pression, salinité, profil du fond, ...)

2.5.2 TAO Passive

La Tomographie Acoustique Océanique (TAO) a pour objectif la caractérisation du milieu océanique par l'utilisation d'ondes acoustiques. Traditionnellement mise en oeuvre en actif par l'émission d'un signal acoustique connu, de forte puissance et récurrent, la TAO dite alors active ne permet pas la caractérisation du milieu de façon discrète ce qui nous amène à étudier la mise en oeuvre de la TAO passive.

Nous définissons la TAO passive comme un outil de caractérisation du milieu océanique à partir de sources d'opportunités naturellement présentes dans l'océan (bruit navires, cétacés, crevettes claqueuses ou bruit de surface). Cette étude a pour objectif de définir les potentialités de la TAO passive par l'étude des performances d'estimation des paramètres du milieu.

Elle utilise la théorie de l'estimation et les bornes de Cramer Rao pour comparer la TAO active et passive dans différentes configurations expérimentales.

2.6. LES SYSTEMES DE LOCALISTATION ET/OU D'ORIENTATION SOUS-MARIN

2.6.1 Le système Neverlost d'UWATEC

Uwatec®NeverLost est un instrument de plongée individuel qui permet au plongeur de déterminer une direction and de calculer la distance au bateau au à n'importe quel autre point à partir duquel la plongée a démarré. Tous les calculs de directions sont contrôlés par ordinateur en temps réel et transmis au plongeur par affichage sur un écran LCD à lecture facile. L'information de distance est calculée par ordinateur et affichée sur le même LCD, sur demande. Cette information améliore la sécurité du plongeur et permet un retour au bateau plus détendu.

L'Uwatec® NeverLost est constitué de 2 instruments ; un instrument stationnaire placé dans l'eau au point de départ de la plongée et un instrument itinérant, transporté par le plongeur.

L'Uwatec® NeverLost utilise un algorithme breveté qui contrôle la transmission de signaux ultrasons codés entre 2 dispositifs, tout en réalisant simultanément les calculs de direction et de distance. Avec une distance de fonctionnement allant

jusqu'à 300 mètres (1000 ft), l'Uwatec® NeverLost convient à la plupart des applications de plongée. Les signaux ultrasons ne peuvent être entendus par les plongeurs et ne doivent pas interférer avec la vie marine.

L'Uwatec® NeverLost est idéal à la fois pour le plongeur individuel et un opérateur de plongée sur gros bateaux, avec une capacité allant jusqu'à 30 récepteurs à relier à un seul instrument stationnaire.

L'Uwatec® NeverLost est compact et facile à transporter dans un sac de plongée. L'instrument du plongeur est équipé d'un cordon et s'adapte parfaitement aux poches d'un gilet stabilisateur. L'instrument stationnaire contient un cordon solide permettant une attache facile au bateau, à l'ancre ou à toute autre structure subaquatique. Les instruments peuvent être achetés ensemble ou séparément afin de s'adapter aux besoins du plongeur individuel ou de l'opérateur charter.

Détails techniques :

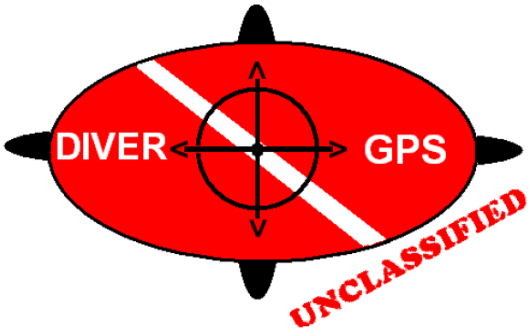
- Instrument du plongeur
- Test de fonctionnement automatique réalisé à la mise en route
- Bouton de contrôle unique pour la simplicité d'emploi
- Ecran LCD avec de gros caractères faciles à lire
- Affichage d'un indicateur de direction
- Indicateur de proximité affichant la distance par pas d'1 mètre ou d'1 pied
- Affichage du niveau de charge
- Affichage de la sélection des canaux
- Une fonction de balayage permet d'identifier les canaux utilisés sur le lieu de plongée
- Fonctionne jusqu'à 300 mètres (1000 pieds) de l'instrument stationnaire
- L'affichage impérial/métrique est sélectionnable par l'utilisateur pendant la plongée
- Les réglages du canal et la sélection impérial/métrique sont maintenus dans la mémoire permanente
- Le niveau de charge restant est affiché par pas de 20%
- Les interférences environnementales sont minimisées grâce à un filtrage électronique
- Un rayon transducteur étroit fournit une reconnaissance sensible du signal d'origine
- Piles AA remplaçables par l'utilisateur
- Le mode veille permet de préserver les piles quand l'instrument n'est pas utilisé
- Compact et ajusté aux poches d'un gilet stabilisateur
- Caoutchouc adhérent permettant une prise en main sûre
- Cordon ajustable permettant une attache au poignet ou sur le gilet stabilisateur

- Instrument stationnaire
- Rattachable au bateau, à l'ancre au drapeau de plongée ou à n'importe quel autre point d'attache
- Crochet intégré permettant un poids résistant aux courants
- Crochet intégré permettant une flottabilité positive quand il est accroché à un objet sur le dessous
- Quatre canaux sélectionnables par l'utilisateur pour éviter les conflits avec les transpondeurs des autres bateaux
- Capacité allant jusqu'à 30 instruments de plongeurs par transpondeur
- Des matériaux certifiés fournissent une construction résistante aux impacts
- La transmission du signal ne peut être entendue par les humains et ne doit pas être dangereuse pour la vie marine
- L'instrument stationnaire projette un fort signal omnidirectionnel
- Une fonction de balayage permet d'identifier les canaux en cours d'utilisation au point de plongée
- Large étendue de couverture de 300 mètres de rayon (1000 pieds)
- Pile C standard remplaçable par l'utilisateur

2.6.2 UNDERWATER GPS système mis au point par MARK THOME

Explication du concept :

Cette approche simplifiée est base sur le fait que certains modules GPS (Magellan) ont tendance à mémoriser l'affichage des données sur l'écran, même après la perte du signal. En réalité, ces modules GPS continueront à afficher cette donnée jusqu'à ce qu'elle soit mise à jour par un nouveau signal GPS. Le plongeur place simplement un module GPS Magellan dans un boîtier étanche, translucide et bon marché. MARK THOME a utilisé le modèle « Otterbox 9000 » (clair), un boîtier testé jusqu'à 100 pieds (30 mètres) de profondeur. Un rembourrage est positionné à l'intérieur du boîtier pour empêcher le module GPS de bouger et d'activer les boutons du clavier.



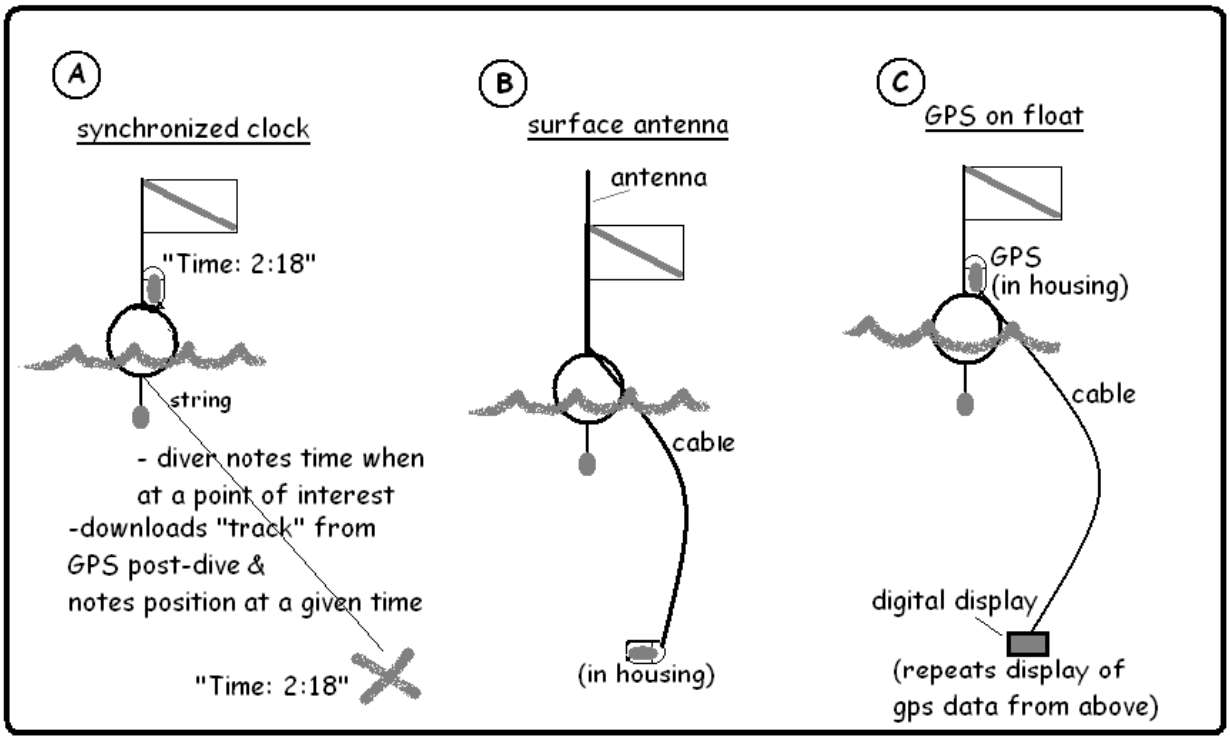
Le plongeur conduit la plongée comme d'habitude, en s'appuyant sur le GPS seulement lorsque cela devient nécessaire. Le signal GPS est obtenu par simple relâchement d'une bouée, remplie d'air. Le plongeur retient un cordon relié au

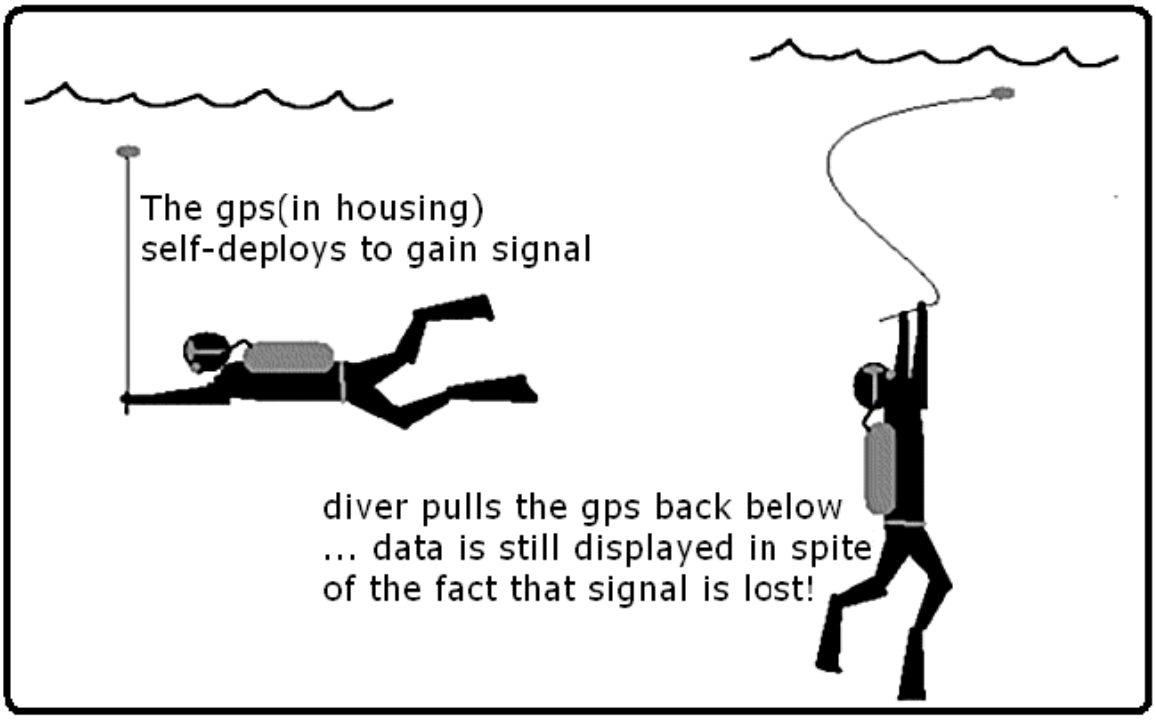
boîtier tandis qu'il rejoint rapidement la surface. Le plongeur attends approximativement 1 minute, jusqu'à ce que le GPS reçoive le nouveau signal, puis ramène le module jusqu'à lui pour lire les données. Le plongeur note la latitude et la longitude sur une tablette disposé sur le côté du boîtier (cette donnée peut être entrée dans le module GPS après la plongée). Le plongeur peut aussi afficher une route à suivre (retour au bateau, etc…) sur l'écran de positionnement du GPS. Les réglages par défaut doivent être modifiés pour un réglage permettant l'affichage du relevé et de la distance de façon à voir une route choisie à suivre. Le plongeur est en fait capable de voir l'heure, la longitude/latitude et la distance et le relevé à suivre, le tout sur un seul écran.

