

La Discrétion Acoustique des sous-marins

Christophe Dirninger, Nicolas Touraine

DCN Ingénierie CN
BP 32
50115 Cherbourg Naval
France
Tél. : 02 33 92 10 00

Stéphane Gautard

DCN Services Brest
CS 72837
29228 Brest CEDEX 2
France
Tél. : 02 29 05 20 00

Remerciements à JC Poulain

Résumé

Cet article présente la démarche générale de conception en Discrétion Acoustique pour les sous-marins. Cette démarche comporte aussi bien les actions effectuées pendant la phase d'étude que celles effectuées pendant la phase de construction ainsi que les essais à qui et les essais d'acceptation en mer.

La démarche de conception comporte plusieurs étapes qui consistent à allouer des exigences aux trois composantes principales du bruit d'un sous-marin (bruit de l'appareil propulsif, bruit d'origine hydrodynamique, bruit de plate-forme), à identifier les types de sources de bruit et leurs importances, à établir des règles d'installation des matériels, à déterminer des niveaux objectifs de bruit et de vibrations des matériels à partir des niveaux de bruit rayonné contractuels du navire, et à respecter des règles d'architectures des circuits électriques et des circuits fluides (tracé de la tuyauterie, vitesse des fluides, fixations, etc.). La conformité avec les exigences de conception est pilotée pendant toute la phase de fabrication en s'assurant du respect des règles de montage et du déroulement correct des essais à bord. Le but de ces derniers est de contrôler la rigidité des structures, la qualité de montage des suspensions et l'atténuation fournie par les liaisons élastiques. Pour illustrer ces dispositions visant à maîtriser la Discrétion Acoustique de toutes les phases de réalisation du navire, une prévision de bruit rayonné est présentée pour une situation acoustique donnée en précisant les différentes contributions prises en compte. Après la phase de conception, sera présenté le suivi effectué pendant la phase de construction, les essais réalisés à la mer ainsi que les travaux nécessaires au maintien du niveau de discrétion du sous-marin durant toute sa durée de vie.

Abstract

This paper presents the process of Acoustic Discretion design for the submarines, including the measures taken during studies, and the follow-up achieved during the construction and the trials (harbour and sea acceptance trials). The design process is presented with the main principles: requirements allowance to the main systems (propeller, hydrodynamic, platform), organization and relative importance of noisy sources, principles of equipment fitting (getting noisy sources back together on suspended intermediate structures for example), determination of noise and vibration target levels for equipment from radiated noise target levels (this calculation is achieved from the acoustic and vibration transfer knowledge of structures and elastic connections), architectural rules for electrical and fluid circuits (layout, fluids velocity, connections fitting, etc.). Compliance with the design, requirements are monitored throughout the construction in order to respect the fitting rules, and the correct progress of onboard tests : the purpose of these tests is to check the structure stiffness, the suspension fitting quality and the attenuation provided by elastic connections. To illustrate these comments, a radiated noise simulation is presented for an acoustic situation by mentioning contributions taken into account. After the design process, many tests, controls and corrective actions are performed to check and reach the radiated noise target levels, during construction and through-life support.

La démarche de conception

La première étape définit les configurations acoustiques correspondant à chaque Situation Acoustique Contractuelle (SAC). A chaque SAC correspond des niveaux objectifs de bruit rayonné (NOBR) pour le navire et un ensemble de conditions bien définies telles que l'immersion, la vitesse et une liste de matériels en fonction.

Une SAC représentative pour un sous-marin peut être :

- une « situation patrouille » : en plongée avec une vitesse en général faible – quatre nœuds environ – où sont demandées les caractéristiques de discrétion les plus élevées.

- une « situation transit » : en plongée avec une vitesse de déplacement discret – environ huit à dix nœuds –, où le bâtiment présente de très bonnes performances d'écoute en étant discret et en conservant des réserves énergétiques suffisantes pour rester un temps significatif dans cette situation.

- une « situation schnorchel » : à l'immersion périscopique avec une vitesse de six nœuds environ où le sous-marin est très vulnérable (pour les navires conventionnels – c'est-à-dire non nucléaires – les moteurs diesel fonctionnent pour recharger les batteries).

Avant de poursuivre la démarche, une revue des principales sources de bruit et des voies de transmission est effectuée. Il faut cependant distinguer :

- le bruit ambiant (trafic maritime, milieu naturel et conditions météorologiques),
- le bruit propre du sous-marin qui parasite son système d'écoute,
- le bruit rayonné en champ lointain (Figure 1) qui est généré par le propulseur, les phénomènes hydrodynamiques, et les sources internes.



Fig. 1 : Sources de bruit rayonné en champ lointain

La figure 2 illustre comment les sources internes transmettent le bruit à la mer par les voies :

- solide (transmission des vibrations vers la coque à travers les plots de suspension, les structures intermédiaires, les tuyauteries et les câbles),
- fluide (transmission des fluctuations de pression par les tuyauteries),
- aérienne (excitation de la coque par le bruit aérien intérieur à la coque généré par les équipements).

