

LIVRE V

ACOUSTIQUE

CHAPITRE I

Nature et qualités du son.

§ I. — NATURE DU SON.

Un son est une impression perçue par l'oreille; l'ouïe ne nous fournit qu'une sensation et nous en reportons la cause aux objets, dits « corps sonores », capables d'émettre des sons.

Comment un objet émet-il un son et comment l'impression atteint-elle nos organes?

1. *Corps sonores.* — Un corps qui émet un son est un corps en vibration; c'est-à-dire qui effectue des mouvements rapides capables d'influencer et de mettre en mouvement le milieu environnant. On peut s'en convaincre de bien des manières: en mettant une bille dans un timbre qu'on fait sonner, on voit la bille sautiller; en munissant une branche d'un diapason D (fig. 88) d'une petite pointe *p* appuyant légèrement sur une plaque de verre enduite de noir de fumée, et en la faisant vibrer, on note sur la plaque les déplacements très rapides du style.

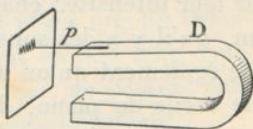


Fig. 88.

2. *Intermédiaire.* — L'intermédiaire entre notre oreille et le corps sonore est généralement l'air; l'air est mis en mouvement par les vibrations et transmet à notre oreille ce mouvement qui l'impressionne. Dans le vide, le son ne se

transmet pas; on a constaté, en faisant le vide dans un ballon en verre, qu'une clochette placée à l'intérieur ne donne plus de sons; si on laisse rentrer l'air, le son devient de plus en plus distinct à mesure que l'air devient plus dense.

§ II. — QUALITÉS DU SON.

Tous les sons ne se ressemblent pas; il y a les bruits les plus divers, dus à des chocs d'objets, à la voix, etc., et les sons dus à des instruments de musique. C'est de ceux-ci que nous parlerons désormais, car ils sont plus faciles à analyser et à obtenir toujours identiques.

1. *Intensité.* — Un son est plus ou moins intense et, si on enregistre les déplacements vibratoires du corps sonore, on constate que plus ils sont considérables, plus le son est fort. Donc, l'intensité du son dépend de l'amplitude du mouvement qui lui donne naissance: avec le même objet, le même instrument, on peut produire des sons intenses ou des sons faibles.

2. *Hauteur du son.* — Les sons diffèrent autrement que par leur intensité; chacun sait, sans en approfondir la raison, qu'il y a des sons aigus et des sons graves; on constate également qu'un même appareil, tel qu'une cloche ou une corde de piano, donne des sons qui, tout en pouvant varier d'intensité, ne changent pas comme hauteur: ils sont toujours aigus ou toujours graves. D'où provient donc cette différence?

Pour en démontrer la cause, on se sert généralement de deux appareils classiques: la roue dentée de Savart et la sirène de Cagniard-Latour.

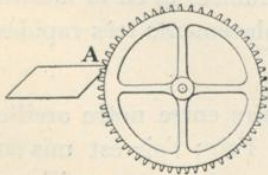


Fig. 89.

La roue de Savart (fig. 89) est une roue, munie d'un grand nombre de dents, que l'on fait tourner rapidement; contre les dents de cette roue on appuie en

A un carton léger ou une lame métallique mince. Si la

roue a N dents et fait n tours à la seconde, la carte est frappée Nn fois à la seconde.

On constate que le son devient plus aigu, monte d'autant plus que l'on augmente la vitesse de rotation et que, par suite, le nombre Nn devient plus grand.

Sirène de Cagniard-Latour. — Dans une caisse C (fig. 90) est amené de l'air par un tuyau aboutissant d'autre part à une soufflerie; cet air

peut passer dans un disque fixe F qui ferme la caisse par des trous.

Un disque mobile M peut tourner autour d'un axe vertical; ce

disque est percé de trous comme le disque

inférieur; mais les trous sont inclinés en sens inverse, de sorte que le jet d'air fait tourner le disque supérieur.

On envoie de l'air et on fait augmenter progressivement la vitesse de rotation; on entend un son qui monte lui aussi progressivement; le son est produit parce que les trous du disque inférieur étant alternativement en face d'un trou et d'une partie pleine du plateau supérieur, ne laissent échapper l'air que par jets interrompus périodiquement.