A) Flotteur de surface remorqué, avec module GPS attaché – horloge synchronisée:
   - Le plongeur fait une pause sur le lieu du point d'intérêt et note l'heure
   - Il télécharge la trace depuis le GPS remorqué en surface (après la plongée)
   - Il coordonne les éléments de temps et annote les traces téléchargées manuellement

B) Flotteur de surface remorqué avec antenne – câble de données collé au module GPS sous-surface :
   - Le plongeur possède en fait un module GPS sous-marin relié à une antenne montée sur flotteur

C) Flotteur de surface remorqué avec câbles de données GPS relié à l'affichage numérique :
   - Le plongeur tient un afficheur numérique qui est connecté au GPS remorqué en surface (via un câble)


A
synchronized clock
"Time: 2:18"
string
- diver notes time when at a point of interest
-downloads "track" from GPS post-dive &
notes position at a given time
"Time: 2:18"
B
surface antenna
antenna
cable
(in housing)
C
GPS on float
GPS
(in housing)
cable
digital display
(repeats display of gps data from above)


The gps(in housing)
self-deploys to gain signal
diver pulls the gps back below
... data is still displayed in spite
of the fact that signal is lost!

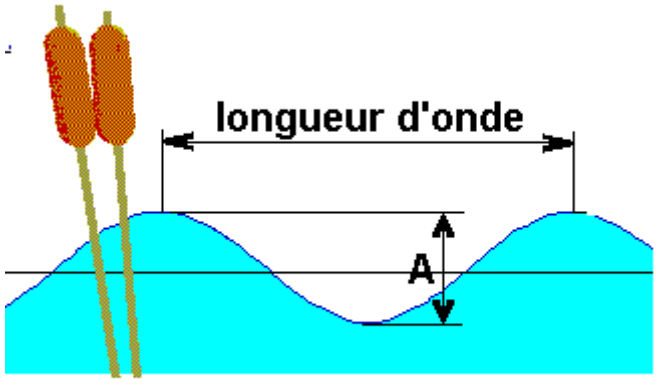
3. INTRODUCTION AUX ONDES ELECTROMAGNETIQUES.

3.1. LES ONDES RADIO

Les ondes hertziennes, utilisées non seulement pour la radio proprement dite (la TSF, comme on l'appelait en 1930) mais aussi pour la télévision, le téléphone portable voire le four à micro-ondes, appartiennent comme la lumière ou les rayons X à la grande famille des ondes électromagnétiques. Elles sont produites en injectant dans une antenne un courant électrique variable à haute-fréquence. On peut comparer l'antenne à une ampoule électrique nue qui rayonnerait l'énergie que lui communique le courant électrique qui la traverse.

3.1.1 L'onde est une vibration qui se déplace

La meilleure image qui vient à l'esprit est l'onde qui apparaît, se déplace et disparaît doucement à la surface d'un lac ou d'une mer d'huile pour nous les plongeurs, dans laquelle on a jeté un pavé. Le niveau de l'eau en un point donné monte et descend un certain nombre **f** de fois par seconde. Ce nombre **f** est la fréquence de la vibration. La variation du niveau de l'eau se déplace à une certaine vitesse en s'éloignant de l'endroit où le pavé est tombé. Cette vitesse de propagation **v** (en mètre/seconde) est relativement constante d'un lac à l'autre, tous les lacs constituant des milieux similaires, du moins en ce qui concerne la propagation des ondes à leur surface. La distance parcourue en une seconde dépend de la vitesse de propagation et la longueur de l'onde (distance entre deux creux ou deux sommets se suivant) dépend en plus de la fréquence de la vibration.



A = amplitude

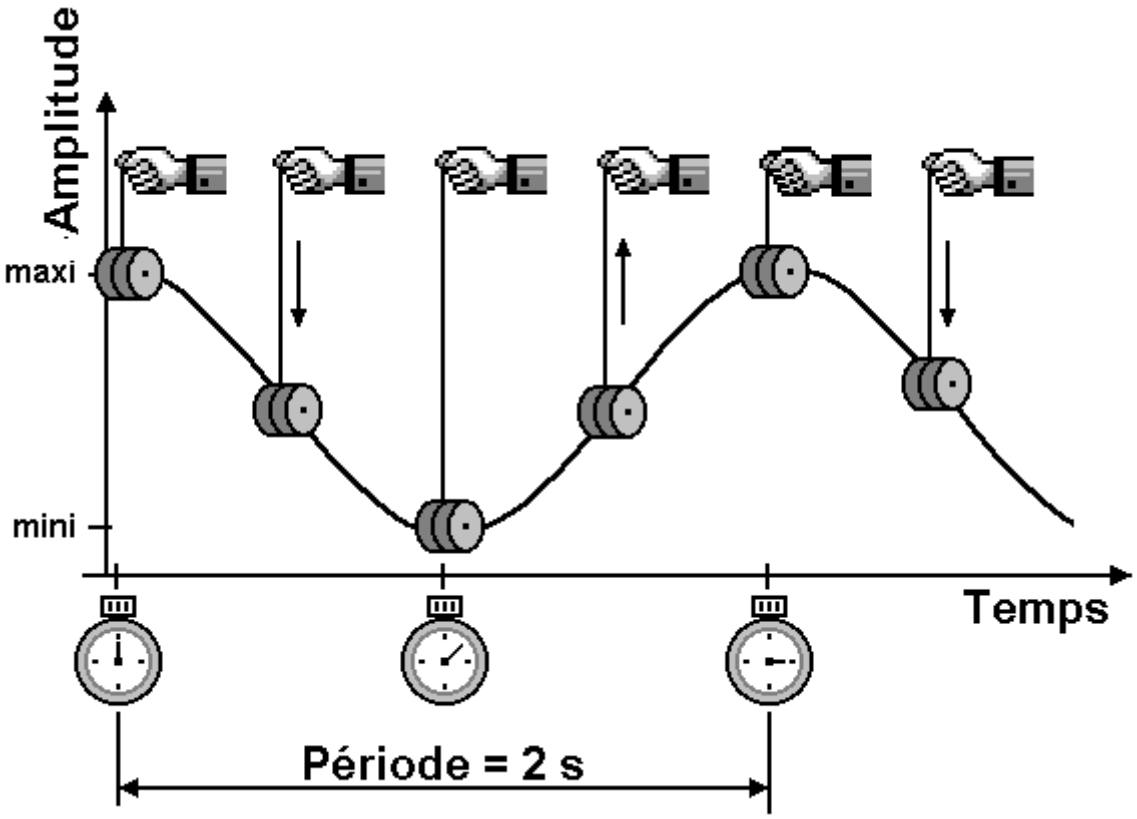
3.1.2 Période, fréquence et longueur d'onde

Imaginons un voyageur jouant au **yo-yo** dans un TGV lancé à 360 km/h (100 mètres par seconde). La bobine du yo-yo met deux secondes pour descendre puis remonter à son point de départ, on peut dire que la période de son mouvement (voir les signaux périodiques) est égale à 2 secondes. Si T = 2s on peut calculer facilement la fréquence du mouvement :

$$f = \frac{1}{T} \text{ donc } f = \frac{1}{2} = 0{,}5\ \text{Hz}$$

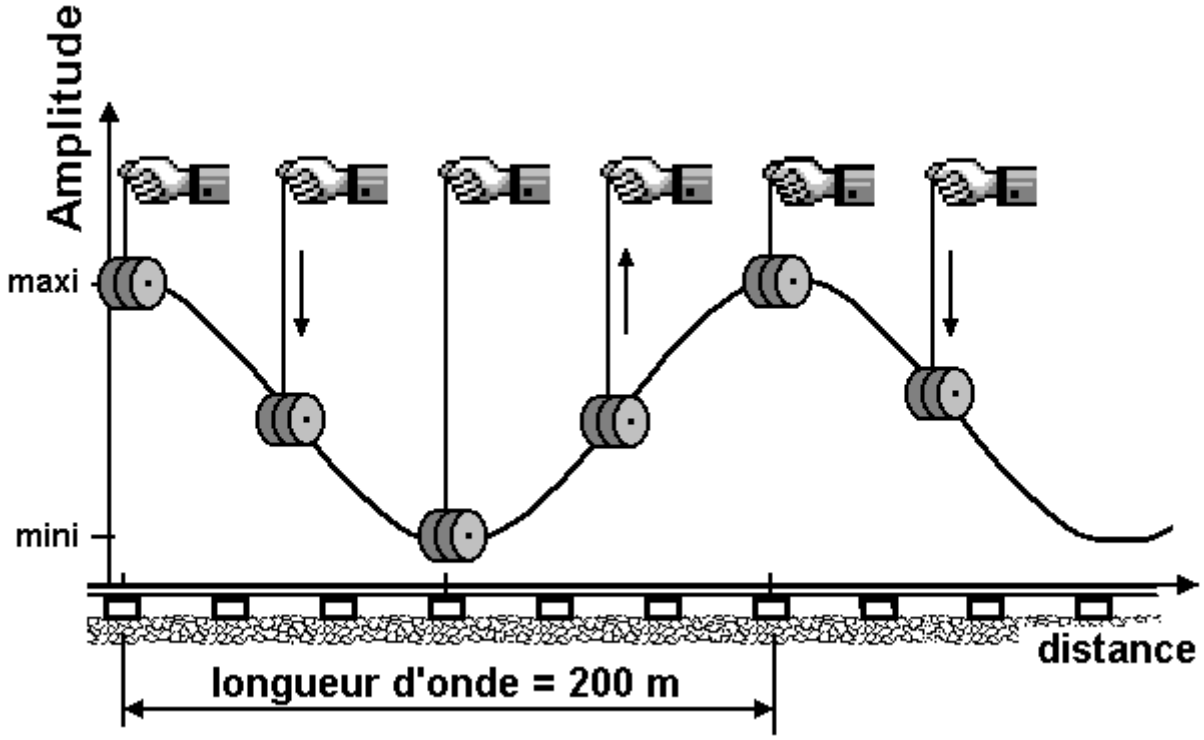
En 2 secondes le train, le voyageur et son yo-yo se sont déplacés de 200 m et la bobine du yo-yo a eu le temps de dessiner une belle courbe correspondant à une période entière.
La distance de 200 m correspond à la longueur d'onde du mouvement oscillatoire du yo-yo.