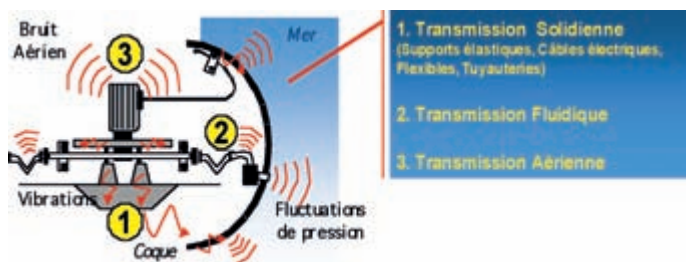


Fig. 2 : Chemins de transmission des bruits et des vibrations à partir d'un matériel à bord jusqu'à la mer

Les contributions des composantes de bruit principales connues (propulseur, phénomènes hydrodynamiques, sources internes) sur les NOBR sont définies pour plusieurs situations acoustiques du sous-marin (vitesse du sous-marin, immersion et état de fonctionnement des installations) :

- Pour la SAC « patrouille », l'écoulement sur la coque et le bruit dû à la propulsion sont négligeables, donc le NOBR est entièrement alloué aux sources internes (matériels à bord).
- Pour la SAC « transit », les bruits hydrodynamiques et de la propulsion doivent être pris en compte en plus du bruit des équipements.

- Pour la SAC « schnorchel », les moteurs diesel sont les sources prépondérantes de bruit rayonné.

Ces allocations imposent des exigences de bruit et vibrations sévères sur tous les matériels à bord ainsi que sur l'hélice, la coque et ses appendices.

La composante propulseur : le bruit d'hélice

L'hélice dissipe directement dans l'eau la majeure partie de l'énergie consommée à bord du sous-marin. C'est donc potentiellement la source la plus importante de bruit rayonné.

Les moteurs électriques de propulsion, la ligne d'arbre et l'hélice sont optimisés pour obtenir un nombre de tours de la ligne d'arbre par nœud réduit, dans le but de diminuer le niveau de bruit rayonné, du fait que les niveaux d'excitation hydrodynamiques augmentent rapidement avec la vitesse d'écoulement du fluide. Tous les mécanismes de production de bruit rayonné par une hélice et sa ligne d'arbre doivent être pris en compte (figure 3).

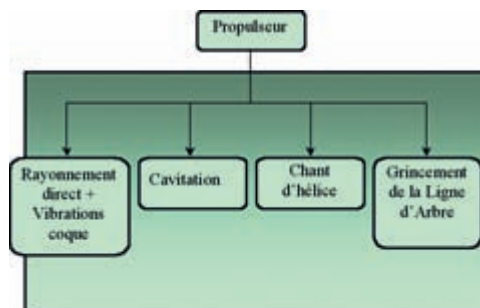


Fig. 3 : Origine du bruit du propulseur

Les hélices des sous-marins de DCN sont conçues en coopération avec le Bassin d'essais des carènes du Ministère de la défense qui possède d'importants moyens de simulations numériques et d'essais. La figure 4 illustre l'évolution des formes d'hélice de sous-marins au cours du xx^e siècle.

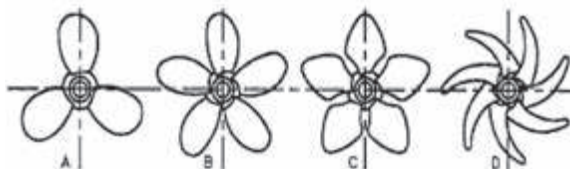


Fig. 4 : Évolution des formes d'hélice du type A au Type D

Le chant d'hélice provient d'une interaction fluide/structure sur les pales d'hélice. Ce phénomène apparaît lorsqu'il y a coïncidence entre un phénomène tourbillonnaire et mécanique. Son apparition dépend de la géométrie et de la vitesse de rotation de l'hélice ainsi que de la vitesse d'avancement du navire. Le résultat est une raie très pure dans le spectre de bruit.



Fig. 5: Cavitation en bout de pale d'hélice.
Photo: Bassin d'essais des carènes

La figure 5 présente un phénomène de cavitation le long de l'extrémité d'une pale d'hélice. La cavitation est une ébullition de l'eau lorsque la pression en un point du fluide vérifie certaines caractéristiques. Le bruit de cavitation varie avec l'immersion et la vitesse du sous-marin. A l'oreille, il apparaît la plupart du temps comme un crépitement plus ou moins modulé par la rotation des pales. Cette source prépondérante du bruit d'hélice doit être éliminée ou minimisée à tout prix.

Les problèmes de lubrification des paliers de ligne d'arbre peuvent conduire à l'apparition cyclique de frottement sec et donc à un phénomène de broutement entraînant des vibrations de ligne d'arbre voire une excitation des pales. Ce phénomène apparaît en général pour des allures faibles et dans des plages de vitesses étroites.

La composante hydrodynamique : les bruits d'écoulement

On appelle bruit d'écoulement, d'une manière générale, le bruit rayonné par le navire dont l'origine peut être identifiée comme étant le développement d'une couche limite turbulente sur la carène.

