



Les sonars

VOIR EN ÉCOUTANT

SONAR est l'acronyme de *SOUND Navigation And Ranging* en anglais qui signifie « navigation et télémétrie par son ». Bien que cette technique ait été mise au point vers 1915, le terme « sonar » est apparu au début de la Seconde Guerre mondiale en 1939. Il existe deux sortes de sonars : les passifs et les actifs. Dans tous les cas, fondamentalement, cela revient à « voir » en écoutant. Il est d'ailleurs intéressant de noter que le principe du sonar avait été plus ou moins compris au XVIII^e siècle par le biologiste italien Lazzaro Spallanzani (1729-1799) lorsqu'il cherchait à comprendre comment les **chauves-souris** voient les obstacles. En effet,



dans la mesure où après avoir été aveuglés, ces animaux étaient toujours capables de voltiger en évitant les obstacles, mais qu'avec leurs oreilles bouchées elles n'étaient plus capables d'accomplir de telles performances, Spallanzani concluait que les chauves-souris voient avec leurs oreilles ! Outre les chauves-souris, certains cétacés, certains oiseaux, etc., font également usage du sonar, de même que les humains dans certaines circonstances. Dans le domaine technologique, les militaires emploient les sonars dans la guerre sous-marine, mais les utilisations civiles des sonars sont multiples : on les emploie dans la marine, notamment pour sonder les fonds des océans ou pour la pêche ; en médecine pour effectuer des échographies ; dans l'industrie mécanique pour détecter des défauts internes dus à l'usure dans certaines pièces.

LES SONARS ET LA PREMIÈRE GUERRE MONDIALE

En 1490, **Léonard de Vinci** (1452-1519) notait que si du pont d'un bateau on plonge dans l'eau un long tuyau dont l'autre extrémité est appliquée à l'oreille, on entend des bateaux à très grande distance. En effet, n'importe quel baigneur en été à la



mer a certainement constaté la facilité avec laquelle on entend le bruit des moteurs de bateaux naviguant très loin. De même, dans les westerns, on voit parfois un indien « peau rouge » coller une oreille au sol et annoncer l'arrivée de « visages pâles », en écoutant le bruit de galop des chevaux transmis par le sol. Il s'agit là du principe du « sonar passif » où l'on se contente d'écouter les sons produits par la cible. Dans le « sonar actif » en revanche, on émet un son grâce à un projecteur sonore et on écoute son « rebond » ou renvoi par un obstacle, c'est-à-dire son « écho ».

LES PREMIÈRES UTILISATIONS

Cela n'a presque pas de sens de vouloir dater l'usage du principe du sonar passif, tant ce procédé est naturel : ne serait-ce qu'en entendant un chien aboyer, on peut estimer la distance et la direction dans laquelle il se trouve... Le sonar passif existe donc dans la nature depuis la nuit des temps. Cependant, la mise en place d'un système d'appareillage d'écoute dont le rôle est de localiser l'émetteur sonore est beaucoup plus récent. En effet, l'architecte naval américain Lewis Nixon (1861-1940) imagine en 1906 un procédé permettant de repérer des icebergs par les bruits que produit le craquement de la glace. À ce titre, il s'agit du premier sonar. Signalons que cette invention n'empêcha pas le naufrage tragique du Titanic par collision avec un iceberg en 1912... C'est surtout lors de la Première Guerre mondiale que



le sonar passif renaît : **Jean Perrin** (1870-1942) invente un système permettant le repérage des avions la nuit par

le son qu'il produisaient. Avec l'invention du radar, cet usage du sonar a été abandonné, mais dans la mesure où les ondes électromagnétiques se propagent mal dans l'eau en raison de l'importante absorption qu'elles y subissent, les ondes sonores constituent le meilleur moyen de détection et de télémétrie sous-marines. Toujours durant la Première Guerre mondiale, le sonar passif est également employé pour repérer à la manière « de Vinci » les sous-marins allemands invincibles mais... bruyants. En effet, un navire allié « chasseur de sous-marins » laissait pendre dans l'eau par dessus

bord un tuyau dont l'autre extrémité était examinée au moyen d'un stéthoscope par un opérateur qui guettait le moindre bruit en provenance d'un sous-marin. Grâce à un examen attentif du bruit, il était possible de déterminer la direction dans laquelle se trouvait le sous-marin ennemi. Cette même opération effectuée par un ou plusieurs autres chasseurs de sous-marins travaillant en équipe permettait ensuite de déterminer la position du sous-marin avec une précision acceptable.

