

# OCÉANOGRAPHIE ET GÉOPHYSIQUE

Les activités scientifiques d'**exploration de l'océan et de la structure terrestre**, ainsi que leurs prolongements industriels pour l'**exploitation des ressources minérales et pétrolières** font largement appel à l'acoustique, qui représente le moyen privilégié d'investigation à distance et de transmission sans fil d'informations. Les ondes acoustiques se propagent de manière très favorisée dans l'eau et les minéraux, au contraire des ondes électromagnétiques, et remplacent utilement ces dernières dont l'usage est plutôt efficace dans l'air et dans l'espace. Initialement et longtemps réservées aux applications militaires, les techniques acoustiques ont connu une large diffusion dans tous les domaines de l'océanographie et de la géophysique, auxquels elles fournissent aujourd'hui des outils incontournables.

En océanographie, les **géosciences marines** (géologie, sédimentologie, géophysique, géotechnique) sont particulièrement riches en applications. Les ondes acoustiques sont utilisées d'une part comme vecteur de signaux pour la détection, la mesure et la caractérisation des diverses composantes de milieu marin et sédimentaire. Les **sondeurs** (verticaux ou multifaisceaux, mesurant les temps de propagation de signaux rétrodiffusés par le fond à des angles donnés) sont les outils de base pour les levés de cartes marines représentant le relief sous-marin et utilisées pour la navigation ou pour la cartographie hydrographique ou scientifique. On peut également utiliser les informations énergétiques des signaux de sondeurs (traduisant la réflectivité de la cible, liée à ses caractéristiques physiques) pour extraire des informations sur la nature des fonds. La technologie de ces systèmes de bathymétrie, de plus en plus complexes en structure matérielle et en traitements, est actuellement en rapide évolution, et constitue un passionnant domaine d'innovation technologique : les plus récents sondeurs multifaisceaux peuvent former simultanément plusieurs milliers de faisceaux étroits de 1° ou moins, asservis pour compenser instantanément les mouvements du porteur, et assurent une précision relative de mesure bathymétrique de l'ordre de 1/1000<sup>e</sup>. Les **sonars latéraux**, insonifiant en incidence rasante le fond avec une très fine résolution, sont utilisés pour relever des « images acoustiques », pour détecter et imager des objets naturels ou artificiels présents sur le fond, pour relever les tendances générales ou les détails des faciès sédimentaires... Ce sont des instruments très courants et utiles en hydrographie, géologie et sédimentologie marine, archéologie, étude de l'environnement littoral... Les **sondeurs de sédiments** émettent verticalement des signaux modulés à forte énergie et très basses fréquences (2 à 10 kHz) qui peuvent pénétrer d'une centaine de mètres dans le sédiment et enregistrer les échos de structures enfouies (stratification) avec une résolution décimétrique, d'où leur utilisation en sédimentologie et géophysique, où ils constituent un excellent complément des systèmes de sismique, caractérisés par des pénétrations beaucoup plus importantes et une résolution moins fine. À très petite échelle, les **célérimètres acoustiques**, utilisés depuis longtemps dans le milieu liquide, permettent aujourd'hui la mesure locale dans les sédiments de la célérité acoustique (de pression, et plus prospectivement de cisaillement) et complètent utilement l'instrumentation géotechnique.

Dans le domaine de la recherche et l'exploitation des ressources pétrolières offshore, l'effort porte surtout sur les techniques de **sismique**, qui n'entrent pas *stricto sensu* dans le domaine de l'acoustique. Cette distinction est d'ailleurs question de convention et de « culture » plutôt que de réelle différence de nature.

Les phénomènes physiques, les principes de mesures, leur modélisation et leur exploitation, sont souvent les mêmes entre la sismique et l'acoustique sous-marine : l'instrumentation mise en œuvre en sismique se rapproche beaucoup de celle des sonars passifs basse fréquence (antennes hydrophoniques horizontales de très grande longueur) ; et la tendance future sera de remplacer les sources sismiques impulsives classiques (étincelleurs et canons à air) par des technologies électroacoustiques pour émettre des signaux acoustiques très basses fréquences, modulés et de niveau contrôlé. Nonobstant cette évolution à terme et un certain nombre de contacts existant, le secteur économique de l'exploration/exploitation des hydrocarbures, très puissant, n'interagit encore que trop peu avec le monde de l'acoustique, que ce soit sur les plans industriels ou académiques.