Un compteur de tours permet de savoir la vitesse de rotation du plateau et, comme on connaît le nombre de trous du disque mobile, on peut déduire de ces deux renseignements le nombre d'interruptions des jets à la seconde.

On voit donc que la hauteur du son dépend du nombre de vibrations à la seconde du corps sonore; une cloche, qui donne toujours le même son, donne toujours aussi le même nombre de vibrations.

Les sons les plus graves, perceptibles à l'oreille, sont de 16 vibrations à la seconde, les plus aigus de 36.000 vibrations; ces sons, graves ou aigus, qui sont à la limite

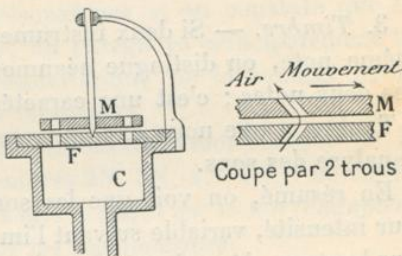


Fig. 90.

de perception de notre oreille, sont d'ailleurs fort pénibles à entendre.

La hauteur des sons est utilisée en musique où les notes diffèrent par des intervalles réguliers ; une note est caractérisée par le nombre de vibrations à la seconde. Les diapasons servant à accorder les instruments donnent, quand on les fait vibrer, le « la normal » ou « la₂ » qui est caractérisé par le nombre de 435 vibrations à la seconde.

3. *Timbre*. — Si deux instruments différents donnent la même note, on distingue néanmoins une différence entre ces deux notes ; c'est une caractéristique particulière dite « Timbre » que nous expliquerons au paragraphe III par l'analyse des sons.

En résumé, on voit que les sons sont caractérisés par leur intensité, variable suivant l'importance des vibrations, leur hauteur, dépendant du nombre des vibrations et qui est toujours la même pour un instrument tel qu'une cloche, une corde de piano, un diapason ; enfin par le timbre, caractéristique due à la nature de l'instrument producteur du son.

§ III. — ANALYSE DU SON. RÉSONANCE.

Quand un son se produit, par exemple par la vibration d'un diapason, un second diapason donnant la même note (même hauteur de son) se met à vibrer par suite de l'influence de l'ébranlement de l'air qui provoque son mouvement. Mais il faut, pour que cela se produise, que les deux instruments donnent la même note ; s'il en est autrement, le phénomène ne se produit pas. (A condition que les notes ne soient pas des harmoniques l'une de l'autre.)

On peut, au lieu d'un diapason, mettre à côté du premier des sphères creuses ; suivant leurs dimensions, l'air qui y est contenu vibrera quand on produira une note plus ou moins aiguë, les petites sphères vibrant aux notes les plus aiguës.

Si donc, au lieu d'un seul son, caractérisé par un nombre déterminé de vibrations, il s'en produit plusieurs, on constate que plusieurs sphères se mettent à vibrer ; on constate ainsi que le son produit était composé de vibrations de rapidités différentes ; ce système permet donc d'analyser des sons complexes.

Si on utilise cette méthode pour analyser les notes produites par divers instruments de musique, au moyen de ces sphères appelées « résonateurs », on constate que la note n'est jamais simple ; on enregistre principalement le nombre de vibrations caractéristique de la hauteur de la note, mais aussi d'autres vibrations.

Si N est le nombre de vibrations caractéristique de la note, on enregistre les nombres $2N$, $3N$, $4N$, $5N$,... de vibrations à la seconde : on dit que le son N est le *son fondamental*, $2N$, $3N$, etc., en sont les *harmoniques*.

On observe par cette méthode que le timbre des sons est dû aux harmoniques différents qui accompagnent le son fondamental ; ainsi la flûte donne des notes très pures, très peu chargées d'harmoniques, qui se réduisent donc à peu près au son fondamental ; les cordes vibrantes (violon, piano...) en donnent un assez grand nombre, ce qui les affecte d'un timbre différent.

Ce phénomène, que l'on vient d'étudier, de la vibration d'un corps par suite de la vibration au voisinage d'un corps donnant la même note s'appelle *Résonance* ; il est fort important ; et l'on trouve des exemples analogues dans beaucoup d'autres cas que dans l'Acoustique.

CHAPITRE II

Vitesse du son.

§ I. — VITESSE DU SON DANS L'AIR.