Pour réduire le bruit hydrodynamique, les solutions doivent être trouvées pour éliminer ou minimiser les perturbations qui affectent la couche limite sur la coque ainsi que les vibrations de cavités, de structures et d'appendices provoquées par l'écoulement. Il est donc nécessaire d'éviter :

- des formes provoquant des décollements (travail sur les appendices),
- toute discontinuité de pente ou de courbure susceptible de provoquer une émission tourbillonnaire,
- des interactions néfastes entre appendices et éléments de pont,
- des interactions néfastes sur les ouvertures de coques (minimisation ou traitement de ces ouvertures).

La figure 6 présente les principales composantes du bruit hydrodynamique.

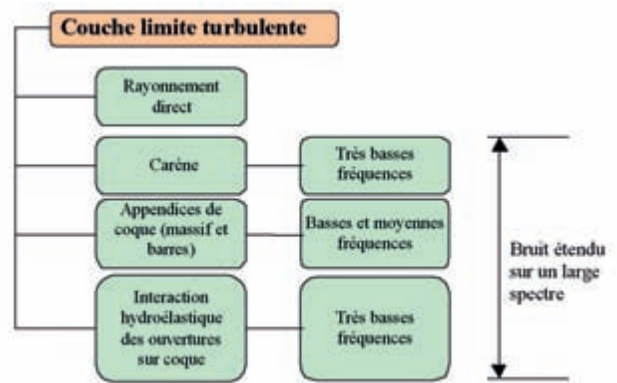


Fig. 6: Origine du bruit hydrodynamique

La forme « Albacore » choisie pour les carènes de sous-marins est globalement elliptique à l'avant, possède une partie centrale pseudo-cylindrique et est parabolique à l'arrière (figure 7).

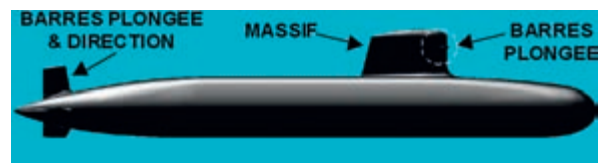


Fig. 7: Forme « Albacore » d'une carène de sous-marins

Ce choix et le respect des règles décrites ci-dessous permettent d'obtenir un faible bruit rayonné à des vitesses moyennes :

- réalisation d'appendices aussi petits et carénés que possible. Les appendices essentiels (ailerons, safrans, mâts) doivent être carénés avec minutie pour éviter la cavitation, les écoulements turbulents et les perturbations de sillage (en dimensionnant les bords de fuites et en réduisant le jeu entre les parties mobiles et fixes),
- élimination ou minimisation des parties mobiles de contrôle et de direction pouvant vibrer (barres de plongée, gouvernes). Un soin particulier quant à la forme et à l'état de surface est essentiel.
- optimisation des orifices de grand diamètre et de divers appendices escamotables (treuil, ancre) pour assurer une continuité de forme,
- spécification et surveillance de la rugosité des éléments constituant la carène (coque et appendices),
- spécification et contrôle des fréquences modales de toutes les structures et appendices,
- optimisation des grilles de ballast.

La composante plate-forme : le bruit des matériels à bord

Il n'est pas aisé d'établir un bilan synthétique sur la façon dont les matériels émettent des perturbations susceptibles de provoquer un bruit dans l'eau, chaque matériel et chaque installation constituant presque un cas d'espèce. Le bruit d'un sous-marin correspond surtout à des sources du type machines tournantes, fréquences de courant alternatif, résonances de

structures, phénomène de couplage fluide/structure. Le bruit rayonné en champ lointain par une installation peut avoir plusieurs origines :

- La transmission des vibrations mécaniques par la voie solide. Ce mode de transmission met en jeu le montage des équipements et leurs liaisons (plots élastiques, bagues élastiques, flexibles sur tuyauteries, câbles électriques) ainsi que le transfert vibratoire des structures intermédiaires qui les supportent. Les risques de couplage fluide/structure comme la génération de fluctuations de pression notamment dans les circuits d'eau de mer du navire doivent également être pris en compte.
- La transmission des fluctuations de pression par la voie fluide. Ce mode de transmission met en jeu les circuits d'eau de mer et le couplage fluide/structure indirect entre la tuyauterie, les singularités (vannes, divergents, convergents, etc.), les structures de support et les liaisons.
- La transmission du bruit émis par la voie aérienne. Ce mode de transmission peut exciter la coque directement ou indirectement par les carlingages, les cloisons, les planchers, etc.

Sur la base du retour d'expérience acquis sur les sous-marins nucléaires et conventionnels pour la Marine Française et des clients internationaux, les installations et les matériels peuvent être classés en fonction de leur aptitude à générer des niveaux de bruit rayonné importants ou non. Avec ce classement, il est alors possible de proposer le type de montage permettant de respecter les objectifs de bruit rayonné.