Figure 1



La figure 1 représente le mouvement du yo-yo dans le temps (avec la période T) et la figure 2 ce même mouvement dans l'espace (avec la longueur d'onde λ)

Figure 2



La courbe représentée en forme de sinusoïde est purement symbolique et n'a pas la prétention de traduire la véritable trajectoire de la bobine du yo-yo ! La longueur d'onde dépend non seulement de la fréquence du mouvement mais aussi de la vitesse de déplacement du train, on peut résumer cette relation à l'aide de la formule :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$ avec :

λ : longueur d'onde en mètres,
v : vitesse de déplacement en m/s
f : fréquence en hertz.

En radio la vitesse v est celle de la lumière c, égale à près de 300 000 000 m/s. Ce qui donne la formule très utile :

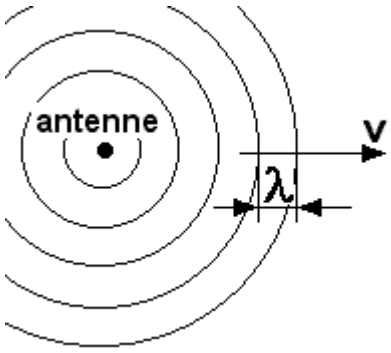
$$\lambda = \frac{300}{f}$$ avec **f** en MHz et **λ** en mètres

avec f en MHz et λ en mètres

La longueur d'onde λ est exprimée en mètres pour les fréquences allant de 100 kHz à 300 MHz, en centimètres entre 300 et 3000 MHz et en millimètres au-delà. Les bandes de fréquences comprises entre 1 et 30 MHz sont dites "bandes décamétriques". La longueur d'onde a servi naguère à repérer les émetteurs avant que l'usage de la fréquence ne se généralise. On a souvent entendu « Grandes Ondes » du transistor. A présent on s'en sert surtout pour calculer la longueur des brins rayonnants des antennes.

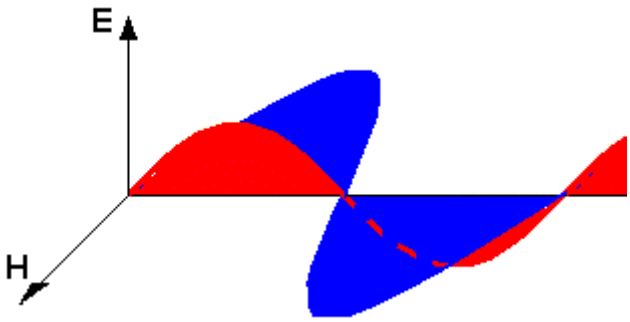
3.1.3 Déplacement d'une onde électromagnétique

Les ondes à la surface du lac se propagent comme des cercles concentriques. L'onde radio émise par l'antenne isotropique (c'est à dire rayonnant de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace) peut être représentée par une succession de sphères concentriques. On peut imaginer une bulle se gonflant très vite en réalité à la vitesse de la lumière c, très proche de 300 000 km par seconde. On parle ici de propagation de l'onde en espace libre ; dans l'espace, par exemple.



3.1.4 Champ magnétique et champ électrique

Le qualificatif d'électromagnétique exprime qu'une onde radio est formée de deux composantes : un champ électrique **E** et un champ magnétique **H**. Les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase. L'amplitude du champ électrique peut être mesurée à l'aide d'un champmètre. On l'exprime plus souvent en µV/m ou en dBµV/m, c'est elle qui sert pour déterminer le niveau de réception d'un émetteur en un lieu donné.



3.1.5 Relation entre champ électrique et champ magnétique, impédance intrinsèque du vide

A plusieurs longueurs d'ondes de l'antenne le rapport entre l'amplitude des champs magnétiques et électriques est constant et égal à l'impédance intrinsèque du milieu de propagation :

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

avec :

Z0 : impédance intrinsèque du milieu de propagation en ohms
E : amplitude du champ électrique en V/m
H : amplitude du champ magnétique en At/m
μ : perméabilité du milieu
ε : permittivité du milieu

Si le milieu de propagation est le vide ou l'air on a :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{8{,}85 \cdot 10^{-12}}} = 376{,}819 = 120 \cdot \pi$$

L'impédance intrinsèque du vide, paramètre important de la propagation des ondes, est de 377 ohms.
La présence de π dans le résultat est moins étonnant si on remplace la permittivité du vide par $1/(36\pi.10_9)$, sa valeur approchée.

3.1.6 Vitesse de propagation

La vitesse de propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu de perméabilité μ et de permittivité ε est donnée par la formule :

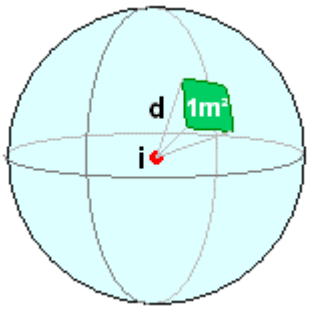
$$v = \sqrt{\frac{1}{\mu \cdot \varepsilon}}$$

En remplaçant μ et ε par la perméabilité et la permittivité du vide on peut calculer c, la vitesse de propagation des ondes qui est aussi la célérité de la lumière :

$$c = \sqrt{\frac{1}{8{,}854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}} \approx 300000000\,\mathrm{m/s}$$

3.1.7 Densité surfacique de puissance

A la distance d de l'antenne isotrope rayonnant une puissance P, on peut calculer la puissance répartie sur un m² de la surface de la sphère de rayon d, autrement dit la densité surfacique de puissance en W/m², en divisant P par la surface de la sphère = $4\pi d^2$.
Le vecteur de Poynting est le produit des vecteurs E et H de l'onde. A la distance d, son module S est égal à la densité surfacique de puissance.



On peut donc écrire :

$$S = \frac{E^2}{\mu_0 \cdot c} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

Après remplacement de c par sa valeur en fonction de μ et ε puis après avoir simplifié et enfin avoir introduit l'impédance intrinsèque du vide on obtient la relation entre E, P et d.

3.1.8 Polarisation de l'onde

Elle correspond à l'orientation de son champ électrique : si celui-ci est vertical, la polarisation est dite verticale. Un dipôle dont le conducteur est horizontal rayonne une onde polarisée horizontalement. Certaines antennes (antenne hélice, par exemple) ont une polarisation circulaire, cas particulier de la polarisation *elliptique*.
Lorsque le champ E varie toujours dans le même plan la polarisation est *linéaire*.

3.1.8.1 *Définitions*

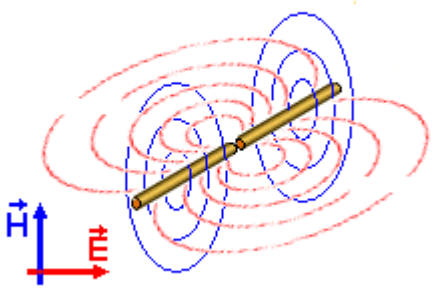
La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique de l'onde qu'elle rayonne ou qu'elle reçoit de façon privilégiée, par exemple au travers de son lobe principal.
Si le vecteur champ électrique de l'onde rayonnée par l'antenne se trouve toujours dans le même plan, du moins tant que l'onde ne subit pas une réflexion sur le sol ou un obstacle, la polarisation est dite linéaire. Sinon la polarisation de l'onde est elliptique avec le cas particulier de la polarisation circulaire. Une polarisation linéaire peut être horizontale ou verticale.

3.1.8.2 *Comment déterminer la polarisation d'une antenne*

Comme c'est le champ électrique qui détermine la polarisation de l'onde, il est généralement possible de déterminer la polarisation d'une antenne en observant la façon dont le champ électrique est produit. Sur le dipôle ci-contre on voit que le champ électrique (en rouge) se développe dans des plans se coupant sur l'axe du dipôle dont l'un est horizontal, comme le dipôle lui-même.

La plupart du temps, il suffit de repérer le point d'alimentation de l'antenne et de voir si on ne serait pas en présence d'un dipôle (antenne yagi) ou d'un demi-dipôle (ground-plane).

En cas de doute on peut toujours essayer d'utiliser un champmètre muni d'un dipôle demi-onde taillé sur la fréquence à recevoir et de se placer à quelques longueurs d'onde de l'antenne, en vue directe. Le signal reçu sera maximum lorsque la polarisation de l'antenne à tester sera la même que celle du dipôle du champmètre.



3.1.8.3 *Polarisation de quelques antennes*

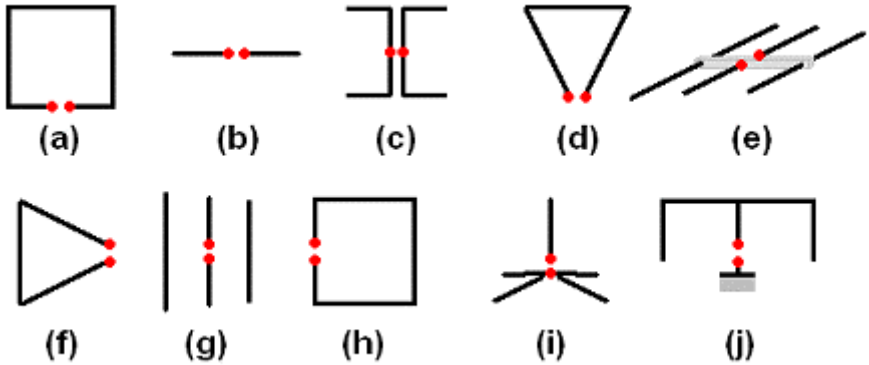
Sur la figure ci-dessous sont symbolisées quelques antennes à polarisations horizontale et verticale

3.1.8.3.1 Polarisation horizontale

(a) - cadre de cubical quad ou boucle horizontale ou verticale
(b) - dipôle horizontal, doublet, Lévy-centerfed, long-fil horizontal
(c) - lazy H ou antenne rideau
(d) - delta loop
(e) - yagi horizontale

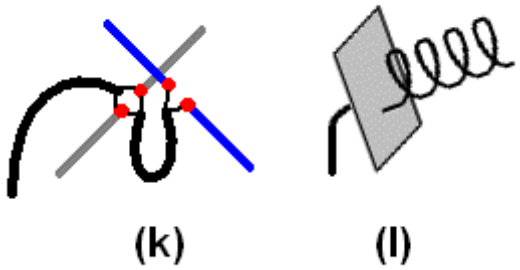
3.1.8.3.2 Polarisation verticale

(f) - delta loop
(g) - yagi verticale
(h) - boucle verticale ou élément de quad
(i) - ground-plane, antenne verticale
(j) - bobtail curtain



3.1.8.4 *Antennes à polarisation elliptique*

L'antenne turnstile (k) ou l'antenne composée de deux yagis croisées alimentées par une ligne de déphasage ont une polarisation elliptique ou circulaire tandis que l'antenne hélice (l) est bien connue pour sa polarisation circulaire



3.1.8.5 *Pertes de transmission dues à une différence de polarisation*

C'est particulièrement sur les fréquences supérieures à 30 MHz que la polarisation de l'antenne de réception doit être la même que la polarisation de l'onde reçue. Sur décamétriques, les liaisons en vue directe sont rares et il est impossible de prévoir la polarisation de l'onde ayant subie des réflexions sur le sol ou sur les couches de l'ionosphère.
Selon le cas, un mauvais choix de la polarisation de l'antenne de réception peut se solder par une perte de 3 dB ou par un affaiblissement très grand (pouvant dépasser 20 décibels).

		elliptique		linéaire	
		droite	gauche	verticale	horizontale
elliptique	droite	**0**	**20dB**	**3dB**	**3dB**
	gauche	**20dB**	**0**	**3dB**	**3dB**
linéaire	verticale	**3dB**	**3dB**	**0**	**20dB**
	horizontale	**3dB**	**3dB**	**20dB**	**0**

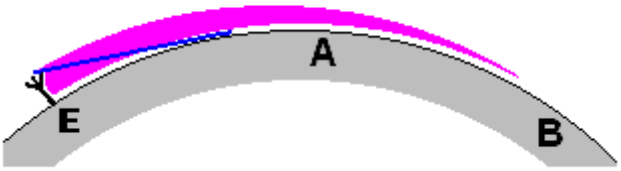
3.1.9 L'onde de sol

3.1.9.1 *Retour en arrière*

Jusque dans les années 1920, la transmission de la TSF s'effectuait sur des fréquences très basses, quelques dizaines à quelques centaines de kilohertz (ondes kilomètriques ou myriamètriques. Les physiciens qui étudiaient la propagation des ondes savaient déjà que la portée d'un émetteur était d'autant plus grande que la longueur d'onde était grande. En réalité ils ne s'intéressaient qu'à la propagation par l'onde de sol, délaissant la propagation par l'onde d'espace se réfléchissant sur les couches ionisées.