Le son se propage dans l'air avec une vitesse qui fut mesurée pour la première fois en 1738, et contrôlée souvent depuis : on constata qu'elle ne dépend que de la température et de la vitesse du vent ; ni l'humidité, ni la pression barométrique n'influent d'une manière sensible ; ni la hauteur, ni l'intensité, ni le timbre n'ont d'importance pour la vitesse de transmission : les sons aigus ou graves, faibles ou forts se transmettent avec la même vitesse.

Mais elle dépend de la vitesse du vent ; si la propagation se fait en sens inverse du vent, il faut retrancher la vitesse de ce dernier ; si tous deux vont dans le même sens, leurs vitesses s'ajoutent.

On a trouvé comme vitesse du son dans l'air non agité, à 0 degré centigrade, 333 mètres par seconde ; et 340 mètres à 15 degrés. La vitesse croît donc avec la température.

§ II. — VITESSE DANS L'EAU.

La vitesse du son fut mesurée par Colladon et Sturm sur le lac de Genève en 1827 ; ils trouvèrent 1.435 mètres à la température de 8° ; donc la vitesse est 4 fois $\frac{1}{2}$ plus grande que dans l'air.

Dans l'eau de mer elle est un peu plus grande : 1457 mètres à la seconde.

§ III. — VITESSE DANS LES SOLIDES.

Elle est encore plus considérable ; Biot l'avait trouvée

égale à 10 fois $1/2$ la vitesse dans l'air pour des tuyaux de fonte ; pour le fer et l'acier, elle est d'environ 15 fois celle dans l'air. On a donc des vitesses de 3.500 à 5.000 mètres à la seconde.

On remarque que plus la densité augmente, plus la vitesse s'accroît ; ainsi la vitesse est plus grande dans l'eau que dans l'air, plus grande dans les solides que dans les liquides.

On peut constater aussi que l'air, en raison de son agitation perpétuelle, est un très mauvais transmetteur du son ; au contraire, l'eau, dont les courants sont toujours bien moins rapides que le vent, donne une transmission très nette et à grande distance. Les solides sont encore plus favorables ; dans les expériences de Biot, un coup frappé sur une extrémité d'une conduite en fonte de 900 mètres de longueur était perçu avec la plus grande netteté à l'autre extrémité. On aura l'occasion, dans le chapitre III, de signaler l'utilisation de ces propriétés.

CHAPITRE III

Appareils récepteurs et émetteurs de son.

§ I. — PORTE-VOIX.

Soit un centre O d'émission de son ; le mouvement vibratoire se répand tout autour et, à distance R, l'énergie est répartie sur toute la surface de la sphère ; si donc on dépense une énergie E, elle est répartie, à la distance R, sur une surface $4\pi R^2$ (en supposant encore qu'elle se transmette sans pertes) ; l'oreille placée à cette distance ne reçoit, si O est

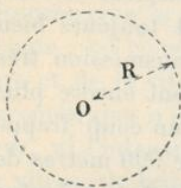


Fig. 91.

son ouverture, que $\frac{E \times O}{4\pi R^2}$.

Car, à distance R, l'énergie par unité de surface est $\frac{E}{4\pi R^2}$; plus R sera grand, et moindre sera l'impression ressentie.

Aussi, pour guider la voix à une certaine distance, on se sert d'un tube dit « Porte-voix » ; le tube cylindrique empêche l'énergie de se répartir sur une sphère et l'énergie se transmet de proche en proche, dans une section constante ; la transmission ainsi faite donne la même énergie par unité de surface en tous les points du tube, sauf bien entendu la diminution due aux pertes par frottements dans le tube et par chocs dans les coudes.

On emploie également des porte-voix progressifs, qui, allant en s'évasant légèrement, conduisent mieux la voix.

§ II. — CORNET ACOUSTIQUE.

C'est un appareil destiné à renforcer le son que l'on veut

écouter ; l'oreille étant en A, le pavillon B de surface d'ouverture S est tourné vers le centre d'émission du son. Si on en est à distance R, comme dans le cas du paragraphe I, l'énergie qui frappe

l'ouverture B est : $\frac{ES}{4\pi R^2}$; elle est cana-

lisée dans l'oreille jusqu'en A. Au contraire,

l'oreille seule n'eût reçu que l'énergie $\frac{EO}{4\pi R^2}$. L'intensité du

son est donc augmentée dans le rapport $\frac{S}{O}$. On voit par là l'utilité de ce cornet pour les oreilles affaiblies des sourds qui perçoivent difficilement les sons.