LE PREMIER BREVET

Le premier brevet relatif au sonar actif ou « sonar à écho » a été déposé en 1912, très peu de temps après la tragédie du **Titanic** par



L. Richardson. Ce dernier propose de détecter des obstacles comme les icebergs grâce à l'écho qu'ils renvoient. Ce genre de sonar est réinventé en France, par Paul Langevin (1872-1946) et le Russe Constantin Chilowski, dans un autre contexte, celui de la lutte sous-marine pendant la Première Guerre mondiale. On émet un son et c'est l'analyse de son écho renvoyé par la cible qui renseigne sur celle-ci. Cependant, cette technique est mise au point trop tardivement, si bien qu'elle ne joue qu'un rôle mineur durant la guerre. En effet, le premier sous-marin allemand est détecté grâce à un sonar actif en 1918 seulement... Mais cela ouvre la voie à la guerre sous-marine pendant la Deuxième Guerre mondiale où l'on

fait largement usage du sonar actif dans la chasse aux fameux **U-boat**



allemands. Ce type de sonar a été employé pendant longtemps dans la guerre sous-marine, mais il n'est plus d'usage de nos jours. En effet, silence et discrétion sont d'or dans une telle guerre. Or, un sous-marin qui emploierait un sonar actif se ferait repérer grâce aux émissions de son propre sonar... Ainsi, contrairement à un sonar actif, un sonar passif ne trahit pas la présence de son porteur. Voilà pourquoi on a abandonné l'usage des premiers dans la guerre sous-marine, bien qu'on les utilise toujours pour la détection des mines anti-navires ou anti-sous-marines. Signalons aussi que les sonars passifs et autres dispositifs d'écoute sonore seraient inutiles sans les opérateurs surnommés « **oreilles d'or** » qui



analysent tous les bruits grâce à leur ouïe particulièrement aiguisée, parvenant à reconnaître jusqu'au nombre de pales que possède l'hélice d'un navire !

PRODUCTION ET RÉCEPTION DU SON DANS UN SONAR

Qu'il s'agisse d'un sonar actif ou passif, l'usage d'un détecteur de son

est toujours nécessaire. Il s'agit essentiellement d'un transducteur acousto-électrique, c'est-à-dire d'un appareil qui transforme une vibration mécanique en un signal électrique : en somme, un microphone ! Il en existe de nombreux modèles dont le nom varie en fonction de l'usage et du principe mis en jeu. Il serait long de les décrire tous. Signalons simplement qu'un « hydrophone », un terme très courant dans la technologie des sonars, est un transducteur de ce type adapté à un usage sous l'eau.

Émettre un son est un processus simple : il suffit de faire vibrer le milieu où le son est censé se propager, généralement l'air ou l'eau. Mais à quelle fréquence émettre ? Afin de faire le bon choix, il faut savoir que de manière générale les hautes fréquences ou ultrasons (au-delà de 20 000 Hz) sont davantage absorbés par un milieu que les basses. Ainsi, dans l'eau, un signal acoustique de 10 kHz subit tous les kilomètres une diminution de 10 % de son amplitude, ce qui correspond dans le jargon technique à une réduction de 1 dB ; cette chute de l'amplitude est de 97 % par kilomètre, soit 30 dB pour un signal de 100 kHz. On serait donc tenté de penser que l'usage des basses fréquences est plus intéressant. Pourtant, il est bien connu que les dauphins et les chauves-souris emploient des ultrasons. Une erreur de la nature ? Non, car il faut tenir compte d'autres contraintes : en effet, une basse fréquence, c'est-à-dire une grande longueur d'onde, ne permet pas une bonne résolution spatiale, en raison du phénomène de diffraction (à ne pas confondre avec la réfraction). Par ailleurs, comme la taille de l'émetteur augmente avec la

Fréquences ultrasonores

De 20 kHz à 150 kHz

Les ultrasons émis par les chauves-souris vont de 20 kHz à 150 kHz.

Jusqu'à 200



Les chauves-souris émettent jusqu'à 200 impulsions ultrasonores par seconde.

De 1 MHz à 5 MHz

En médecine, les fréquences employées sont typiquement de l'ordre de 1 MHz à 5 MHz.

Jusqu'à 20 MHz

En ophtalmologie, les fréquences employées atteignent 20 MHz.

10 W/m²

Les intensités ultrasonores en jeu en médecine sont de l'ordre de 10 W/m².