3.1.9.2 *En écoutant les bandes basses*

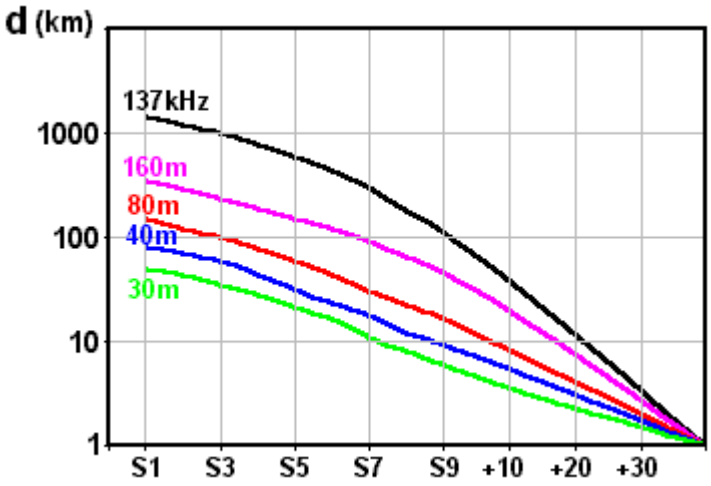
Sur les fréquences inférieures à 1 MHz (Grandes Ondes, Petites Ondes) on constate que le niveau du signal diminue régulièrement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'émetteur E.
Cette diminution progressive dépend de la conductibilité du sol : l'eau de mer, qui est un assez bon conducteur du courant électrique, favorise la propagation de cette onde qui suit la courbure terrestre : l'onde de sol.
Sans l'onde de sol, la station E ne pourrait être entendue au point A, situé au delà de l'horizon optique, donc hors de vue pour E par le rayon direct (en bleu).
Le point B, situé au-delà du seuil d'audibilité de l'onde de sol, ne pourra être couvert qu'au travers d'une onde réfléchie sur l'ionosphère.



3.1.9.3 *Onde de sol*

L'onde de sol est une onde de surface. Elle se propage en suivant la surface de la Terre comme une onde guidée suit la ligne qui lui sert de rails. La ligne, ici, est le sol. S'il est bon conducteur (océan, lac, rivière, marais...) l'affaiblissement du champ électrique sera modéré et la portée sera plus grande, surtout sur les fréquences plus élevées. S'il est isolant (sol gelé, désert...), l'onde de sol sera atténuée très rapidement.

La figure ci-contre donne la distance en fonction de la fréquence et le niveau du signal. Partant d'un signal reçu S9 de +40dB à 1 km de l'émetteur. On peut voir que le niveau S9 sera obtenu à 100 km pour une fréquence de 137kHz et de 10km pour une fréquence de 7MHz (bande 40m). Le sol est de conductibilité moyenne.
Sur mer la portée est nettement plus grande, surtout pour les fréquences élevées. Sur 10 MHz (bande 30m) la portée qui était de 10km sur sol moyen passe à 100 km sur mer.



Au-dessus de 1 MHz, il arrive que l'onde de sol interfère avec l'onde réfléchie par l'ionosphère ; cette coïncidence est l'une des causes de fading.

3.1.9.4 *Propagation des ondes au niveau du sol*

Selon leur fréquence, la propagation des ondes dans la troposphère est soumise à des phénomènes très différents :

1. Sur la VLF (Very Large Frequency) et la LF, en dessous de quelques centaines de kHz, c'est l'onde de sol qui est prépondérante.
2. Sur la HF (ondes décamétriques de 1 à 30 MHz) la propagation troposphèrique est limitée à des distances très faibles.
3. Au-dessus de 30MHz c'est l'onde directe soumise à tous les phénomènes de réflexion, réfraction... (Phénomènes d'optique et propagation des ondes) qui est la plus utilisée, bien que d'autres cas de propagation ionosphérique, aurorale... ne soient pas rares.

3.1.10 Le sol et les ondes radio

Le sol intervient non seulement dans l'environnement immédiat de l'antenne mais aussi lors de la réflexion d'onde ionosphérique (propagation ionosphèrique par rebond multiples) ou troposphérique et dans la propagation de l'onde de sol.
Ici la notion de sol recouvre également la surface de l'eau : lac, marais ou océan.

3.1.10.1 *La conductivité du sol*

La conductivité du sol (terre immergée ou océan) varie dans d'énormes proportions selon les régions à cause de l'humidité du sol. Le fonctionnement des antennes et le niveau des signaux reçus à l'extrémité d'un circuit peuvent varier dans les mêmes proportions.

Le tableau ci-dessous donne :

- la permittivité ε du sol, constante entre 1 et 1000 MHz
- la conductivité σ (en siemens/m) à diverses fréquences.

Nature du sol	ε	σ à 1MHz	σ à 10MHz	σ à 100MHz	σ à 1GHz
Sol très sec	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
Glace d'eau douce à -10°C	3	0.00001	0.00003	0.00008	0.0004
Sol de conductibilité moyenne	15	0.001	0.001	0.002	0.04
Terrain très humide	30	0.01	0.01	0.02	0.2
Eau douce à 20°C	80	0.003	0.003	0.005	0.2
Eau de mer à 20°C	70	5	5	5	5

Remarque : la conductivité du sol est aussi exprimée en millisiemens, 5 S/m = 5000 mS/m

3.1.10.2 *Pénétration des ondes dans le sol*

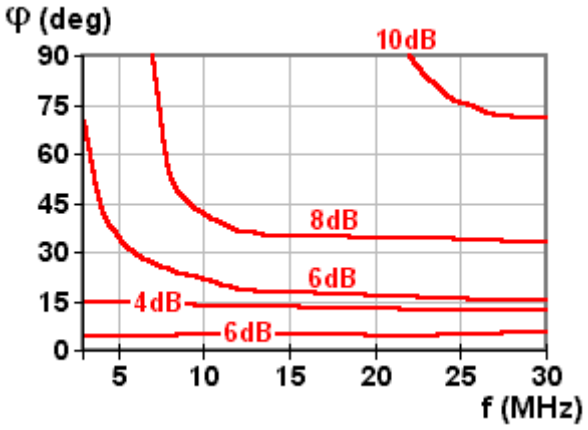
Plus la conductivité du sol est grande, moins une onde de fréquence donnée pénètre profondément dans le sol. Dans l'eau de mer, la pénétration des ondes au-dessus de 1 MHz ne dépasse guère quelques dizaines de cm.

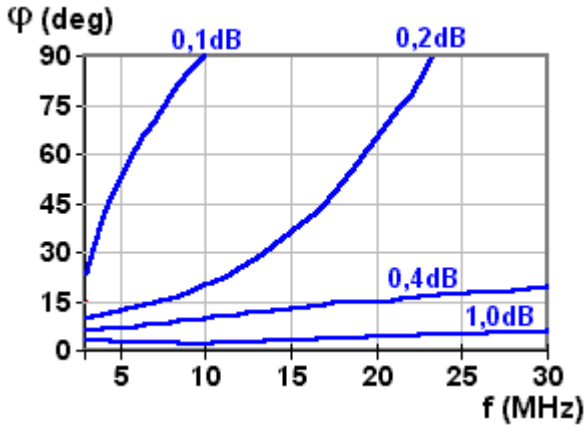
La profondeur de pénétration dépend également de la fréquence : elle est d'autant plus faible que la fréquence est élevée. Pour communiquer avec les sous-marins en plongée (avec une antenne très proche de la surface), on utilise des fréquences très basses.
p : profondeur de pénétration en m à différentes fréquences

Nature du sol	**p** à 1MHz	**p** à 10MHz	**p** à 100MHz	**p** à 1GHz
Sol très sec	90	90	90	40
Sol de conductibilité moyenne	30	15	6	0.5
Terrain très humide	5	3	1	0.2
Eau douce à 20°C	15	10	4	0.3
Eau de mer à 20°C	0.3	0.08	0.015	0.001

3.1.10.3 *Réflexion sur le sol des ondes décamétriques*

En général les circuits d'une longueur supérieure à 4000 km utilisent un ou plusieurs rebonds sur le sol. Si celui-ci est bon conducteur les pertes seront modérées et le signal peu atténué. C'est le cas avec les circuits transatlantiques quand un ou deux rebonds s'effectuent sur l'Océan Atlantique. Par contre, si le signal est réfléchi par une surface dont le sol est mauvais conducteur (désert, zone gelée...), des pertes importantes provoquent un affaiblissement net du signal.
Les deux courbes ci-dessous montrent la perte en dB subie par un signal rebondissant sur un sol moyen (diagramme de gauche) ou sur l'océan (diagramme de droite) en propagation ionosphérique ou sur le sol situé à courte distance d'une antenne.
Sol moyen : Conductivité = 0,001 siemens/m. Eau de mer : Conductivité = 5sms/m.



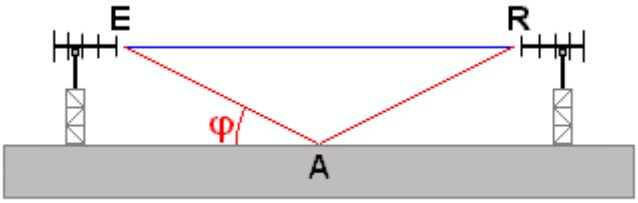


Remarques:

- Pour le sol, les pertes sont proportionnelles à l'angle d'élévation tandis qu'elles sont inversement proportionnelles pour l'eau de mer.
- Les pertes augmentent pour les angles très faibles (<10 degrés)
- L'affaiblissement augmente avec la fréquence.

3.1.10.4 *Rôle du sol dans la propagation des très hautes fréquences (THF)*

Les radioamateurs qui pratiquent la radiogoniométrie savent l'importance des réflexions des signaux VHF sur les obstacles et le relief.
Sur le diagramme est représentée une liaison radio entre un émetteur **E** et une station de réception **R**. En plus du signal direct (en bleu) l'antenne de réception reçoit un signal réfléchi (en rouge) ayant parcouru le trajet **EAR**, plus long que la distance **ER**.