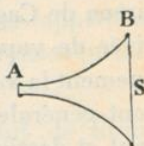


Fig. 92.

§ III. — APPAREILS PRODUCTEURS DE SON. SIFFLETS.

SIRÈNES. CORNES. CLOCHES AÉRIENNES.

En marine ces instruments ont une grosse importance pour signaler la présence d'un bâtiment, surtout par brume ; ils doivent permettre d'éviter les abordages ; de même les signaux sonores placés sur les côtes aux points où se trouvent des dangers en avertissent les bâtiments qui approchent.

Les sifflets sont formés par un appareil de dégagement de vapeur, portant une fente circulaire A ; par cette fente s'échappe la vapeur amenée de la chaudière par le tuyau V ; la vapeur dont le jet est brisé fait vibrer l'appareil et donne un son plus ou moins élevé. Une soupape S commandée de la passerelle permet de régler la durée et la fréquence des sons ; au-dessous, un robinet R (qui peut être reporté jusqu'à la chaufferie ou au tuyautage de vapeur) permet d'éviter les pertes et les condensations de vapeur quand on ne doit pas siffler.



Fig. 93.

D'autres sifflets sont formés par des fentes différentes ou des ouvertures, mais dont le but est toujours de briser le jet de vapeur.

Les sirènes sont généralement constituées, comme la sirène de Cagniard-Latour, par un disque tournant sur l'arrivée de vapeur; le disque en mouvement coupe périodiquement la vapeur, et, de ce fait, produit le son; les sirènes sont généralement munies d'un pavillon allant en s'évasant et destiné à diriger le son surtout sur l'avant du bâtiment.

Sur les bâtiments qui n'ont pas de vapeur à leur disposition, on emploie des cornets que l'on souffle soit mécaniquement, soit simplement à la bouche; de même, des cloches frappées périodiquement peuvent remplir le même rôle.

Tous ces appareils sont malheureusement peu puissants et, malgré les prescriptions des Règlements qui en imposent l'emploi d'une manière bien nette, ils sont souvent insuffisants. Les cornets et les cloches ne portent guère à plus d'un mille, même dans de bonnes conditions atmosphériques.

En outre, toutes ces transmissions aériennes sont influencées par le vent et troublées par la pluie et la brume. Un banc de brume peut intercepter parfaitement le son; il peut produire aussi des réflexions telles que la direction apparente du son ne peut renseigner sur la position réelle du bâtiment qui fait usage des signaux de brume.

§ IV. — CLOCHES SOUS-MARINES.

L'adoption des signaux sous-marins résulte des remarques faites au sujet de la vitesse de transmission du son dans les liquides: la vitesse est très grande et la transmission très régulière. Cette transmission n'est influencée ni par le vent, ni par la brume; elle sera donc toujours très sûre.

Depuis 1905 et 1906, des essais ont été faits sur des appareils réellement pratiques, en Allemagne, en Angleterre, aux États-Unis et au Canada; sitôt après, le déve-

loppement des installations s'est fait très rapidement ; la Compagnie qui exploite les brevets de ces appareils, Submarine Signal C^o, a effectué déjà de nombreuses installations.

Émetteurs. — Les cloches employées sont de forme spéciale, à lèvres épaisses, afin de donner des sons très nets ; elles ont 0^m36 d'ouverture, 0^m90 de hauteur et pèsent 64 kilogrammes. Ces cloches donnent un son caractérisé par 4.215 vibrations à la seconde.

Un marteau les frappe à intervalles réguliers ; ce marteau est mû par un mécanisme placé dans une enveloppe E qui soutient la cloche et la surmonte (fig. 94) ; l'ensemble est suspendu par une chaîne A qui laisse plonger l'appareil à 8 mètres de profondeur environ.

Deux tubes *t* et *t'* amènent l'air comprimé, quand c'est le mode employé pour sonner la cloche.

Les coups sont frappés d'une manière régulière ; par exemple, ils seront séparés par des intervalles de 2 secondes et répartis en séries de 5, séparées elles-mêmes par 6 secondes. On pourra reconnaître ainsi et identifier le bateau-feu qui porte la cloche, comme on reconnaît un phare par ses éclats.

La régularité et la distribution des coups sont donnés par un régulateur automatique dit « Code Ringer ».

L'appareil est mis généralement en mouvement par l'air comprimé (à 1 kg. 75 de pression) ; certains sont mus électriquement.