Dans le domaine de l'halieutique et de la biologie, les **sondeurs acoustiques** sont également très utilisés pour leur capacité à détecter et imager les bancs de poissons, couches de plancton, champs d'algues... Des sondeurs spécialement calibrés sont employés pour effectuer des évaluations quantitatives de la ressource ; de la qualité de leurs données dépendent les définitions de quotas réglementés aux niveaux nationaux et communautaires pour la pêche industrielle. Les matériels et les méthodologies mis au point à cet effet se perfectionnent constamment, avec par exemple l'apparition récente de sondeurs multifaisceaux pour l'halieutique, permettant une investigation tridimensionnelle du volume d'eau. De nombreuses années de travaux sur la détection automatisée des espèces de poissons à partir des caractéristiques des échos sonar élémentaires n'ont pas donné de résultats vraiment tangibles, et la caractérisation des espèces repose aujourd'hui préférentiellement sur des approches multifréquentielles, et l'exploitation conjointe de critères géométriques et d'informations environnementales.

L'effet Doppler est utilisé dans les **courantomètres acoustiques** (pour mesurer la vitesse du courant depuis un point de référence soit fixe soit de vitesse contrôlée). Cette technologie, issue du principe du loch acoustique (qui mesure la vitesse d'un mobile porteur par rapport au milieu aquatique), est de plus en plus utilisée pour étudier l'évolution locale de la dynamique des masses d'eau, et l'acquisition systématique des données de courantométrie fait aujourd'hui partie des missions routinières des navires océanographiques. Par ailleurs, l'exploitation de l'information énergétique contenue dans les échos permet d'accéder en plus à des informations concernant la présence et le transport de particules ou de micro organismes, dont les applications potentielles sont nombreuses en géosciences littorales ou en biologie.

L'étude, en océanographie physique, des perturbations hydrologiques à moyenne échelle (dizaines de km) a amené à s'intéresser à des techniques de **tomographie acoustique océanique**, qui ont connu une vogue certaine dans les années 1980-90 : l'idée est de transmettre des signaux à très haute résolution temporelle dans des réseaux de sources très basses fréquences et de récepteurs ; l'enregistrement sur le long terme des structures de trajets multiples, permet de remonter à l'estimation de perturbations locales de célérité acoustique, donc de caractéristiques hydrologiques (température, salinité). À plus grande échelle, des transmissions de signaux contrôlés de forte puissance ont été envisagées pour effectuer des mesures de **thermométrie acoustique globale** des bassins océaniques, dans le cadre de la surveillance du ré-

chauffement climatique ; ces essais ont été contrecarrés par les environnementalistes soucieux d'éviter les risques envers la faune sous-marine. Très intéressantes sur le plan conceptuel, les techniques d'océanographie acoustique très basses fréquences n'ont pas tenu leurs promesses sur le plan de l'intérêt réel pour l'océanographie physique, et sont aujourd'hui en déclin.

D'autres techniques, plus anecdotiques, ont été proposées pour **l'étude du milieu marin ou sédimentaire à partir de mesures du bruit ambiant** : suivi des précipitations ou de l'état de mer à partir du niveau sonore sous-marin local, ou tomographie acoustique océanique mésoéchelle utilisant des sources sonores d'opportunité (bruits rayonnés de navires par exemple). Ces approches, encore prospectives aujourd'hui, ne connaissent pas encore de mise en œuvre pratique.

Plus classiquement, au delà de leur rôle de vecteur pour l'investigation de la colonne d'eau ou sédimentaire, les ondes acoustiques peuvent servir à des fins de **communication, de signalisation ou de positionnement**. Les divers systèmes entrant dans cette catégorie (marqueurs acoustiques destinés à repérer un objet ; télécommandes acoustiques de systèmes sous-marins autonomes ; transmetteurs de données en général numérisées) sont des auxiliaires précieux pour l'intervention et l'instrumentation sous-marine, dès lors que l'on souhaite (et c'est le plus souvent le cas) éviter les liaisons par câbles pour les transmissions d'ordres ou d'informations diverses. La difficulté à résoudre pour ces systèmes, outre les nombreuses sources de perturbations intrinsèques au milieu marin, réside dans la nécessité d'utiliser des fréquences assez basses pour obtenir des distances propagation suffisantes, ce qui restreint la bande passante disponible et donc le débit possible ; les performances atteintes pratiquement (au mieux quelques dizaines de kilobits/s) sont donc très faibles par rapport aux systèmes hertziens.

Le **positionnement instantané de mobiles**, qui a énormément progressé dans les applications terrestres avec le développement de techniques comme le GPS, doit trouver des solutions originales en milieu sous-marin. Là encore, l'acoustique peut apporter des réponses incontournables : un mobile immergé peut se repérer soit par rapport à un ensemble de balises elles-mêmes géoréférencées, à partir de l'échange de signaux temporels (système base longue) ; soit se repérer à partir des différences de temps ou de phase des signaux reçus sur une antenne (base courte ou ultra-courte) fixée à un mobile en surface et lui-même contrôlé en position et mouvements.