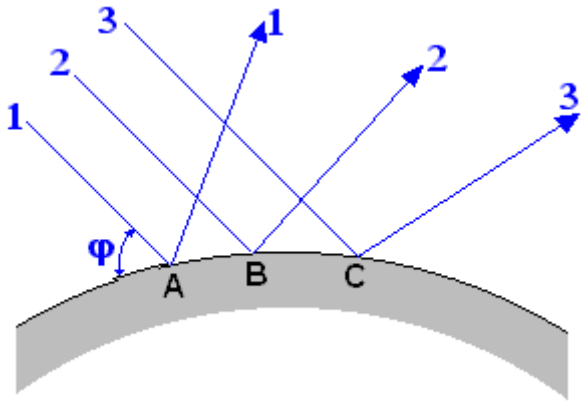


Si **d**, la différence de trajet entre **EAR** et **ER** est égale à un multiple de λ la longueur d'onde du signal, les deux signaux arriveront en phase et se renforcerons mutuellement. S'ils arrivent en opposition de phase l'amplitude du plus faible se déduira de celle du plus fort et le signal résultant sera fortement atténué, voire annulé.

Nota : Au retard du signal réfléchi par rapport au signal direct, il faut ajouter le déphasage subi par le signal lors de sa réflexion.
Si l'une des stations **E** ou **R** est mobile (ou si le point de réflexion **A** se déplace, cas où **A** est un avion, véhicule, bateau...), les trajet **ER** ou/et **EAR** changeront en permanence et l'amplitude du signal résultant va varier plus ou moins rapidement. Ce phénomène est à l'origine de certain fading.

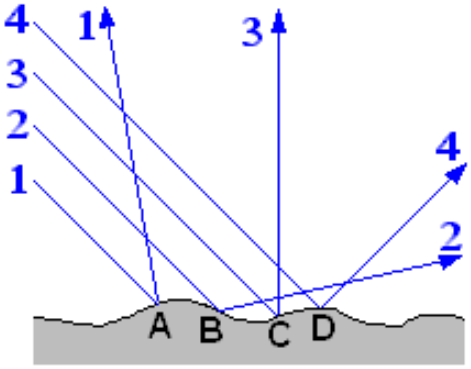
3.1.10.5 *Divergence*

De même que l'on peut observer des phénomènes de convergence comme ci-dessus entre un signal direct et un signal réfléchi, on rencontre le phénomène de divergence, commun en optique, dans les réflexions sur des surfaces convexes comme l'est la surface de l'océan si on la considère sur une étendue suffisamment grande.
Trois rayons parallèles se réfléchissent sur une surface courbe en prenant des directions divergentes.



3.1.10.6 *Diffusion*

Phénomène proche de la divergence, mais irrégulier et quasiment aléatoire, la réflexion sur une surface irrégulière, granuleuse (une région montagneuse à l'échelle de la Terre pour les ondes décamétriques ou les toitures d'une agglomération pour des ondes métriques) provoque la dispersion de rayons incidents parallèles.


4
1
3
3
2
1
4
2
A
B
C
D

3.2. LA REPARTITION DU SPECTRE

Les « ondes radioélectriques » sont des ondes électromagnétiques ayant, par convention internationale, une fréquence inférieure à 3000 GHz et se propageant dans l'espace sans guide artificiel. A l'intérieur de cet intervalle de fréquences, leur utilisation à des fins de communication doit faire l'objet d'une réglementation internationale. En fait, aujourd'hui, seules les bandes comprises entre 9 kHz et 400 GHz font l'objet d'une attribution au plan international. Ces deux fréquences extrêmes peuvent donc être considérées comme les limites du spectre radioélectrique utilisable, bien qu'en fait il n'existe que très peu d'applications au-delà de 50 GHz (exceptée la radioastronomie).

Cette liste des principales fréquences radio utilisées en France métropolitaine provient pour la plus grande partie de l'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (A.R.C.E.P).

Attention, une fréquence non répertoriée n'est pas pour autant disponible.

3.2.1 EXTRA LOW FREQUENCY (ELF)

de 300 Hz à 3 kHz / de 1000 km à 100 km
Communication avec les sous-marins tactiques en plongée

3.2.2 VERY LOW FREQUENCY (VLF)

ondes myriamétriques / de 3 kHz à 30 kHz / de 100 km à 10 km
9 à 150 kHz Matériel à boucle d'induction
Communications entre sous-marins tactiques en plongée
Sonars

3.2.3 LOW FREQUENCY (LF)

ondes kilométriques / de 30 kHz à 300 kHz / de 10 km à 1 km
9 à 150 kHz Matériel à boucle d'induction
150 à 280 kHz Radiodiffusion GO

3.2.4 MEDIUM FREQUENCY (MF)

ondes hectométriques / de 300 kHz à 3 MHz / de 1000 m à 100 m
457 kHz Détecteurs de victimes d'avalanche
525 à 1605 kHz Radiodiffusion PO
1810 à 1850 kHz Trafic amateur
1850 à 2000 kHz Détection antivol

3.2.5 HIGH FREQUENCY (HF)

ondes décamétriques / de 3 Mhz à 30 MHz / de 100 m à 10 m.
3155 à 3400 kHz Correction auditive
3230 à 3400 kHz Détection antivol
3500 à 3800 kHz Trafic amateur
5,000 à 26,000 MHz Radiodiffusion OC
6,765 à 6,795 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
7,000 à 7,100 MHz Trafic amateur
7,400 à 8,800 MHz Détection antivol
14,000 à 14,350 MHz Trafic amateur
18,068 à 18,168 MHz Trafic amateur
21,000 à 21,450 MHz Trafic amateur
24,890 à 24,990 MHz Trafic amateur
26,300 à 26,500 MHz Téléphones sans fils agréés
26,600 à 26,880 MHz Radiomessagerie sur site
26,957 à 27,283 MHz Modélisme
26,965 à 27,405 MHz CB bande C
27,095 MHz Eurobalise
27,120 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
28,000 à 29,700 MHz Trafic amateur bande des "10 mètres"
29,700 à 30,525 MHz Usage militaire

3.2.6 VERY HIGH FREQUENCY (VHF)

ondes métriques / de 30 Mhz à 300 MHz, de 10 m à 1 m
30,525 à 32,125 MHz Réseaux privés
30,750 à 32,075 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
31,300 MHz Radiomessagerie sur site
32,125 à 32,500 MHz Usage militaire
32,500 à 33,700 MHz Réseaux privés
32,800 MHz Microphones sans fils
33,000 à 34,850 MHz Usage militaire
34,850 à 36,200 MHz Réseaux privés

36,200 à 36,400 MHz Microphones sans fils
36,400 à 37,500 MHz Usage militaire
37,500 à 38,250 MHz Radio-astronomie
39,000 à 40,600 MHz Réseaux privés
40,660 à 40,700 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
40,995 à 41,105 MHz Aéromodélisme
41,100 à 41,200 MHz Modélisme
41,205 à 41,245 MHz Téléalarme pour personnes âgées jusqu'au 31/12/2005
41,310 à 41,475 MHz Téléphones sans fils
47,000 à 47,120 MHz Réseaux privés
47,400 à 47,600 MHz Réseaux privés en région parisienne seulement
47,600 à 47,700 MHz Réseaux privés
50,200 MHz Liaison vidéo sol-train, en région parisienne
50,200 à 51,200 MHz Trafic amateur
55,750 à 63,750 MHz Télévision bande I
56,330 MHz Liaison vidéo sol-train, en région parisienne
62,860 MHz Liaison vidéo sol-train, en région parisienne
68,000 à 68,460 MHz Usage militaire
68,462 à 69,250 MHz Réseaux privés
69,250 à 70,000 MHz Usage militaire
70,250 à 70,525 MHz Réseaux privés
70,525 à 70,975 MHz Usage militaire
70,975 à 71,950 MHz Réseaux privés
71,300 à 71,800 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
72,200 à 72,500 MHz Modélisme
72,500 à 73,300 MHz Réseaux privés
73,300 à 74,800 MHz Gendarmerie nationale
74,800 à 75,200 MHz Radiolocalisation aéronautique
75,200 à 77,475 MHz Réseaux privés, taxis
77,475 à 80,000 MHz Gendarmerie nationale
80,000 à 82,475 MHz Réseaux privés
82,475 à 83,000 MHz Usage militaire
83,000 à 87,300 MHz Police, pompiers, SAMU
87,300 à 87,500 MHz Radiomessagerie unilatérale : alphapage, biplus ou eurosignal
87,500 à 108,000 MHz Radiodiffusion FM bande II
108,000 à 118,000 MHz Usage militaire
111,600 à 177,900 MHz Balisage aéronautique (VOR)
118,000 à 136,000 MHz Trafic aéronautique, bande "air" ou "aviation"
137,000 à 138,000 MHz Réseaux privés
138,000 à 144,000 MHz Usage militaire
143,9875 à 144,000 MHz Fréquence réservée "vol libre"
144,000 à 146,000 MHz Trafic amateur, bande des "2 mètres"
146,000 à 156,000 MHz Trafic aéronautique
151,005 à 152,990 MHz Réseaux privés

152,000 à 152,020 MHz Radiomessagerie sur site
152,570 à 152,655 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
152,990 à 155,995 MHz Réseaux privés
154,980 à 155,180 MHz Liaisons fixes d'abonnés isolés
155,995 à 162,995 MHz Réseaux privés en dehors des côtes
156,025 à 157,425 MHz Trafic maritime et fluvial, bande "VHF marine"
160,625 à 160,950 MHz Trafic maritime et fluvial, bande "VHF marine"
161,550 à 162,025 MHz Trafic maritime et fluvial, bande "VHF marine"
162,500 à 162,525 MHz Trafic maritime et fluvial, bande "VHF marine"
164,800 à 168,900 MHz Réseaux privés
169,410 à 173,815 MHz Radiomessagerie norme ERMES
169,795 à 173,495 MHz Réseaux privés
173,500 à 174,000 MHz Police, pompiers, SAMU
174,000 à 223,000 MHz Télévision bande III
174,000 à 234,000 MHz DAB bande III
175,500 à 178,500 MHz Microphones sans fil
183,500 à 186,500 MHz Microphones sans fil
223,500 à 225,000 MHz Appareils faibles portés non spécifiques jusqu'au 31/12/2005
225,000 à 400,000 MHz Trafic aéronautique militaire

3.2.7 ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)

ondes décimétriques / de 300 Mhz à 3000 MHz / de 1 m à 10 cm
328,005 à 355,000 MHz Trafic aéronautique
400,075 à 400,125 MHz Fréquences étalons et signaux horaires par satellite
406,000 Balise ARGOS
406,100 à 408,000 MHz Réseaux privés
411,000 à 414,275 MHz Réseaux privés
414,500 à 420,000 MHz Réseaux privés
421,000 à 424,275 MHz Réseaux privés
424,500 à 430,000 MHz Réseaux privés
430,000 à 440,000 MHz Trafic amateur, bande "432"
430,000 à 434,000 MHz Radiolocalisation
433,050 à 434,790 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
440,000 à 441,500 MHz Gendarmerie Nationale
443,555 à 447,000 MHz Réseaux privés
446,495 à 446,505 MHz Télécommande et télémesure médical
453,555 à 454,495 MHz Réseaux privés
454,600 à 456,000 MHz Police, pompiers, SAMU
456,000 à 460,000 MHz Réseaux privés
464,000 à 466,000 MHz Police, pompiers, SAMU
466,000 à 470,000 MHz Réseaux privés