Certaines installations ont été faites sur des bouées ; la force nécessaire pour battre la cloche est empruntée aux vagues ; par suite, la fréquence des coups ne peut être réglée, on ne peut reconnaître la bouée par une sonnerie caractéristique. Un ressort règle la force des coups qui auront

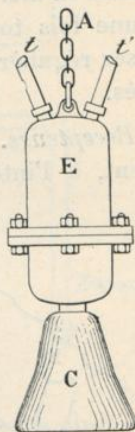


Fig. 94.

toujours ainsi la même intensité ; si donc on ne peut donner une sonnerie bien déterminée à la bouée, on pourra faciliter par des coups d'intensité constante la reconnaissance de la direction et de la distance de la cloche à l'observateur. Les cloches ainsi installées peuvent, avec les vagues très faibles (15 cm.), donner un coup toutes les 6 secondes ; quand la mer est grosse, elles sonnent jusqu'à la fréquence d'une fois toutes les 5 secondes ; la sonnerie est donc assez régulière et assurée par tous les temps, ou à peu près.

Récepteurs. — Les récepteurs sont installés dans le bâtiment, à l'intérieur ; sur deux membrures voisines MM'

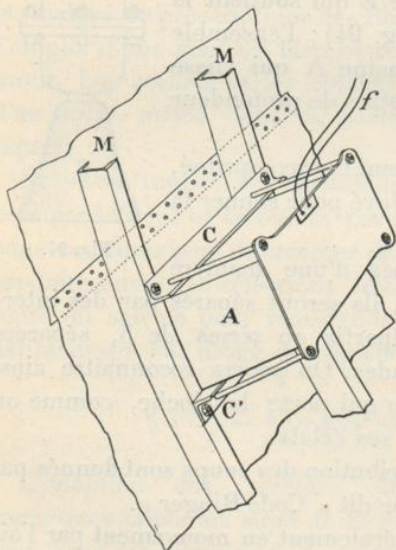


Fig. 95.

(fig. 95) sont fixées deux cornières cc' ; sur ces cornières prennent appui quatre barres qui maintiennent solidement contre le bord d'une caisse A.

Cette caisse est remplie d'eau de mer et dedans sont suspendus, complètement immergés, deux microphones (Cf. Électricité) d'un modèle spécial ; des fils f mettent ces microphones en relation avec des écouteurs placés dans la partie haute du bâtiment.

Il existe deux caisses identiques placées, l'une à bâbord et l'autre à tribord, à une certaine distance de l'avant du navire et assez loin de la flottaison ; elles ne doivent pas cependant être fixées dans les fonds ; elles sont en général aux environs du bouchain ou plutôt au-dessus.

Les fils portant des microphones M et M' (fig. 96) aboutissent à 2, 2', bornes d'un commutateur bipolaire qui permet de brancher le microphone bâbord ou le microphone tribord sur l'appareil écouteur : sur la figure, les traits pointillés montrent la communication avec bâbord. On trouve sur le circuit, une pile P et les deux écouteurs E et E' en quantité, un pour chaque oreille de l'observateur. C'est le schéma d'un téléphone ordinaire.

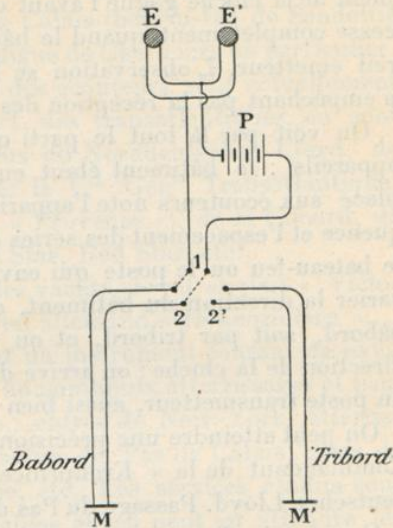


Fig. 96.

L'ensemble E, E', P, commutateur bipolaire, est placé dans le local d'où l'on veut faire les observations, par exemple dans le kiosque de navigation.

L'observateur ayant ces écouteurs aux oreilles, se met en relation par le commutateur avec le récepteur de bâbord ou de tribord par le seul jeu d'une manette. La manœuvre de l'appareil est donc très simple.