Une arme ?



Les cachalots étourdiraient leurs proies à l'aide d'ultrasons.

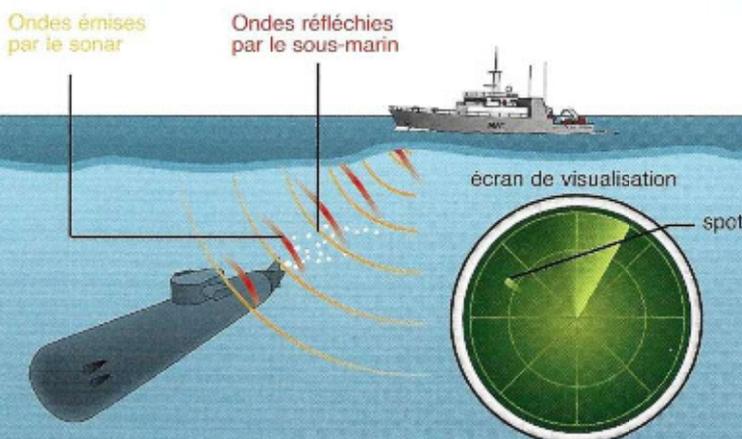
Un dauphin



repère un banc de poissons à 200 mètres

Une écholocation précise

Principe de fonctionnement du sonar



longueur d'onde émise, une basse fréquence impliquerait un émetteur encombrant. Comme toujours, il faut donc établir un compromis entre la portée, la résolution et l'encombrement. Et cela conduit à une préférence des ultrasons. Reste à savoir comment produire des vibrations de si hautes fréquences ? Plusieurs techniques électro-acoustiques permettent cela dans les sonars artificiels : principalement les transducteurs piézoélectriques et les transducteurs à magnétostriction.

TRANSDUCTEURS PIÉZOÉLECTRIQUES

La piézoélectricité est un phénomène découvert en 1880 sur du quartz par



Pierre Curie (1859-1906) et Jacques Curie (1856-1941). Aujourd'hui, il est couramment mis en œuvre dans les « montres à quartz ». Taillés sous forme d'une lame et bien orientés, certains cristaux présentent sur leurs deux faces des charges électriques de signes opposés lorsqu'on les comprime : ils se polarisent. Si on les soumet à une dilatation, ils se polarisent en sens opposé. En 1881, Gabriel Lippmann (1845-1921) montre que le phénomène est réversible : soumis à une tension (un voltage), la lame se comprime ou se dilate dans son épaisseur selon le sens (la polarité) du branchement. Bien que cet effet soit faible — de l'ordre du centième de micromètre pour 10 000 V — une telle lame constitue un véritable transducteur pouvant transformer un signal électrique en une vibration mécanique et inversement. C'est d'ailleurs cette propriété que Langevin



met en œuvre dans la construction des premiers sonars actifs pour la détection des sous-marins. En effet, il suffit d'appliquer à la lame une tension alternative de 100 kHz pour qu'elle vibre 100 000 fois par seconde engendrant un ultrason de cette fréquence. Inversement, si une vibration acoustique d'une certaine fréquence tombe sur la lame, elle engendrera sur ses faces une variation de tension à la même fréquence que l'on pourra mesurer à l'aide d'un oscilloscope par exemple.

TRANSDUCTEURS MAGNÉTOSTRICIFS

La magnétostriction est un effet découvert en 1847 par James Joule (1818-1889). Il s'agit en quelque sorte de l'analogie magnétique de la piézoélectricité. Cette fois, on soumet l'échantillon, par exemple un barreau de nickel, à un champ magnétique. Selon le sens de ce dernier, le matériau se contracte ou se dilate dans le sens du champ. Là encore le phénomène est

réversible, si bien que dans certains sonars on emploie des transducteurs magnétostrictifs

QUELQUES APPLICATIONS

Nous avons déjà présenté l'emploi des sonars dans les guerres. Aussi, nous allons à présent nous intéresser à quelques applications civiles des sonars avant de traiter de leur usage dans le monde animal. Insistons cependant sur un point important : le sonar en lui-même ne serait d'aucune utilité sans l'analyse poussée des signaux reçus. À ce titre, le développement des sonars dans tous les domaines a largement bénéficié des avancées en électronique et en mathématiques, notamment dans la branche appelée « traitement du signal ». En effet, c'est le traitement du signal acoustique reçu qui permet d'éliminer les bruits parasites et de déterminer avec précision un grand nombre de paramètres relatifs à l'objet étudié avant d'en faire éventuellement une image (par exemple comme en échographie médicale).