Les différents types de montage des machines tournantes retenus par DCN pour les matériels soumis à des exigences de Discrétion Acoustique sont :

- suspendu ou découplé sur coque,
- suspendu ou découplé sur structure intermédiaire (berceau, châssis) elle-même suspendue,
- montage rigide sur structure intermédiaire suspendue.

Il est à noter que les montages découplés assurent une isolation aux moyennes fréquences entre un matériel et sa structure de support. Les montages suspendus plus efficaces assurent une isolation dès les fréquences basses.

L'étape suivante consiste à définir les niveaux objectifs de bruit et de vibration pour chaque matériel dont le montage est connu et identifié comme source de bruit potentiel. Ceci est effectué en considérant en plus des voies de transmission précédemment décrites :

- les propriétés de transmission des forces des carlingages, des berceaux, des châssis,
- la raideur dynamique des liaisons souples (plots, flexibles, câbles, etc.),
- la physique du rayonnement de la coque.

Il s'ensuit l'analyse de la contribution de chaque voie selon le type de bruit ou de vibration. Dans le cas de vibrations transmises par des liaisons souples, il s'agit d'identifier les contributions des plots, des flexibles et des câbles.

La figure 8 montre une maquette d'un berceau pour l'étude des forces qu'il peut transmettre en utilisant des pots vibrants

en guise de sources excitatrices. En mesurant les niveaux de bruit rayonné dans l'eau, les fonctions de transfert combinant berceau, plots, interfaces de fixation et coque sont alors évaluées.

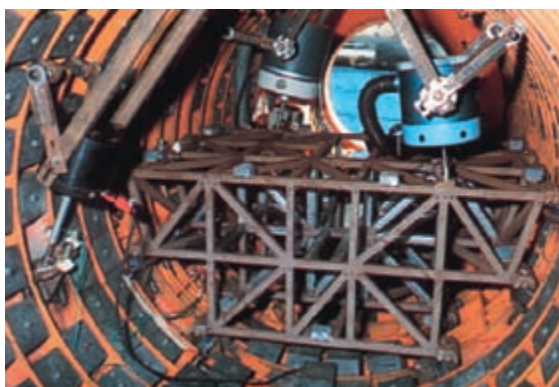


Fig. 8 : Maquette de berceau

La démarche d'allocation

La démarche descendante (figure 9) illustre l'allocation des contributions de chaque voie et de chaque matériel aux niveaux objectifs de bruit rayonné qui est comparée à la démarche ascendante de modélisation de la prévision de bruit rayonné. Si la démarche descendante utilise comme données d'entrée les niveaux de bruit rayonné contractuels du navire pour fournir en sortie les niveaux objectifs de bruit et vibrations de chaque voie et de chaque matériel, la démarche ascendante, quant à elle, part de la capitalisation des niveaux des équipements pour évaluer le bruit du navire. En effet, à partir des propriétés bruit et vibrations de chaque matériel déterminées pendant les essais d'acceptation en usine, la simulation fournit des prévisions de bruit rayonné du navire.

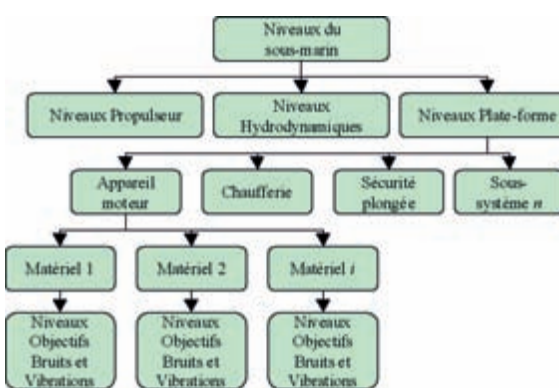


Fig. 9 : Démarche descendante : Contributions au bruit rayonné objectif alloués pour chaque voie de transmission et chaque matériel

Pendant la phase de conception préliminaire, des données de bruit et vibrations proviennent de fournisseurs de matériels ou de bases de données. Ces informations sont obtenues à partir de mesures sur des matériels équivalents ou d'extrapolation de données existantes. Les niveaux alloués et les analyses associés de la phase descendante sont alors remis à jour

à partir des essais d'acceptation en usine et des matériels standards réceptionnés et testés. A partir des écarts entre les niveaux objectifs de bruit rayonné et les prévisions de bruit rayonné il est alors possible de connaître les éventuels dépassements et d'identifier les matériels et/ou les voies responsables.

La démarche Discrétion Acoustique ici décrite garantit que les risques d'indiscrétion sont clairement identifiés et que des actions curatives sont rapidement exécutées.

Les actions curatives sur les sources incluent l'équilibrage des machines tournantes, l'optimisation des structures, l'isolation acoustique, etc. Un exemple concernant un climatiseur est présenté figure 10. Les premières mesures (Trial 1) de la figure 11 montrent des niveaux vibratoires plus importants que les niveaux contractuels. Le respect des exigences a été obtenu après plusieurs modifications (mesures Trial 2, Trial 3 et Trial 4 de la figure 11 :

- Test 1 : niveaux mesurés avant modifications ;
- Test 2 : après avoir soudé des raidisseurs sur le carlingage du ventilateur ;
- Test 3 : après équilibrage du ventilateur ;
- Test 4 : après un changement du compresseur.