Fonctionnement. — On entend avec ces appareils un grand nombre de bruits divers, clapotement de l'eau sur la carène, bruit des hélices ; c'est pourquoi la position des caisses réceptrices doit être choisie à bonne distance de l'avant et de l'arrière, pour éviter d'entendre avec une trop grande intensité le bruit des hélices et celui de la vague formée par l'étrave.

Mais le son des cloches s'entend très nettement et très distinctement de tous les autres bruits qui forment plutôt un grésillement continu dans l'appareil. La perception est à son maximum de netteté quand la cloche se trouve

sur le travers du bâtiment ; le son diminue quand le relèvement de la cloche gagne l'avant ou l'arrière du bâtiment ; il cesse complètement quand le bâtiment a le cap sur l'appareil émetteur. L'observation se fait en marche, la vitesse n'empêchant pas la réception des signaux.

On voit par là tout le parti que l'on peut tirer de ces appareils : le bâtiment étant en marche, un observateur placé aux écouteurs note l'apparition du son et, par la fréquence et l'espacement des séries de coups, peut déterminer le bateau-feu ou le poste qui envoie le signal. En faisant varier la direction du bâtiment, on entend le son soit par bâbord, soit par tribord, et on peut ainsi déterminer la direction de la cloche ; on arrive donc à faire un relèvement du poste transmetteur, aussi bien qu'on relève un feu.

On peut atteindre une précision de 1 degré. (Rapport du Commandant de la « Kronprinzessin Cecilie » du Norddeutscher Lloyd. Passage du Pas de Calais, 23 mars 1908.)

Quant à la distance à laquelle on commence à entendre les cloches, elle varie évidemment avec la direction dans laquelle se présente le poste émetteur ; sauf le cas où on arriverait juste le cap sur la cloche, les sons sont perçus au moins à 5 ou 6 milles de distance. La meilleure observation a été recueillie par le « Kaiser Wilhelm II », le 5 mai 1908 ; le bâtiment marchant à 10 nœuds par brouillard épais dans une mer calme a entendu la cloche du bateau-feu français de Sandettié à 19 milles de distance ; le relèvement de la cloche était d'environ 75° sur l'avant du travers par tribord ; les sons à cette distance étaient très nets et permirent d'identifier sans ambiguïté le poste émetteur.

Applications. — Les États-Unis et le Canada ont actuellement un grand nombre de bateaux-feux et de bouées munis de cloches, sur la côte d'Atlantique ; l'installation doit être généralisée sur la côte d'Atlantique, celle du Pacifique et sur les Grands Lacs. L'Allemagne a pourvu de bateaux-feux la Mer du Nord et la Baltique ; la

Suède, la Belgique, la Hollande commencent à en garnir leurs côtes. En France et en Angleterre, des installations ont été faites sur le Pas de Calais (bateau-feu de Sandettié près Dunkerque) et sur la digue de Cherbourg en particulier.

Les navires ayant reçu des écouteurs sont actuellement très nombreux ; la plupart des transatlantiques en sont munis ; en particulier ceux du Norddeutscher Lloyd, de la Hamburg Amerika, de la C^{ie} Gén^{le} Transatlantique, (« Savoie », « Lorraine », « Provence »), de la Cunard, de l'American, Allan, White Star, Red Star, etc.

On peut citer en outre les yachts, royal anglais « Victoria and Albert » et impérial allemand « Hohenzollern ».

C'est donc actuellement un instrument courant de navigation qui est utilisé pour de nombreux atterrissages et passages difficiles par brume : entrée de New-York, atterrissage de Dungeness et passage du Pas de Calais, côtes de Hollande, entrée de l'Elbe, etc. Les services rendus sont actuellement très appréciables et on peut en attendre les meilleurs résultats pour la facilité et la sécurité de la navigation.

Cloches de collision. — Une autre application a été envisagée, sans avoir été jusqu'ici en usage courant ; si un bâtiment possède une cloche, il pourra avec elle, mieux qu'avec un sifflet ou une sirène, signaler sa présence et éviter un abordage ; un modèle spécial a été étudié dans ce but par la Submarine Signal C^o. Une cloche est plongée dans un coqueron à l'avant du navire et ce compartiment est rempli d'eau ; la cloche peut ainsi émettre des sons et devenir un moyen de communication facile et sûr. Il pourrait, par brume, indiquer exactement la position du bateau muni de la cloche avec plus de certitude que les sifflets qui s'entendent à peu de distance et surtout ne donnent aucune indication précise sur la direction.