LE SONAR POUR SUIVRE LES POISSONS

Un son est réfléchi lorsqu'il rencontre un milieu dont les propriétés acoustiques sont différentes de celles dans lequel il se propage. La part du son renvoyée croît lorsque ces différences augmentent. Comme la vitesse du son dans l'air est d'environ 340 m/s alors que dans l'eau elle est d'environ 1 500 m/s, le son a du mal à passer de l'eau à l'air et inversement : il y a un écho à chaque fois. Or, beaucoup de poissons sont dotés d'une vessie natatoire, une poche remplie d'air qui permet au poisson de régler sa flottabilité en ajustant au mieux sa densité à celle de l'eau dans laquelle il nage. La vessie natatoire constitue ainsi un bon réflecteur sonore. On comprend donc l'intérêt que présente le sonar pour le repérage et le suivi de bancs de poissons, qu'il s'agisse



de pêche, d'études en biologie marine ou en écologie...

LE SONAR DANS L'INDUSTRIE

Dans les solides et les métaux, la vitesse du son est de l'ordre de 5 000 m/s. Tout défaut, comme une bulle, une craquelure, une hétérogénéité... agit dans un solide comme un réflecteur de son. Ainsi pour contrôler l'état d'une pièce sans la détruire, on emploie un émetteur récepteur d'ultrasons. C'est ce que l'on appelle le « contrôle non destructif ». Cette technique est couramment employée pour contrôler les pales des hélicoptères ainsi que les rails de chemin de fer. De même, on mesure couramment l'épaisseur de certains objets dont l'autre face n'est pas accessible.

LE SONAR POUR SONDAGE

L'une des applications les plus fructueuses des sonars est relative à l'établissement des cartes sous-marines. Le principe est simple : un

faisceau d'ultrasons est émis vers le plancher océanique. Le délai qui sépare l'émission du son et la réception de l'écho permet de déterminer la distance du plancher et donc son relief. En pratique, ces mesures sont compliquées par le fait que la vitesse du son change avec la température de l'eau donc avec la profondeur. Or, en raison de cette modification graduelle, le faisceau ultrasonore ne voyage plus en ligne droite mais se courbe de manière analogue aux rayons de lumière lors d'un mirage. On parle de « mirage acoustique ».

DE L'ÉCHOGRAPHIE À LA VÉLOCIMÉTRIE

Il existe de nombreuses applications médicales, certaines assez récentes. Sans les détailler, nous allons les passer en revue. Dans tous les cas, on place une sonde émettrice-réceptrice sur la peau couverte de gel. Le rôle de ce dernier est d'éliminer toute couche d'air entre l'émetteur et le corps et de rendre le trajet « homogène » d'un point de vue acoustique : toute réflexion nuirait à la transmission des ondes vers l'intérieur de l'organisme. Une fois dans l'organisme, les ondes subissent des renvois différents selon les caractéristiques des milieux qu'elles rencontrent, ce qui permet d'établir des diagnostics.

L'échographie

L'échographie prénatale est

l'application la plus connue. Elle a



débuté au cours des années 1970 puis s'est banalisée, jusqu'à ce qu'on se rende compte que les impulsions ultrasonores peuvent dans certains cas être nuisibles au fœtus...

On emploie également l'échographie pour mesurer la densité des os et étudier les cas d'ostéoporose : c'est la ostéodensitométrie.

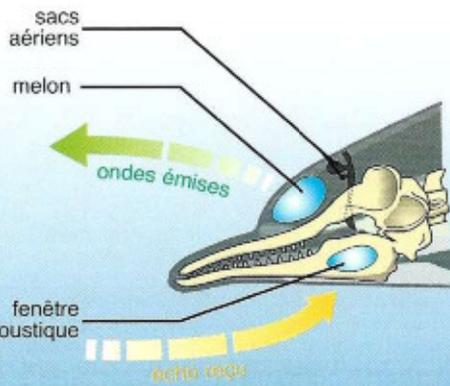
La vélocimétrie Doppler

Ici, l'émetteur ultrasonore est placé de sorte que les ondes soient émises à l'intérieur d'un vaisseau sanguin. Elles subissent alors un renvoi par les parois du vaisseau mais aussi par les globules rouges. Mais ces derniers étant en mouvement, la fréquence de l'écho est modifiée par rapport de celle du son à l'émission : c'est l'effet Doppler. L'écart de fréquence permet de déterminer la vitesse des globules rouges, de manière analogue aux radars qui mesurent la vitesse des voitures sur les routes.