466,012 à 466,220 MHz Radiomessagerie
467,675 à 468,225 MHz SNCF
469,100 à 469,500 MHz EDF-GFD
470,000 à 606,000 MHz Télévision bande IV
470,000 à 830,000 MHz Microphones sans fil
614,000 à 880,000 MHz Télévision bande V
863,000 à 865,000 MHz Microphones sans fil
864,100 à 868,100 MHz Téléphones sans fils
868,000 à 868,600 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
868,600 à 868,700 MHz Alarmes
868,700 à 869,200 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
869,250 à 869,300 MHz Alarmes
869,400 à 869,650 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
869,650 à 869,700 MHz Alarmes
869,700 à 870,000 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
876,000 à 880,000 MHz Communication sol-train
890,000 à 915,000 MHz Téléphones GSM
921,000 à 925,000 MHz Communication sol-train
935,000 à 960,000 MHz Téléphones GSM
960,000 à 1215,000 MHz Aéronautique : IFF, TACAN, DME
1240,000 à 1300,000 MHz Trafic amateur
1375,500 à 1377,000 MHz Réseaux privés
1384,000 à 1400,000 MHz Systèmes de distribution téléphonique entre commutateurs et concentrateurs d'abonnés
1427,000 à 1429,000 MHz Réseaux privés
1429,000 à 1452,000 MHz Liaisons vidéo mobiles
1452,000 à 1460,000 MHz Systèmes de distribution téléphonique entre commutateurs et concentrateurs d'abonnés
1460,000 à 1484,000 MHz Liaisons vidéo mobiles
1484,000 à 1492,000 MHz Systèmes de distribution téléphonique entre commutateurs et concentrateurs d'abonnés
1492,000 à 1515,000 MHz Liaisons vidéo mobiles
1530,000 à 1544,000 MHz SMDSM ou trafic de détresse et de sécurité
1545,000 à 1555,000 MHz Correspondance publique avec station terrienne d'aéronefs
1555,000 à 1559,000 MHz Réseaux privés
1615,000 à 1626,500 MHz S-PCS
1626,500 à 1645,500 MHz SMDSM ou trafic de détresse et de sécurité
1646,500 à 1656,500 MHz Correspondance publique avec station terrienne d'aéronefs
1656,500 à 1660,500 MHz Réseaux privés
1670,000 à 1675,000 MHz Correspondance publique aéronautique sol-air TFTS
1710,000 à 1785,000 MHz Téléphones GSM1800
1800,000 à 1805,000 MHz Correspondance publique aéronautique sol-air TFTS

1805,000 à 1880,000 MHz Téléphones GSM1800
1880,000 à 1900,000 MHz Téléphones sans fil DECT
1920,000 à 1980,000 MHz Téléphones UMTS
2110,000 à 2170,000 MHz Téléphones UMTS
2220,500 à 2304,500 MHz Réseaux privés
2300,000 à 2450,000 MHz Trafic amateur
2446,000 à 2454,000 MHz Appareils faibles portés non spécifiques
2446,500 à 2483,500 MHz RLAN
2454,000 à 2483,500 MHz Liaisons vidéo à l'intérieur des bâtiments
2483,500 à 2500,000 MHz S-PCS

3.2.8 SUPER HIGH FREQUENCY (SHF)

ondes centimétriques / de 3 Ghz à 30 GHz / de 10 cm à 1 cm
3,400 à 3,595 GHz Boucle locale radio / WiMAX
3,600 à 3,800 GHz Multipoint Multimédia Distribution System
3,800 à 4,200 GHz Réseaux privés
4,200 à 4,204 GHz Fréquences étalon et signaux horaires par satellite
5,091 à 5,250 GHz Service mobile par satellite
5,470 à 5,725 GHz Boucle locale radio / WiMAX
5,725 à 5,875 GHz Appareils faibles portés non spécifiques
5,795 à 5,805 GHz Télépéage
5,925 à 6,425 GHz Réseaux privés
6,425 à 6,429 GHz Fréquences étalon et signaux horaires par satellite
6,425 à 7,110 GHz Réseaux privés
7,110 à 7,250 GHz Liaisons vidéo transportables
7,375 à 7,750 GHz Réseaux privés
7,750 à 7,890 GHz Liaisons vidéo transportables
8,025 à 8,500 GHz Liaisons de transport audiovisuel
9,880 à 9,920 GHz Détecteur de mouvement et d'alerte
10,000 à 10,500 GHz Trafic amateur
10,500 à 10,680 GHz Réseaux privés
10,570 à 10,610 GHz Détecteur de mouvement et d'alerte
10,700 à 11,700 GHz Liaisons longues distance inter-urbaines de forte capacité
12,500 à 12,750 GHz VSAT et SNG
12,750 à 13,250 GHz Réseaux privés
13,750 à 14,000 GHz Réseaux privés
14,000 à 14,500 GHz VSAT et SNG
15,250 à 15,350 GHz Réseaux privés
15,430 à 15,630 GHz Réseaux privés
17,300 à 18,400 GHz Connexion aux satellites de radiodiffusion
17,700 à 19,700 GHz Réseaux privés
21,200 à 21,400 GHz Liaisons de transport audiovisuel

21,413 à 21,581 GHz Liaisons vidéo transportables
21,600 à 21,800 GHz Liaisons de transport audiovisuel
21,805 à 21,973 GHz Liaisons vidéo transportables
22,000 à 22,500 GHz Réseaux privés
22,500 à 23,500 GHz Réseaux privés
23,500 à 23,600 GHz Liaisons vidéo de réseaux indépendants
24,000 à 24,050 GHz Trafic amateur
24,075 à 24,175 GHz Détecteurs de mouvement et d'alerte
24,549 à 24,997 GHz Boucle locale radio
24,997 à 25,249 GHz Réseaux privés
25,557 à 26,005 GHz Boucle locale radio

3.2.9 EXTRA HIGH FREQUENCY (EHF)

ondes millimétriques / de 30 Ghz à 300 GHz / de 1 cm à 1 mm
31,000 à 31,300 GHz Réseaux privés
37,000 à 39,500 GHz Réseaux privés
37,884 à 38,220 GHz Liaisons vidéo transportables
39,144 à 39,480 GHz Liaisons vidéo transportables
47,000 à 47,200 GHz Trafic amateur
75,500 à 81,000 GHz Trafic amateur
76,000 à 77,000 GHz Radars anticollision pour automobiles
119,980 à 120,020 GHz Trafic amateur
142,000 à 144,000 GHz Trafic amateur
241,000 à 250,000 GHz Trafic amateur

4. APPLICATION À LA PLONGÉE SOUS-MARINE

4.1. LES LIMITES PHYSIQUES DES PRODUITS.

Dans le chapitre 3.1.10.2 (Pénétration des ondes dans le sol), nous avons démontré que les ondes pénètrent très mal le milieu aquatique, en fait au-dessus de 1 MHz elle ne dépasse guère quelques dizaines de cm.

En fait, en plongée nous évoluons dans un milieu où les limites géographiques sont difficilement perceptibles. Ces limites sont plus liées à un problème d'autonomie (prérogatives d'évolution, réserve d'air, capacité physique des plongeurs). Néanmoins si l'on observe la pratique courante de la plongée loisir, les distances de progressions peuvent aller de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, dépassant rarement le kilomètre. Cependant il faut aussi intégrer de nouvelles formes de plongée effectuée avec un loco plongeur, qui peut dans ce cas augmenter considérablement la zone d'évolution.

Tous les produits utilisant les technologies de communication sans fils qui sont ou qui seront amenés à être utilisés en plongée répondent à ces contraintes physiques. Toute l'astuce vient dans le choix d'un compromis entre les différents avantages et inconvénients ente la gamme de fréquence, la propagation dans l'eau, le débit possible en fonction de la gamme de fréquences, la modulation utilisée, l'encombrement de l'équipement lui-même et de son antenne, l'autonomie en batterie, la portabilité de l'équipement, etc…

Ce compromis limitera de fait, les capacités des futurs produits que nous verrons apparaître dans l'avenir sur le marché de la plongée.
Cependant, l'industrie « off shore » est en train de mettre au point un « WiFi sous-marin » professionnel.

Le 23 mars 2007, le Department of Trade and Industry (DTI, le Ministère du commerce et de l'industrie) a accordé un financement de 560 000 livres (environ 840 000 euros) à un consortium de trois entreprises britanniques pour le développement d'une nouvelle technologie de communication sans fil sous l'eau.

Ce projet, au budget total de 1,1 million de livres (environ 1,6 million d'euros), réunit l'entreprise écossaise Wireless Fibre Systems, leader mondial des technologies à ondes radio sous l'eau, la société Tritech International Ltd, fournisseur de capteurs et outils pour le marché des engins submersibles téléguidés (ROV pour Remote Operated Vehicle) ou autonomes (AUV pour Autonomous Underwater Vehicle), et enfin Insensys Ltd, entreprise spécialisée dans les systèmes de contrôle des structures des installations éoliennes, gazières et pétrolières.
L'objectif du projet est de développer des équipements sans fils utilisables dans les domaines de l'océanographie et de la surveillance environnementale ; ces équipements permettront d'améliorer la sécurité du personnel dans les industries gazières et pétrolières par un nouveau moyen de communication plus efficace.
Le système underwater radio fonctionnera comme un modem Wi-Fi et pourra être utilisé afin de transmettre des données à partir de et vers un ROV ou un AUV en eau profonde.
De plus, il fournira aux plongeurs un moyen de communication rapide et efficace, puisqu'il leur sera désormais possible de communiquer par la parole, au lieu de communiquer par écrit ou par signes.

En septembre 2006, Wireless Fibre Systems avait déjà lancé son premier modem Wi-Fi sous-marin. A présent, il reste à mettre au point un certain nombre d'appareils fonctionnels incorporant cette technologie. Jusqu'ici, les communications sans fils reposaient sur des techniques acoustiques, lentes, facilement affectées par le bruit environnant et incapables de traverser l'eau ou l'air. Cette nouvelle technologie rend le transfert de données et les communications plus clairs et rapides ».

WFS S1510 Radio Modem

Le WFS S1510 Radio Modem, premier modèle expérimental de WiFi sous-marin est en test depuis peu.