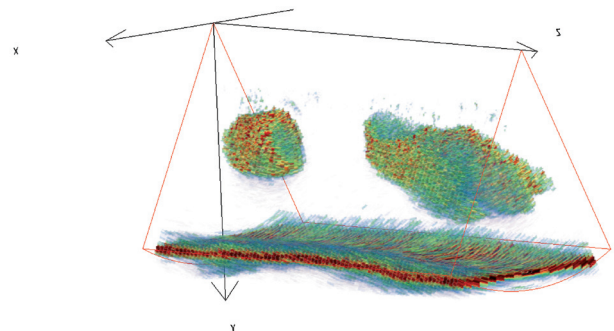
Les progrès de l'instrumentation acoustique sous-marine posent en parallèle nombre de problèmes spécifiques : **compatibilité** des capteurs entre eux, ou comment faire coexister et fonctionner simultanément sans trop d'interférence les émissions-réceptions de plusieurs systèmes revendiquant tous les mêmes bandes de fréquences ; réduction des **bruits propres** générés par les navires sur leurs propres capteurs, du fait de la propulsion, des écoulements hydrodynamiques, des nuages de bulles ; discrétion du **bruit rayonné**, dont la raison d'être va de soi pour les navires militaires et les sous-marins, mais concerne aussi les navires halieutiques, et s'inscrit dans une démarche générale de respect de l'environnement ; techniques d'implantation des transducteurs sur les navires et engins sous-marins ; nouvelle génération de « transducteurs numériques » intégrant préamplification et numérisation au sein du transducteur lui-même ; spécificités technologiques des **transducteurs pour grandes immersions** devant fonctionner sous des pressions hydrostatiques de plusieurs centaines de bars.

En contrepartie de tous ces développements technologiques, le thème de **l'impact environnemental des techniques acoustiques** prend de plus en plus d'importance, dans l'ensemble des activités scientifiques et industrielles en milieu océanique : l'étude de la nocivité des signaux sonores artificiels (sonars et sismiques), en particulier sur les mammifères marins, ainsi que l'augmentation du niveau de bruit ambiant liée au trafic maritime et aux activités industrielles offshore, fait l'objet de nombreux travaux ; des mesures de réglementation commencent à apparaître.

**L'activité d'acoustique sous-marine en France** est quantitativement dominée par les applications militaires – avec une époque particulièrement faste dans les années 1960 à 1990, où un potentiel industriel (privé ou étatique) d'environ 4 000 personnes travaillait essentiellement pour les activités liées à la construction des deux générations de sous-marins nucléaires, mais sans retombées significatives sur les secteurs océanographie et géophysique. Après la restriction générale des budgets de programmes d'armement, Thales Underwater Systems, seul industriel français restant sur le créneau de l'ASM militaire, emploie aujourd'hui environ 1 000 personnes en France ; sa tentative de diversification, dans les années 1990, vers des produits destinés au marché civil n'a pas abouti. Son importance au niveau international reste très significative, surtout dans le domaine des sonars de mines.

D'un autre côté, cette évolution a permis depuis une vingtaine d'années l'émergence de quelques entreprises, en général de format PME de 3 à 20 personnes, spécialisées dans des applications ciblées plutôt vers le domaine civil (industriel ou scientifique). À plus grande échelle, seules les sociétés iXSea et Sercel présentent des potentiels industriels suffisants pour leur assurer une certaine visibilité en acoustique sous-marine dans des domaines industriels actifs mais très concurrentiels, tels la recherche et l'exploitation pétrolière offshore ; encore dans les deux cas sont-elles adossées à des fonds d'activités vraisemblablement plus solides que l'acoustique. Sans être négligeable, l'ensemble du secteur ne constitue donc pas un tissu industriel vraiment dense, si l'on excepte le domaine géophysique lié au pétrole offshore, avec plusieurs poids lourds bien implantés au niveau international (Total, CGG-Veritas, Sercel...) mais dont l'acoustique reste une activité secondaire.

Outre les systèmes de réception sismique, qui représentent un important segment de marché, on ne trouve guère, en applications civiles, de produits français concurrentiels que dans la transmission de données et les systèmes de positionnement. Du coup l'essentiel du matériel sonar civil commercialisé (sondeurs de cartographie ou de pêche, sonars latéraux, ADCP...) est aujourd'hui de fabrication étrangère : Norvège, Etats-Unis, Danemark, Royaume-Uni, Japon... où en général les industriels les plus performants sont de taille moyenne (50 à 200 personnes), et nettement spécialisés dans telle ou telle catégorie de produit.



[ FIGURE 1 ] Représentation 3D d'échos de bancs de poissons et du fond obtenus avec les transducteurs sonar installés sous la coque du N.O. Thalassa.