LES SONARS DANS LE MONDE ANIMAL

Tout le monde a entendu dans des films ou documentaires les cliquetis émis par les dauphins. Il s'agit cependant de la part audible des émissions acoustiques de ces animaux... Par ailleurs, même si on sonne le plus souvent aux dauphins ou aux baleines, tous les cétacés (orques, marsouins...) émettent ce

L'écholocation chez le dauphin



genre de cliquetis. Cependant, alors que tous emploient ces vocalisations pour communiquer, seuls certains — ceux à dents (ou odontocètes) — en font un usage pour l'écholocation à la manière des chauves-souris. Chez les cétacés, les fréquences, très variables selon les espèces, vont de 10 kHz (audible) à 200 kHz (ultrasons).

UN EXEMPLE DE CÉTACÉ À DENTS :

LE DAUPHIN

Les dauphins ont une assez bonne vue, mais nageant souvent en eaux



troubles, leur sonar leur est d'une grande utilité. À ce titre, l'aire auditive du cerveau du dauphin — chargée de traiter les signaux acoustiques — est beaucoup plus développée que celle des humains. C'est la raison pour laquelle leur tête est plutôt large. De plus, le nerf auditif de l'animal est capable de transmettre beaucoup plus d'informations par seconde. Le sonar des dauphins leur permet non seulement de voir le relief sous-marin en trois dimensions, mais aussi de chasser des proies. La réception du son et le mécanisme mis en jeu sont assez mal connus. En revanche, on sait que l'émission sonar s'effectue sous forme de clics ultrasonores d'une milliseconde environ, plus ou moins espacés dans le temps. Le rythme est particulièrement rapide lors de la chasse (10 par seconde), car cela est nécessaire pour une poursuite et une localisation efficace de la proie. La directivité du faisceau ultrasonore est obtenue grâce à une protubérance à l'avant de leur front, le « melon », que l'on trouve d'ailleurs chez d'autres cétacés.

LES CHAUVES-SOURIS



Les chauves-souris sont bien connues pour leurs prouesses qui s'appuient sur

l'usage très impressionnant qu'elles ont du sonar. Comme chez les cétacés, les fréquences employées varient beaucoup d'une espèce à l'autre : cela va de 20 kHz à 150 kHz. Mais il faut noter qu'à 100 kHz par exemple, les vibrations possèdent une longueur d'onde bien plus faible dans l'air que dans l'eau. En effet, pendant le délai qui sépare deux ondulations successives à 100 kHz, délai que l'on appelle période (10⁻² seconde), l'onde a parcouru 3,4 mm dans l'air, mais 15 mm dans l'eau (cela en raison de la célérité plus faible du son dans l'air). Aussi, même si les fréquences les plus élevées chez les chauves-souris sont plus faibles que chez les cétacés, les longueurs d'ondes et par conséquent les résolutions spatiales sont meilleures. Cela permet ainsi à ces mammifères volants de chasser de petits insectes comme les papillons. De plus, l'analyse des signaux, notamment de l'effet Doppler est particulièrement poussée, ce qui permet à l'animal de poursuivre efficacement ces petites proies.

LE GUARACHO

Très peu d'oiseaux mettent en œuvre le sonar pour l'écholocation. Un exemple est le Guaracho (*Steatornis caripensis*), une espèce cavernicole sud américaine qui possède non seulement une très bonne vue comme tous les oiseaux, mais également une capacité d'écholocation, mise en évidence en 1950.

LES HUMAINS

L'écholocation chez les humains est très peu connue, mais pratiquée très efficacement par certains non voyants pour s'orienter et éviter les obstacles. Cela peut se faire principalement de deux manières différentes. Premièrement, par des vibrations produites à l'aide de la canne lors de chocs contre le sol. Dans ce cas, l'écho sonore, ou celui correspondant aux vibrations du sol renseigne le non voyant entraîné sur son environnement, notamment sur la position des obstacles. Dans le second cas, c'est l'écho du bruit émis par le claquement de la langue qui joue ce rôle. Cette technique a été mise au point par le Danois Daniel Kish, lui-même non voyant. Cependant, selon certains, il s'agit là non d'une technique que l'on peut apprendre mais d'un « don », un sens supplémentaire que possèderaient certaines personnes... Le débat est ouvert.