Technical Specification

Performance
- Data rate 0-16 kbits/sec
- Half or full duplex
- Supporting PC software
- Multiplexing – multiple units addressed by unique codes

Antenna
- Magnetic coupled loop
- Options available for extended range

Data
- RS 232 data interface
- Analogue interface for sensors without a microprocessor

Power Requirements

Application dependent e.g. 40 bits/sec modem powered from 2 Lithium D-cells
- 2 years operation in listening mode
- 60 hours transmit
- Low power standby mode with wakeup timer

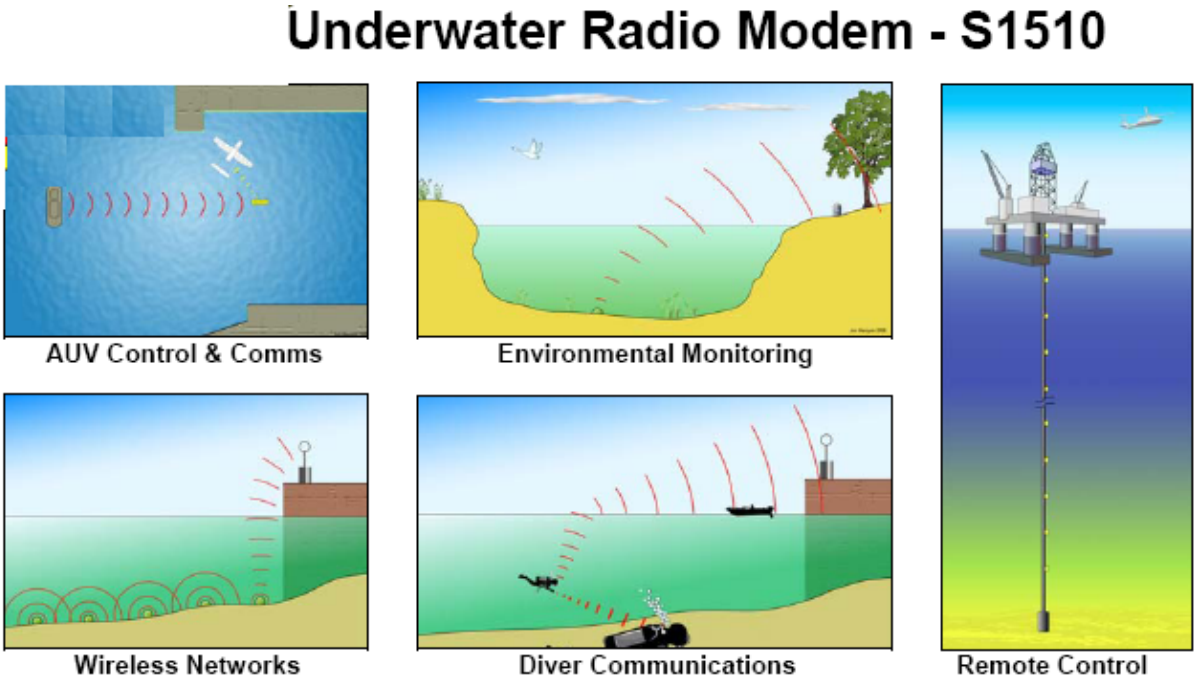
Physical (typical)

Modem housing - 315mm x 315 mm
Antenna – application dependent

Environmental
- 4,000m depth
- Temp. operating -10 to + 35°C

Le modem transmet les données à 16 Kbits/s sur des distances allant jusqu'à 300 mètres dans de l'eau salée en utilisant une antenne à boucle et il fonctionne dans la bande de fréquences des 50 KHz. Mais la société est sur le point de lancer un modem à bande de fréquences plus faible avec des taux de transmission de données significativement plus élevés.
« A 2 mètres, nous pouvons atteindre des taux de transmission de données de l'ordre de 300 Kbits/s » déclare Hyland qui croit que le système serait utile pour les systèmes AUV.
L'industrie gazière et pétrolière utilise les AUV pour tracer le plan des fonds marins avant de construire des infrastructures sous-marines. Une mission typique militaire pour les AUV est de cartographier une surface afin de déterminer s'il y a des mines. Les scientifiques utilisent les AUV pour étudier l'océan et les fonds marins.

La technologie RF subaquatique va révolutionner les communications en milieu aquatique et subaquatique pour la surveillance environnementale et océanographique, les industries pétrolières et gazières off-shore, la sécurité intérieure et l'industrie de la défense partout dans le monde.



Ce système qui pourrait s'apparenter au système Wi-Fi, reste en fait très loin des capacités qui sont actuellement disponibles dans le monde des télécommunications grand public, car les débits disponibles aujourd'hui vont de 2 Mbits/s jusqu'à 54 Mbits/s sur l'interface air, alors que ce système n'offre que 16 Kbits/s, ce qui reste intéressant mais limité pour des applications futures de plus en plus gourmandes en voix et données donc en bande passante et qui devront être véhiculées sur le même support médiatique.

Que ce soit le Wi-Fi (gamme de fréquence 2, 4 GHz), le Bluetooth (idem) ou encore le WiMax (gamme de fréquence 2, 4 GHz à 66 GHz), ces technologies n'ont aucune chance de pénétrer le marché de la plongée car dans l'eau la portée se réduirait à quelques centimètres tout au plus.

5. MA VISION DES APPLICATIONS ET PRODUITS FUTURS DANS LA PLONGEE SOUS-MARINE

Il ne s'agit pas de donner ici une liste exhaustive des produits que nous pourrions rencontrer dans un futur proche en plongée sous-marine, ni de jouer au professeur « Nimbus » spécialiste du gadget trouve tout !

Je vais essentiellement tenter de développer quelques idées qui me paraissent assez réalistes pour nous plongeurs. Je vais privilégier un classement par famille de produits pour respecter la chronologie de mon mémoire.

5.1. DANS LA FAMILLE DES ORDINATEURS

Nous avons vu qu'un nouveau produit de la marque SCUBAPRO – UWATEC, le modèle GALILEO, intégrait un cardio-fréquence mètre, dans un avenir proche il ne serait pas surprenant de voir des produits capables de donner les gaz du sang et donc d'intégrer dans les modèles de décompression (RGBM, VPM, ZHL8-ADT Bühlmann, etc.. qui reposent quasiment tous sur le concept de HALDANE) des paramètres personnels. Ces paramètres donneraient des informations pertinentes sur les bulles circulantes dans le flux veineux, la saturation en Azote, en Oxygène du tissu sanguin, etc…

Un simple capteur enfilé sur l'extrémité d'un doigt, comme ce qui est déjà utilisé dans le domaine médical, fonctionnant avec une pile et qui communiquerait avec l'ordinateur de plongée au même titre que les émetteurs placés sur le 1er étage du détendeur, pourrait transmettre toutes les informations des gaz du sang pour adapter en temps réel la décompression du plongeur.

Une autre possibilité reposant également sur les technologies de communications sans fils, ce serait la mise en réseau des ordinateurs d'une même palanquée, qui permettrait à des autonomes de se surveiller mutuellement et à un guide de palanquée d'avoir en temps réel l'état de ses plongeurs.

Toujours dans le domaine des ordinateurs, de nouveaux gilets stabilisateurs pourraient intégrer cette fois-ci un récepteur qui commanderait un système pneumatique de régulation des purges (rapide et lente) et de l'inflateur afin de piloter la vitesse de remontée en fonction de la décompression préconisée par l'ordinateur. Un autre intérêt d'un tel système, qui irait dans le sens de la sécurité, on pourrait imaginer qu'un plongeur qui perdrait connaissance, son ordinateur avec l'ensemble des senseurs reliés (consommation d'air, cardio-

fréquence mètre, gaz du sang) déclencherait une remontée à vitesse contrôlée du plongeur jusqu'à la surface.

5.2. DANS LA FAMILLE DES SYSTEMES D'INTERPHONIE COMMUNIQUANTS.

Je ne pense pas que ces systèmes vont évoluer de façon très marquée, car il y a une contrainte d'ordre mécanique sur l'intelligibilité de la parole en milieu subaquatique, quel que soit le type de capteur placé dans l'embout, cela restera très difficile de parler sous l'eau. Les ergots limitant l'occlusion des dents, le conduit de l'embout empêche les mouvements des lèvres. La contrainte reste donc trop lourde pour pouvoir évoluer et surtout devenir abordable pour des débutants.

Seuls les masques faciaux pourraient peut-être se développer si le prix devenait équivalent à un détendeur haut de gamme. Dans ce cas on peut imaginer une mise en réseau entre les plongeurs de la palanquée, inter palanquée et palanquée bateau.

Indépendamment des systèmes communiquant par la voix, je pense que des applications data pourraient voir le jour. Un ordinateur de plongée du type « Palm/PDA communiquant » capable d'envoyer des messages « texto » prédéfinit ou non, vers un ou plusieurs autre(s) ordinateur(s) au sein de la palanquée, inter palanquée et palanquée bateau. Le nombre de signes sous l'eau étant relativement limité, il ne serait pas nécessaire d'avoir plusieurs centaines de messages « texto » prédéfinis ! Un autre intérêt, en plongée d'exploration, un guide de palanquée pourrait envoyer aux autres plongeurs, la photo avec le nom et une petite description du poisson sur lequel on s'acharne parfois à expliquer qu'il pique ou qu'il mord ! .

Un constructeur a tenté de mettre au point un système qui retransmet le GSM sous l'eau, même si on aurait pu penser qu'il était vraiment précurseur, je ne pense pas qu'il y ait un réel intérêt à recevoir une communication téléphonique de manière inopinée sous l'eau, qui plus est, pourrait perturber voir paniquer le plongeur en fonction de l'information reçue !

5.3. DANS LA FAMILLE DES SYSTEMES DE GEOLOCALISATION SUBAQUATIQUE.

Je suis convaincu que c'est un vecteur qui devrait se développer tant au niveau des plongeurs en palanquée pour retrouver le bateau au retour d'une plongée, mais surtout au niveau d'un bateau qui pourrait ainsi surveiller en temps réel ses palanquées en immersion.

Dans un 1er temps, je pense que la plongée Militaire et en suite la plongée Professionnelle devrait trouver un intérêt certain a associé un relevé tomographique du lieu de l'afficher sur un écran, puis de positionner les plongeurs équipés d'un système de localisation.

Pour la plongée loisir, un tel dispositif deviendrait intéressant pour des sites de plongée très fréquentés, a condition que le coût de ses systèmes reste accessible.

6. CONCLUSION

L'objectif principal de ce mémoire était d'expliquer et de faire comprendre, à l'aide d'éléments simples et compréhensibles qu'elles sont les limites techniques des produits que nous trouvons aujourd'hui sur le marché de la plongée sous-marine.
Nous avons vu un catalogue des produits, classé par famille, utilisant les technologies de communication sans fils appliqué à la plongée.

Nous avons abordé des notions simples de propagation des ondes, afin de donner un minimum d'éléments physique nécessaire à la bonne compréhension de ces différents produits.
Enfin nous avons abordé quelques idées sur les possibles évolutions des produits pour la plongée dans un future proche.

Il serait non fondé d'écrire que l'objectif n'est pas atteint ! A l'inverse il serait prétentieux d'affirmer que tout a été traité. De nombreux sujets n'ont pas pu être abordés, faute de temps, dans ce mémoire. A titre individuel mes actions restent assez limités, s'il était décidé d'investiguer plus en avant et de donner la liste des futurs produits que nous serions amenés à rencontrer sous peut, il nous faudrait créer une commission financée par les constructeurs et regroupant tous les acteurs de la plongée, sans oublié les universitaires français et étranger.

Une chose qui reste néanmoins évidente, aujourd'hui peut de moniteurs sont capables d'aborder l'enseignement des ordinateurs en plongée sous-marine de loisir, demain si nous ne menons pas une réflexion de fond sur les contenus de formation, nos Moniteurs seront incapables de traiter l'enseignement des nouveaux produits et les plongeurs s'orienteront naturellement vers ceux qui maîtrise les nouvelles technologies.

7. ANNEXE SUR LES NORMES

(1) Bluetooth

Le Bluetooth est une spécification de l'industrie des télécommunications. Elle utilise une technologie radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. Elle a été conçue dans le but de remplacer les câbles entre les ordinateurs et les imprimantes, les scanners, les claviers, les souris, les téléphones portables, les PDA, les autoradios et les appareils photo numériques.

Son nom est directement inspiré du roi danois Harald Ier surnommé Harald Blåtand (« à la dent bleue »), connu pour avoir réussi à unifier les États du Danemark, de Norvège et de Suède. Le logo de Bluetooth, est d'ailleurs inspiré des initiales en alphabet runique de Harald Blåtand.