Fig. 10: Montage d'essais autour d'un climatiseur

Ces résultats finaux montrent qu'il est possible d'améliorer un équipement qui ne donnait pas initialement des performances satisfaisantes.

Les actions curatives sur les voies de transmission comprennent la modification des types de montage (c'est-à-dire remplacer un montage rigide sur structure intermédiaire quelconque par un montage suspendu sur un berceau optimisé), l'adaptation de raideur des liaisons souples, le dimensionnement d'un capotage acoustique, l'étude d'un silencieux, etc.

La figure 12 présente l'adaptation d'un silencieux pour un auxiliaire (une pompe) monté sur un berceau (représenté à l'aide de traits pointillés). Les fluctuations de pression acoustique générées par la pompe à huile étaient estimées trop importantes (courbes noires des figures 13 et 14).

L'insertion de deux silencieux (un accumulateur et un silencieux réactif) permettent de diminuer les niveaux dans le circuit et à la mer (courbes bleues et rouges des figures 13 et 14). Ces améliorations ont permis d'utiliser une pompe industrielle standard générant initialement de forts niveaux de pression acoustique.

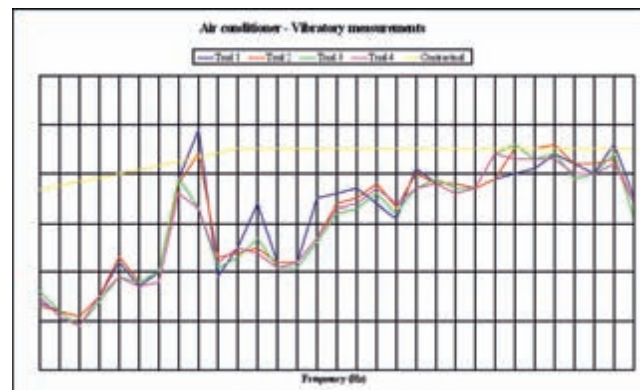


Fig. 11: Niveaux d'accélération en bandes larges sur les pattes de fixation d'un climatiseur

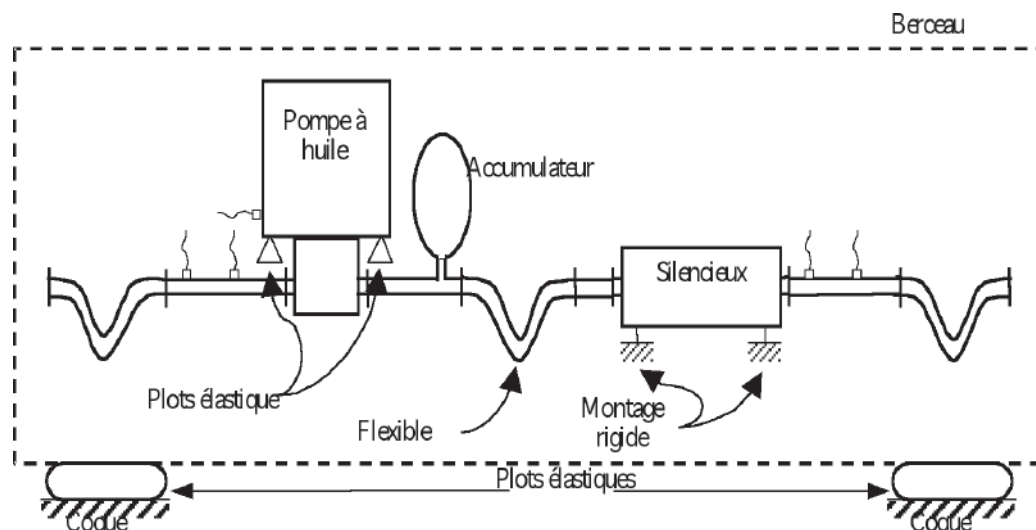


Fig. 12: Principe d'adaptation de silencieux

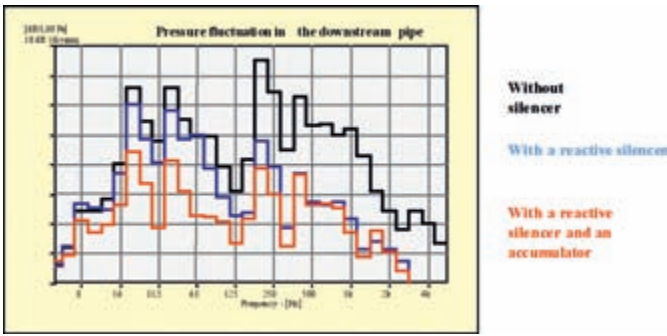


Fig. 13: Mesures dans les tuyaux

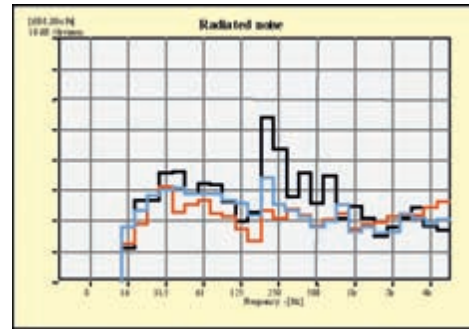


Fig. 14: Mesures en mer

Un autre aspect important de la Discrétion Acoustique à DCN concerne les contrôles des réseaux de tuyauteries (en air, en eau, etc.) suivant des recommandations de conception pour éviter des sources de bruit passives secondaires dues aux écoulements à rétrécissements ou à des non-conformités concernant :

- le tracé (larges rayons de courbure, absence de discontinuités, convergents et divergents avec des angles adoucis, etc.),
- les raccordements (fixations de tuyauterie décollées, adaptateurs flexibles, etc.).

réfléchissent une partie de l'énergie vers la source (par exemple en utilisant des changements brusques de diamètre). Les silencieux passifs dissipatifs comportent des éléments élastiques (à base de caoutchouc) qui transforment l'énergie acoustique en chaleur.

DCN utilise un logiciel pour la modélisation de systèmes hydrauliques comportant des sources acoustiques (figure 16). Les fluctuations de pressions acoustiques dans les circuits et le bruit rayonné à la mer sont alors calculés et prédits.

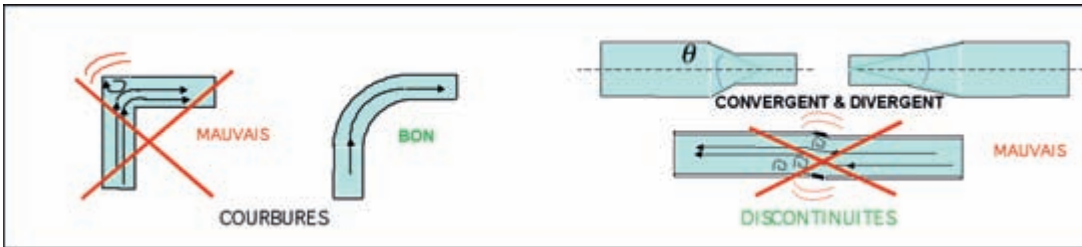


Fig. 15: Exemples de non-conformité

Si l'espace disponible impose un tracé présentant des risques sur les niveaux objectifs, des silencieux peuvent être utilisés. Il existe deux sortes de silencieux passifs (réactifs et dissipatifs). Les silencieux passifs réactifs, aussi appelés résonateurs,

Un exemple de calcul de bruit rayonné avec et sans silencieux pour un circuit d'assèchement est présenté figure 17. Avec cet outil, les concepteurs peuvent choisir le silencieux approprié et optimiser sa position dans le circuit.

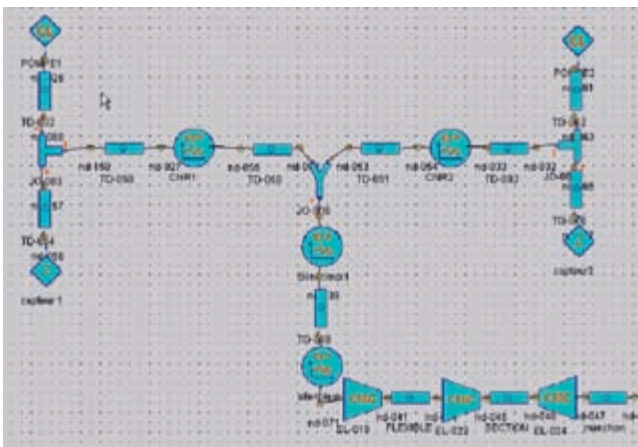


Fig. 16: Schéma de la modélisation d'un circuit d'assèchement

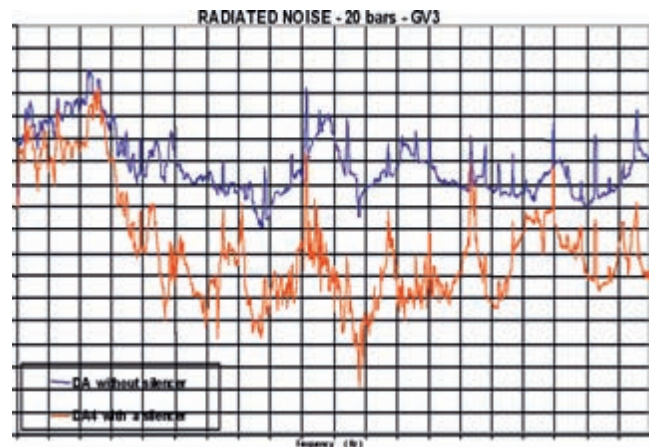


Fig. 17: Résultats de calcul

Suivi pendant la fabrication

Pendant toute la phase de fabrication, les spécialistes Discrétion Acoustique poursuivent leur travail sur le site du chantier naval pour s'assurer de la conformité des actions avec les spécifications de conception et de contrôle.