Quelques dates a retenir :

- 1994 : Création par le fabricant suédois Ericsson
- 1998 : Plusieurs grandes sociétés (Agere, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia et Toshiba) s'associent pour former le Bluetooth Special Interest Group (SIG)
- juillet 1999 : Sortie de la spécification 1.0
- Le 28 mars 2006, le « Bluetooth Special Interest Group » (SIG) annonce la prochaine génération de la technologie sans fil Bluetooth, qui sera capable d'assurer des débits cent fois supérieurs à la version actuelle, passant donc de 1 Mb/s à 100 Mb/s (soit 12,5 Mo/s). Cette technologie - utilisée dans les téléphones mobiles, périphériques informatiques et autres appareils portables comme les assistants personnels (PDA) - va voir sa vitesse de transmission augmenter dans les années à venir, lui permettant alors d'être utilisée pour les vidéos haute définition et l'échange de fichiers avec un baladeur MP3 par exemple. La nouvelle norme incorporera une technologie radio, connue comme l'ultra wideband ou UWB.

La couche radio (RF) du Bluetooth :

La couche radio (la couche la plus basse) est gérée au niveau matériel.
C'est elle qui s'occupe de l'émission et de la réception des ondes radio.

Elle définit les caractéristiques telles que la bande de fréquence et l'arrangement des canaux, les caractéristiques du transmetteur, de la modulation, du receveur, etc.

La technologie Bluetooth utilise l'une des bandes de fréquences ISM (Industrial, Scientific & Medical) réservée pour l'industrie, la science et la médecine. La bande de fréquences utilisée est disponible au niveau mondial et s'étend sur 83,5 MHz (de 2,4 à 2,4835 GHz).

Cette bande est divisée en 79 canaux séparés de 1 MHz. Le codage de l'information se fait par sauts de fréquence. La période est de 625 µs, ce qui permet 1 600 sauts par seconde.

Il existe 3 classes de modules radio Bluetooth sur le marché ayant des puissances différentes et donc des portées différentes :

Classe	Puissance	Portée
1	100 mW (20 dBm)	100 mètres
2	2,5 mW (4 dBm)	15 à 20 mètres
3	1 mW (0 dBm)	10 mètres

La plupart des fabricants d'appareils électroniques utilisent des modules de classe 3.

(2) Wi-Fi

Le wifi ou wi-fi (prononcé /wifi/) est une technologie de réseau informatique sans fil mise en place pour fonctionner en réseau interne et, depuis, devenue un moyen d'accès à haut débit à Internet. Il est basé sur la norme IEEE 802.11 (ISO/CEI 8802-11).

La norme IEEE 802.11 (ISO/CEI 8802-11) est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). Le nom wifi correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), l'organisme chargé de maintenir l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11. Par abus de langage (et pour des raisons de marketing) le nom de la norme se confond aujourd'hui avec le nom de la certification (c'est du moins le cas en France, en Espagne, au Canada et aux États-Unis). Ainsi un réseau wifi est en réalité un réseau répondant à la norme 802.11. Dans d'autres pays (en Allemagne par exemple) de tels réseaux sont correctement nommés WLAN.

Grâce au wifi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit. Dans la pratique, le wifi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA), des objets communicants ou même des périphériques à une liaison haut débit (de 11 Mbit/s en 802.11b à 54 Mbit/s en 802.11a/g et 540 Mbit/s pour le futur 802.11n) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres). Dans un environnement ouvert, la portée peut atteindre plusieurs centaines de mètres voire dans des conditions optimales plusieurs dizaines de kilomètres (pour la 'variante' WIMAX ou avec des antennes directionnelles).

Ainsi, des fournisseurs d'accès internet commencent à irriguer des zones à forte concentration d'utilisateurs (gares, aéroports, hôtels, trains, etc.) avec des réseaux sans fil connectés à Internet. Ces zones ou point d'accès sont appelées bornes wifi et en anglais « hot spots ».

Les iBooks d'Apple, Inc. furent, en 1999, parmi les premiers ordinateurs grand public à proposer un équipement wifi intégré (sous le nom d'AirPort), bientôt suivis par le reste de la gamme. À partir de 2003, on voit aussi apparaître des modèles de PC portables bâtis autour de la technologie Intel Centrino, qui leur permettent une

intégration similaire. Les autres modèles de PC doivent encore s'équiper d'une carte d'extension adaptée (PCMCIA, USB, Compact Flash, SD, PCI, MiniPCI, etc.).

Les différentes normes wifi :

La norme IEEE 802.11 est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbit/s. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées normes 802.11 physiques) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité. Voici un tableau présentant les différentes révisions de la norme 802.11 et leur signification :

Norme	Nom	Description
802.11a	Wi-Fi 5	La norme 802.11a (baptisée *Wi-Fi 5*) permet d'obtenir un haut débit (dans un rayon de 10 mètres : 54 Mbit/s théoriques, 30 Mbit/s réels). La norme 802.11a spécifie 52 canaux de sous-porteuses radio dans la bande de fréquences des 5 GHz (bande U-NII = Unlicensed '- National Information Infrastructure), huit combinaisons, non superposés sont utilisables pour le canal principal.
802.11b	Wi-Fi	La norme 802.11b est la norme la plus répandue en base installée actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbit/s (6 Mbit/s réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquences utilisée est la bande des 2,4 GHz (Bande ISM = Industrial Scientific Medical) avec, en France, 13 canaux radio disponibles dont 3 au maximum non superposés.
802.11c	Pontage 802.11 vers 802.1d	La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.1d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11 (niveau *liaison de données*).
802.11d	Internationalisation	La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents

		équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquences et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel.
802.11e	Amélioration de la qualité de service	La norme 802.11e vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche *liaison de données*. Ainsi, cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en terme de bande passante et de délai de transmission de manière à permettre, notamment, une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.
802.11f	Itinérance (roaming)	La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de points d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole *Inter-Access point roaming protocol* permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée *itinérance* (ou *roaming* en anglais).
802.11g		La norme 802.11g est la plus répandue dans le commerce actuellement. Elle offre un haut débit (54 Mbit/s théoriques, 26 Mbit/s réels) sur la bande de fréquences des 2,4 GHz. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b. Cette aptitude permet aux nouveaux équipements de proposer le 802.11g tout en restant compatibles avec les réseaux existants qui sont souvent encore en 802.11b. Il est possible d'utiliser, au maximum, 3 canaux non superposés.
802.11h		La norme *802.11h* vise à rapprocher la norme 802.11 du standard Européen (Hiperlan 2, d'où le *h* de 802.11h) et être en conformité avec la réglementation européenne en matière de fréquences et d'économie d'énergie.
802.11i		La norme *802.11i* a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette

		norme s'appuie sur l'AES (*Advanced Encryption Standard*) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.
802.11IR		La norme *802.11IR* a été élaborée de manière à utiliser des signaux infra-rouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement.
802.11j		La norme *802.11j* est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.
802.11n	WWiSE (World-Wide Spectrum Efficiency) ou TGn Sync	La norme *802.11n* est attendue pour 2008. Le débit théorique atteint les 540 Mbit/s (débit réel de 100 Mbit/s dans un rayon de 90 mètres) grâce aux technologies MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) et OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). En avril 2006, des périphériques à la norme 802.11n commencent à apparaître basés sur le *Draft 1.0* (brouillon 1.0) ; le *Draft 2.0* est sorti en mars 2007, les périphériques basés sur ce brouillon seront compatibles avec la version finale attendue pour septembre 2008. Le *802.11n* utilisera simultanément les fréquences 2,4 et 5 GHz. Il saura combiner jusqu'à 8 canaux non superposés.
802.11s	Réseau Mesh	La norme *802.11s* est actuellement en cours d'élaboration. Le débit théorique atteint aujourd'hui 1 à 2 Mbit/s. Elle vise à implémenter la mobilité sur les réseaux de type adhoc. Tout point qui reçoit le signal est capable de le retransmettre. Elle constitue ainsi une toile au dessus du réseau existant. Un des protocoles utilisé pour mettre en œuvre son routage est OLSR.

(3) WiMax

WiMAX (acronyme pour Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une famille de normes, certaines encore en chantier, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne. C'est également un nom commercial pour ces normes, comme l'est Wi-Fi pour 802.11 (la Wi-Fi Alliance est en cela comparable au WiMAX Forum).

Wimax regroupe des standards de réseaux sans fils auparavant indépendants : HiperMan, proposé en Europe par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute), et 802.16 proposé par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

WiMAX utilise des technologies hertziennes destinées principalement à des architectures point-multipoint : à partir d'une antenne centrale, on cherche à toucher de multiples terminaux.

WiMAX promet des débits de plusieurs dizaines de megabits/seconde sur des rayons de couverture de quelques dizaines de kilomètres. WiMAX s'adresse notamment au marché des réseaux métropolitains, le MAN (metropolitan area network) de HiperMAN.

Plusieurs standards relèvent du terme WiMAX : les plus avancés concernent les usages en situation fixe (le client ne bouge pas), mais une version mobile (connexion à haut-débit en situation de mobilité) est également prévue un peu plus tard.

Des contraintes techniques, inhérentes aux technologies radio, limitent cependant les usages possibles.

La portée, les débits, et surtout la nécessité ou non d'être en ligne de vue de l'antenne émettrice, dépendent de la bande de fréquence utilisée. Dans la bande 10-66 GHz, les connexions se font en ligne de vue (LOS, line of sight), alors que sur la partie 2-11 GHz, le NLOS (non line of sight) est possible notamment grâce à l'utilisation de la modulation OFDM. Ceci ouvre la voie à des terminaux d'intérieur, facilement installables par l'utilisateur final car ne nécessitant pas l'installation d'antennes extérieures par un technicien agréé

La famille 802.16 :

WiMAX réunit donc plusieurs standards, tous à des états d'avancement différents, qui sont autant d'axes de travail du groupe IEEE 802.16.

Standard	Description	Publié	Statut
IEEE std 802.16-2001	définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz)	8 avril 2002	obsolètes
IEEE std 802.16c-2002	définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.	15 janvier 2003	
IEEE std 802.16a-2003	amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.	1er avril 2003	
IEEE std 802.16-2004 (également désigné 802.16d)	il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c.	1er octobre 2004	obsolète/actifs
IEEE 802.16e (également désigné IEEE std 802.16e-2005)	apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122 km/h.	7 décembre 2005	actifs
IEEE 802.16f	Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC (Media Access Control) et PHY (Physical)	22 janvier 2006	

Le tableau ci-dessous — non exhaustif — donne quelques exemples de débits possibles selon les cas, sachant qu'une antenne a plusieurs secteurs (6, par exemple) pour couvrir tout son périmètre. Ces débits sont à partager entre utilisateurs, et les modèles économiques aujourd'hui envisagés tablent sur des offres symétriques entre 1 et 10 Mbit/s pour les entreprises, c'est-à-dire comparables au ADSL, mais avec la mobilité en plus.

Environnement	Taille de la cellule	Débit par secteur d'antenne
Urbain intérieur (NLOS)	1 km	21 Mbit/s (canaux de 10 MHz)
Rurbain intérieur (NLOS)	2,5 km	22 Mbit/s (canaux de 10 MHz)
Rurbain extérieur(LOS)	7 km	22 Mbit/s (canaux de 10 MHz)
Rural interieur (NLOS)	5,1 km	4,5 Mbit/s (canaux de 3,5 MHz)
Rural extérieur (LOS)	15 km	4,5 Mbit/s (canaux de 3,5 MHz)

FIN DU MEMOIRE