Ceci comprend :

- la vérification de tous les carlingages,
 - la réalisation des essais à bord,
 - la recherche d'anomalies, en coopération avec les ateliers de fabrication, pour identifier des causes cachées et pour prévenir des problèmes qui pourraient encore se produire.
- En cas d'anomalie, les spécialistes Discrétion Acoustique doivent proposer des actions curatives et faire une revue des conséquences éventuelles (par exemple sur la masse, l'emménagement, le coût...) avec l'équipe de projet.

Lors des contrôles des montages (figure 18), divers essais et vérifications sont effectués pour identifier les écarts (avec les spécifications de conception) et les solutions à apporter. Une attention particulière concerne :

- la raideur dynamique des structures (les carlingages et les berceaux),
- l'écrasement des supports élastiques,
- les fréquences propres des matériels et des berceaux,
- les propriétés vibratoires des liaisons élastiques et leurs effets en amont et en aval.

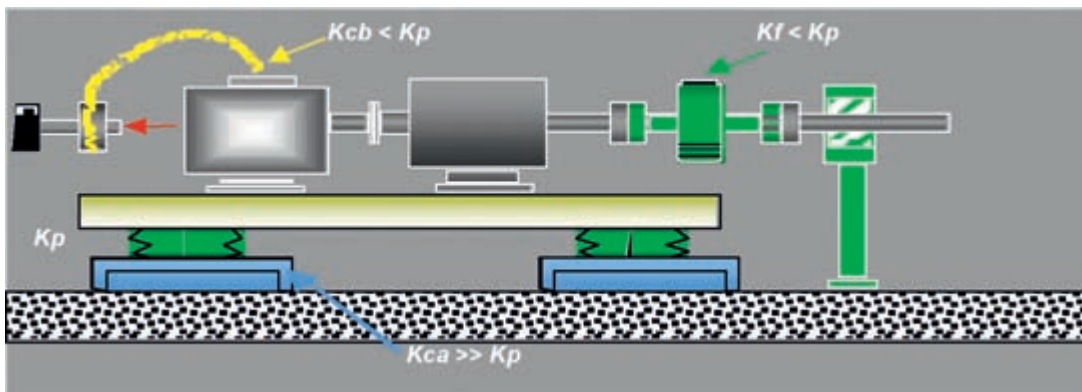


Fig. 18 : Contrôle des raideurs K_p des plots, K_{cb} des câbles, K_{ca} des carlingues et K_f des flexibles

Un fois les équipements intégrés au navire, les spécialistes Discrétion Acoustique effectuent les contrôles finaux et mesurent le bruit rayonné en champ proche produit par chaque matériel. Ces essais sont utilisés pour comparer le niveau objectif de bruit rayonné de chaque matériel avec le niveau réel et d'obtenir un retour d'expérience pour les équipes de conception de la DCN.

Exemple

La figure 19 présente le système d'acquisition de la DGA installé en Méditerranée au Cap Ferrat et son antenne d'hydrophones utilisée pour mesurer le bruit rayonné d'un sous-marin.

La figure 20 présente les résultats issus des essais acoustiques comparés à ceux issus des prévisions de bruit rayonné produit par un sous-marin Agosta à six nœuds en situation « schnorchel ».

Les résultats de la prévision de la figure 20 comprennent :

- le bruit du propulseur (résultats extrapolés à partir de mesures sur maquette pendant des essais en tunnel hydrodynamique),
- le bruit hydrodynamique (basé sur une combinaison entre des calculs théoriques et des données expérimentales),
- le bruit des matériels à bord (trente matériels considérés comme sources de bruit principales). Comme défini

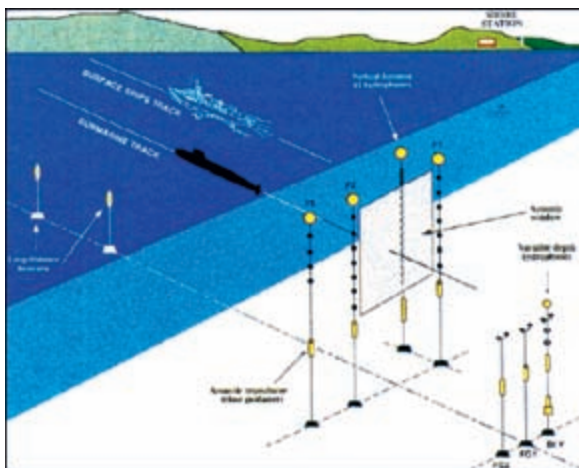
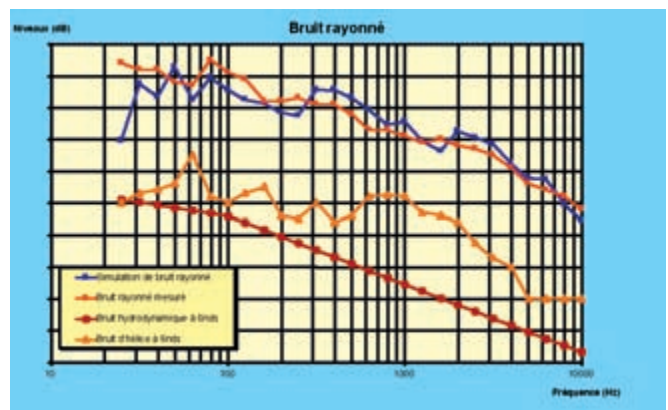


Fig. 19 : Système d'acquisition du bruit rayonné de sous-marin du Cap Ferrat en Méditerranée



F20 : Spectre de bruit rayonné par un sous-marin de type Agosta à six nœuds en situation « schnorchel ». Comparaison entre les résultats d'essais et de simulations numériques (niveaux confidentiels)

précédemment, les données utilisées sont ici fondées sur des résultats d'essais prenant en compte chaque type de matériel, les trois voies de propagation (solide, fluide et aérienne), les montages et les liaisons (plots, flexibles, câbles, etc.).

Remarques sur l'habitabilité

En plus des critères associés à la Discrétion Acoustique des sous-marins, les principaux locaux sont soumis à des contraintes de niveaux acoustiques dits « d'habitabilité ». Ces contraintes sont liées d'une part au confort acoustique des personnes à bord et d'autre part aux objectifs opérationnels du sous-marin (un niveau de bruit trop élevé dans les locaux opérationnels peut perturber le travail des opérateurs). Elles figurent généralement dans les exigences contractuelles.

Les équipements doivent donc respecter un niveau de puissance acoustique global cohérent avec les objectifs de pression acoustique dans les locaux, en fonction de leur implantation et de la situation dans laquelle ils fonctionnent. Ces contraintes s'appliquent sur les équipements dits bruyants tels que pompes, compresseurs, convertisseurs, climatiseurs, ventilateurs, transformateurs, moteurs électriques mais aussi les baies de calcul, les pupitres de conduite, les tableaux électriques et les coffrets de démarrage des machines tournantes, et viennent se cumuler avec les exigences de bruit rayonné définies précédemment.

Cela se traduit par une isolation phonique complète (plancher, cloison, plafond, porte) et des mesures de réduction de bruit (écrans ou capotages acoustiques, étude de l'emplacement des machines bruyantes, étancher soigneusement les fuites acoustiques aux passages des tuyauteries au travers des cloisons et parquets, etc.).

Le maintien des performances de discrétion acoustique durant toute la durée de vie du sous-marin : exemple de l'entretien des Sous-marins Nucléaires Lanceurs d'Engins de Nouvelle Génération (SNLE NG) à Brest

Une fois le bâtiment admis au service actif, les performances de Discrétion Acoustique obtenues à l'issue de la construction doivent être maintenues pendant tout le cycle opérationnel du sous-marin. A titre d'exemple, DCN Services Brest réalise, pour le compte de la Direction des Services du Soutien de la Flotte du Ministère de la Défense (DSSF), les entretiens courants et majeurs des SNLE NG sur les sites de l'île Longue et de Brest.

Les nombreuses interventions d'entretiens (préventif et correctif) réalisées lors des périodes d'arrêt techniques programmées des SNLE NG doivent donc être conduites dans le respect des règles de Discrétion Acoustique, afin de pouvoir garantir un niveau de bruit rayonné à la fin de cet arrêt au moins aussi bon qu'à son début.

Pour cela, DCN Services Brest réalise de nombreux contrôles et expertises qui permettent la détection d'anomalies acoustiques potentielles afin de pouvoir les corriger au plus tôt :

- Au niveau des sources : la maintenance conditionnelle et prédictive des machines tournantes, qui permet de garantir le fonctionnel (tenue mécanique accrue) mais également de vérifier systématiquement que les niveaux de vibrations

mesurés à bord ou en atelier restent en deçà des niveaux maximums admissibles (gabarits de discrétion),

- Au niveau de l'environnement (transfert sources – coque) : examen et corrections de « ponts sonores » (contacts francs entre structures initialement découplées), suivi de l'écrasement des plots de suspension (remplacement le cas échéant), vérification des capotages pour le transfert aérien,

- Au niveau du propulseur : inspection, nettoyage, réparations éventuelles,

- Au niveau des sources extérieures d'origine hydrodynamique : examen des continuités de forme et des états de surface des appendices et superstructures,

- Validations en bassin ou à quai : mesures vibratoires (sources et coque) et éventuellement mesures acoustiques en champ proche (en eau à 1 m de la coque) pour vérification du non dépassement de l'objectif de bruit rayonné des sources internes.

A l'issue de l'arrêt technique, le SNLE NG sera finalement écouté à différentes vitesses en plongée par un bâtiment mesureur équipé d'une antenne remorquée. Ces mesures, réalisées par le Groupe d'Etudes Sous-marines de l'Atlantique (GESMA) du Ministère de la Défense, permettront alors de vérifier que les performances acoustiques du SNLE NG sont respectées en route libre (essentiellement pour le propulseur et les phénomènes hydrodynamiques, la majorité des sources internes étant préalablement contrôlée au bassin). ■